



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**Análisis hidrogeológico y diseño hidráulico comparativo por  
colapso y compresión, en pozos profundos, para fines agrícolas  
en Moquegua, 2023**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Civil

**AUTOR:**

Aranda Huacan, Boris Leonardo (orcid.org/0009-0006-9621-8347)

**ASESOR:**

Mg. Huaroto Casquillas, Enrique Eduardo (orcid.org/0000-0002-8757-6621)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Diseño de Obras Hidráulicas y Saneamiento

**LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:**

Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático

LIMA – PERÚ

2024

## DEDICATORIA

*A los Ingenieros.*

*A ti que te apasiona y sientes amor a la Ingeniería Civil.*

*A mis maestros, por discernir en mí sus enseñanzas como ser humano.*

*A la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, de la Universidad César Vallejo.*

*Al Perú, nuestra patria.*

*En homenaje a todos aquellos seres humanos que, con gran ímpetu, velan por un mejor porvenir de nuestra sociedad, puesto que al conocerlos han cambiado mi vida; con sus enseñanzas, su amistad y ejemplo.*

## AGRADECIMIENTO

*A mis Padres que incesantemente demuestran su fortaleza y apoyo incondicional hacia mi persona a lo largo del desarrollo de mi vida profesional.*

*A los residentes, gerentes y jefes de las áreas, en las instituciones donde labore, los cuales me motivaron en el desarrollo personal a lo largo de mi experiencia laboral.*

*A Dios por haberme dado entusiasmo y perseverancia.*

*A mi asesor por su respaldo y soporte académico.*

*A mis jurados por los aportes para la mejora del presente documento.*

*Mi gratitud y pleno agradecimiento a Dios, asimismo a la ingeniera civil, que bajo sus principios y conocimientos me ha dado la posibilidad de instruirme, pudiendo lograr ejercer mi profesión, y que con mi trabajo se contribuya con la mejora en la calidad de vida, de muchos seres humanos, en mi país y en todo el mundo.*

Con gran estima:

*Boris L. Aranda H.*

## DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD DEL ASESOR



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

### **Declaratoria de Autenticidad del Asesor**

Yo, HUAROTO CASQUILLAS ENRIQUE EDUARDO, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA CIVIL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - LIMA NORTE, asesor de Tesis titulada: "Análisis hidrogeológico y diseño hidráulico comparativo por colapso y compresión, en pozos profundos, para fines agrícolas en Moquegua, 2023", cuyo autor es ARANDA HUACAN BORIS LEONARDO, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 15.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

LIMA, 03 de Abril del 2024

<b>Apellidos y Nombres del Asesor:</b>	<b>Firma</b>
ENRIQUE EDUARDO HUAROTO CASQUILLAS <b>DNI:</b> 08120578 <b>ORCID:</b> 0000-0002-8757-6621	Firmado electrónicamente por: EHUAROTOC el 04- 04-2024 17:36:00

Código documento Trilce: TRI - 0741537

# DECLARATORIA DE ORIGINAL DEL AUTOR



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

## **Declaratoria de Originalidad del Autor**

Yo, ARANDA HUACAN BORIS LEONARDO estudiante de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA CIVIL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - LIMA NORTE, declaro bajo juramento que todos los datos e información que acompañan la Tesis titulada: "Análisis hidrogeológico y diseño hidráulico comparativo por colapso y compresión, en pozos profundos, para fines agrícolas en Moquegua, 2023", es de mi autoría, por lo tanto, declaro que la Tesis:

1. No ha sido plagiada ni total, ni parcialmente.
2. He mencionado todas las fuentes empleadas, identificando correctamente toda cita textual o de paráfrasis proveniente de otras fuentes.
3. No ha sido publicada, ni presentada anteriormente para la obtención de otro grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de la información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

<b>Nombres y Apellidos</b>	<b>Firma</b>
BORIS LEONARDO ARANDA HUACAN <b>DNI:</b> 70615488 <b>ORCID:</b> 0009-0006-9621-8347	Firmado electrónicamente por: BLARANDA el 03-04- 2024 08:07:33

Código documento Trilce: TRI - 0741536

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARÁTULA .....	i
DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD DEL ASESOR .....	iv
DECLARATORIA DE ORIGINAL DEL AUTOR .....	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	vi
ÍNDICE DE TABLAS .....	viii
ÍNDICE DE GRÁFICOS Y FIGURAS .....	xiii
RESUMEN .....	xxxiii
ABSTRACT .....	xxxiv
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO .....	21
III. METODOLOGÍA.....	187
3.1. Tipo y diseño de investigación .....	187
3.2. Variables y operacionalización.....	188
3.3. Población, muestra, muestreo y unidad de análisis .....	192
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	193
3.5. Procedimientos .....	197
3.6. Métodos de análisis de datos.....	204

3.7. Aspectos éticos .....	209
IV. RESULTADOS .....	219
V. DISCUSIÓN.....	412
VI. CONCLUSIONES.....	430
VII. RECOMENDACIONES .....	436
REFERENCIAS.....	438
ANEXOS .....	445

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b>	Cálculo de la Distribución Hídrica en la Tierra.....	4
<b>Tabla 2.</b>	Clasificación que evalúa la intensidad del estrés hídrico a escala nacional.	10
<b>Tabla 3.</b>	Costo de producción de 1 kw de energía eléctrica. ....	17
<b>Tabla 4.</b>	Conductividad hidráulica en tipos de pozos, según filtro. ....	22
<b>Tabla 5.</b>	Costo de recarga de pozos.....	24
<b>Tabla 6.</b>	Valores de $u$ , $W(u)$ , por el método de Theis.....	60
<b>Tabla 7.</b>	Valores de la función del pozo para reducción inicial o corto plazo..	63
<b>Tabla 8.</b>	Valores de la función del pozo para reducción final o largo plazo. ...	64
<b>Tabla 9.</b>	Reducción de la presión atmosférica.....	71
<b>Tabla 10.</b>	Presión que el vapor de agua ejerce .....	71
<b>Tabla 11.</b>	Características mecánicas del agua bajo condiciones de presión atmosférica.	72
<b>Tabla 12.</b>	Rugosidad absoluta (k), según material. ....	72
<b>Tabla 13.</b>	Máximas alturas referenciales desde las cuales se extrae el líquido.	79
<b>Tabla 14.</b>	Dimensión del diámetro de la tubería de succión según la velocidad.	79
<b>Tabla 15.</b>	Categorías de agua según el índice de Ryznar.....	84
<b>Tabla 16.</b>	Material sugerido según el índice de Ryznar.....	84
<b>Tabla 17.</b>	Coeficiente de los parámetros según Langelier.....	85
<b>Tabla 18.</b>	Categorías de agua según el índice de Langelier.....	85



<b>Tabla 19.</b>	Índice de resistencia frente a la corrosión, según material. ....	86
<b>Tabla 20.</b>	Valores de $k_e$ para fuerza centrípeta ejercida por el terreno en dirección radial. ....	87
<b>Tabla 21.</b>	Características de los materiales utilizados en la construcción de tuberías para pozo. ....	99
<b>Tabla 22.</b>	Coeficiente “k” según material. ....	100
<b>Tabla 23.</b>	Diámetros sugeridos para pozos .....	101
<b>Tabla 24.</b>	Procedimientos de perforación de pozos y sus usos prácticos, según diámetros. ....	102
<b>Tabla 25.</b>	Diámetro mínimo nominal y real de la tubería ciega.....	103
<b>Tabla 26.</b>	Espesor mínimo requerido para tuberías de acero.....	104
<b>Tabla 27.</b>	Velocidades ideales para el flujo de agua a través de la rejilla.....	106
<b>Tabla 28.</b>	Posicionamiento del filtro (rejilla) en diferentes categorías de acuíferos. ....	106
<b>Tabla 29.</b>	Elección de la rejilla conforme a los requisitos específicos. ....	115
<b>Tabla 30.</b>	Dimensiones de las aberturas empleadas en el análisis de granulometría .....	120
<b>Tabla 31.</b>	Propiedades del material requerido para el prefiltro. ....	123
<b>Tabla 32.</b>	Características de los polímeros granulares.....	125
<b>Tabla 33.</b>	Intervalos de tiempo referencial durante la prueba de bombeo (abatimiento). ....	126
<b>Tabla 34.</b>	Intervalos de tiempo referencial durante la prueba de bombeo (recuperación). ....	126

<b>Tabla 35.</b>	Intervalos temporales destinados a la evaluación de bombeo en pozos.	126
<b>Tabla 36.</b>	Cambios en la resistividad según naturaleza del agua.....	131
<b>Tabla 37.</b>	Resistividad según material.....	132
<b>Tabla 38.</b>	Tiempo referencial de diseño.....	134
<b>Tabla 39.</b>	Duración promedio de permanencia del agua. ....	142
<b>Tabla 40.</b>	Parámetros de la Transmisividad (T).....	158
<b>Tabla 41.</b>	Conductividades hidráulicas obtenidas por diversos investigadores.	162
<b>Tabla 42.</b>	Parámetros hidrogeológicos en el valle de Moquegua. ....	163
<b>Tabla 43.</b>	Parámetros hidrogeológicos en el valle de Ilo .....	163
<b>Tabla 44.</b>	Valores referenciales de conductividad hidráulica (k).....	164
<b>Tabla 45.</b>	Régimen de flujo subterráneo en materiales no consolidados. ....	165
<b>Tabla 46.</b>	Datos de Porosidad correspondientes a diferentes categorías de suelos	169
<b>Tabla 47.</b>	Diámetro de tubería para prueba de verticalidad.....	177
<b>Tabla 48.</b>	Operacionalización de la variable independiente.....	189
<b>Tabla 49.</b>	Operacionalización de la variable dependiente. ....	191
<b>Tabla 50.</b>	Programación de toma de niveles durante la prueba de bombeo...	200
<b>Tabla 51.</b>	Designación para el mapa de vulnerabilidad de acuíferos (metodología GOD.) .....	207
<b>Tabla 52.</b>	Clasificación presupuestal de los insumos, suministros y recursos, acorde al MEF. ....	212

<b>Tabla 53.</b>	Financiamiento presupuestal.....	215
<b>Tabla 54.</b>	Resultados de la prueba de bombeo en POZO IRHS – 045. ....	243
<b>Tabla 55.</b>	Resultados de la prueba de recuperación en POZO IRHS – 045...	245
<b>Tabla 56.</b>	Iterando hasta estabilizar el abatimiento del pozo IRHS-045. ....	248
<b>Tabla 57.</b>	Resultados de la prueba de bombeo en POZO IRHS – 008. ....	252
<b>Tabla 58.</b>	Resultados de la prueba de recuperación en POZO IRHS – 008...	253
<b>Tabla 59.</b>	Iterando hasta estabilizar el abatimiento del pozo IRHS-008 .....	255
<b>Tabla 60.</b>	Resultados de la prueba de bombeo en POZO IRHS – 009. ....	259
<b>Tabla 61.</b>	Resultados de la prueba de recuperación en POZO IRHS – 009...	260
<b>Tabla 62.</b>	Iterando hasta estabilizar el abatimiento del pozo IRHS-009. ....	263
<b>Tabla 63.</b>	Resultados de la prueba de bombeo en POZO IRHS – 035. ....	267
<b>Tabla 64.</b>	Resultados de la prueba de recuperación en POZO IRHS – 035...	268
<b>Tabla 65.</b>	Iterando hasta estabilizar el abatimiento del pozo IRHS-035. ....	271
<b>Tabla 66.</b>	Cuadro resumen comparativo de la calidad del agua subterránea.	278
<b>Tabla 67.</b>	Propiedad de la tubería según materiales. ....	295
<b>Tabla 68.</b>	Densidad según tipo de material. ....	295
<b>Tabla 69.</b>	Propiedades de la tubería ciega en pozo IRHS – 045.....	296
<b>Tabla 70.</b>	Propiedades del filtro (tubería ranurada) en pozo IRHS – 045. ....	296
<b>Tabla 71.</b>	Datos acerca del sismo. ....	302
<b>Tabla 72.</b>	Propiedades de la tubería ciega en pozo IRHS-008.....	314
<b>Tabla 73.</b>	Propiedades del filtro (tubería ranurada) en pozo IRHS-008.....	314

<b>Tabla 74.</b>	Propiedades de la tubería ciega en pozo IRHS – 009.....	326
<b>Tabla 75.</b>	Propiedades del filtro (tubería ranurada) en pozo IRHS – 009.....	326
<b>Tabla 76.</b>	Propiedades de la tubería ciega en pozo IRHS-035.....	338
<b>Tabla 77.</b>	Propiedades del filtro (tubería ranurada) en pozo IRHS-035.....	339

## ÍNDICE DE GRÁFICOS Y FIGURAS

<b>Figura 1.</b>	Proyección disponibilidad hídrica versus aumento de la población. ...	2
<b>Figura 2.</b>	Desarrollo demográfico del Perú. ....	3
<b>Figura 3.</b>	Desarrollo demográfico global. ....	3
<b>Figura 4.</b>	Recurso hídrico en el mundo.....	5
<b>Figura 5.</b>	Estrés hídrico mundial durante el 2023 .....	6
<b>Figura 6.</b>	Condiciones de escasez de recursos hídricos en América Latina y el Caribe. 8	8
<b>Figura 7.</b>	Desarrollo temporal de la situación de escasez de recursos hídricos en el territorio peruano. ....	9
<b>Figura 8.</b>	Estrés hídrico en el territorio peruano.....	11
<b>Figura 9.</b>	Situación de escasez de recursos hídricos durante el mes de agosto 13	13
<b>Figura 10.</b>	Evaluación mensual del Balance Hídrico en el territorio peruano .	14
<b>Figura 11.</b>	Cantidad de agua superficial requerido en el territorio peruano. ...	15
<b>Figura 12.</b>	Porcentaje de la oferta hídrica.....	16
<b>Figura 13.</b>	Tipos de ademe y tamaños de ranuras analizadas .....	21
<b>Figura 14.</b>	Cono de depresión.....	38
<b>Figura 15.</b>	Cono de abatimiento alrededor de un pozo en operación .....	39
<b>Figura 16.</b>	Variación en la profundidad de un pozo respecto al tiempo de bombeo. 39	39
<b>Figura 17.</b>	Régimen permanente.....	40

<b>Figura 18.</b>	Recarga inducida de acuífero.....	41
<b>Figura 19.</b>	Rendimiento sostenible del agua subterránea .....	43
<b>Figura 20.</b>	Distribución espacial de pozos profundos .....	44
<b>Figura 21.</b>	Características elásticas del estrato acuífero .....	45
<b>Figura 22.</b>	Variación de características elásticas acuífero con el tamaño de las partículas.	46
<b>Figura 23.</b>	Conicidad según Transmisividad (T) .....	47
<b>Figura 24.</b>	Conicidad según Coeficiente de almacenamiento (S) .....	47
<b>Figura 25.</b>	Experimento de Darcy .....	48
<b>Figura 26.</b>	Gradiente hidráulico .....	49
<b>Figura 27.</b>	Condición de Dupuit .....	50
<b>Figura 28.</b>	Considerando superficies equipotenciales en orientación vertical.	51
<b>Figura 29.</b>	Bombeo en acuífero confinado.....	52
<b>Figura 30.</b>	Esquema conceptual.....	53
<b>Figura 31.</b>	Acuífero libre (Dupuit – Forchheimer).....	54
<b>Figura 32.</b>	Circulación constante o permanente en un acuífero confinado.....	54
<b>Figura 33.</b>	Flujo permanente en un acuífero no confinado .....	56
<b>Figura 34.</b>	Flujo no permanente (circulación transitoria) en un acuífero confinado.	58
<b>Figura 35.</b>	Diagrama que representa la solución mediante el Método de Theis.	60
<b>Figura 36.</b>	Diagrama para la determinación del flujo transitorio en un acuífero libre.	62

<b>Figura 37.</b>	Gráficas utilizadas en la determinación de los parámetros de un acuífero no confinado.....	65
<b>Figura 38.</b>	Elección de tipo de bomba según localización del agua. ....	66
<b>Figura 39.</b>	Impulsor en bombas verticales.....	66
<b>Figura 40.</b>	Criterio del espacio para la selección del tipo de bomba.....	67
<b>Figura 41.</b>	Impulsor de bomba vertical inmerso en agua subterránea.....	67
<b>Figura 42.</b>	Expansión futura de la bomba de eje vertical, según necesidad...	68
<b>Figura 43.</b>	Complejidad del mecanizado según tipo de bomba. ....	68
<b>Figura 44.</b>	Carga neta de succión positiva de una bomba.....	70
<b>Figura 45.</b>	Sumergencia .....	73
<b>Figura 46.</b>	Diagrama de Moody .....	75
<b>Figura 47.</b>	Bomba vertical.....	76
<b>Figura 48.</b>	Motor asíncrono .....	78
<b>Figura 49.</b>	Curvas que describen el comportamiento operativo específico de una bomba centrífuga. ....	78
<b>Figura 50.</b>	Cuerpo de tazones o etapas .....	80
<b>Figura 51.</b>	Períodos de renovación o permanencia del agua subterránea. ....	82
<b>Figura 52.</b>	Concentración de iones de hidrogeno (pH).....	83
<b>Figura 53.</b>	Ademe corroído.....	83
<b>Figura 54.</b>	Capacidad para resistir la presión externa en tuberías de acero. .	88
<b>Figura 55.</b>	Diagrama de presión al introducir el filtro de grava. ....	89
<b>Figura 56.</b>	Análisis comparativo de la capacidad de resistencia al colapso ...	90

<b>Figura 57.</b>	Fractura debido al colapso de la tubería. ....	90
<b>Figura 58.</b>	Estructura circular profunda enterrada. ....	91
<b>Figura 59.</b>	Distorsión de la forma ovalada en la sección circular del pozo. ....	92
<b>Figura 60.</b>	Propagación de onda sísmica en el eje del pozo. ....	92
<b>Figura 61.</b>	Propagación de ondas.....	94
<b>Figura 62.</b>	Impacto de las ondas de corte en pozo.....	94
<b>Figura 63.</b>	Impacto de las sondas de compresión en pozo. ....	95
<b>Figura 64.</b>	Distorsiones de campo, debido a fuerzas cortante.....	96
<b>Figura 65.</b>	Fuerzas y momentos en el eje del pozo profundo.....	97
<b>Figura 66.</b>	Fuerzas y momentos alrededor del pozo profundo. ....	98
<b>Figura 67.</b>	Tipos de rejillas .....	107
<b>Figura 68.</b>	Esfuerzos aplicados al filtro.....	109
<b>Figura 69.</b>	Influencia del pistón (embolo) en función del tipo de filtro. ....	113
<b>Figura 70.</b>	Comparación de las fuerzas generadas por turbulencia entre una rejilla tipo persiana y una rejilla metálica horizontal (ranura continua). ....	113
<b>Figura 71.</b>	Comparativo costo inicial vs. Tiempo según material de rejilla o filtro. 114	
<b>Figura 72.</b>	Gráfica de granulometría comúnmente utilizada para determinar la apertura requerida de la rejilla.....	115
<b>Figura 73.</b>	Detalle de abertura en rejilla tipo persiana. ....	117
<b>Figura 74.</b>	Correlación entre la resistencia y las dimensiones de la abertura. 119	
<b>Figura 75.</b>	Sección transversal del filtro de grava.....	121



<b>Figura 76.</b>	Curva granulométrica típica del acuífero y pre filtro. ....	123
<b>Figura 77.</b>	Esfera de vidrio para pre filtro. ....	124
<b>Figura 78.</b>	Gráficos teóricos utilizados en ensayos de bombeo en acuíferos	127
<b>Figura 79.</b>	Representación gráfica de la técnica de Tomografía de Resistividad Eléctrica.	128
<b>Figura 80.</b>	Representación elemental del método de resistividad. ....	128
<b>Figura 81.</b>	Representación gráfica de la disposición de electrodos, método Wenner $\alpha$ .	129
<b>Figura 82.</b>	Representación gráfica de la disposición de electrodos, método Schlumberger.....	130
<b>Figura 83.</b>	Representación gráfica de la disposición de electrodos, método Wenner-Schlumberger. ....	130
<b>Figura 84.</b>	Caso ilustrativo de distribución efectiva de resistividades. ....	131
<b>Figura 85.</b>	Posición de la Hidrogeología en el organigrama de las ciencias naturales.	141
<b>Figura 86.</b>	Ciclo del recurso hídrico. ....	142
<b>Figura 87.</b>	Pozo que perfora completamente el estrato acuífero.....	143
<b>Figura 88.</b>	Tipos de acuíferos.....	144
<b>Figura 89.</b>	Acuíferos según el grado de compresión. ....	146
<b>Figura 90.</b>	Acuíferos .....	147
<b>Figura 91.</b>	Zona de saturación y aireación. ....	148
<b>Figura 92.</b>	Edad del agua subterránea. ....	149
<b>Figura 93.</b>	Diseño esquemático del pozo profundo. ....	150

<b>Figura 94.</b>	Estudio hidrogeológico (tomografía de resistividad eléctrica).....	151
<b>Figura 95.</b>	Funcionamiento de pozo profundo .....	153
<b>Figura 96.</b>	Desplazamiento del agua subterránea en dirección al pozo. ....	154
<b>Figura 97.</b>	Nivel dinámico y nivel estático.....	155
<b>Figura 98.</b>	Nivel freático.....	157
<b>Figura 99.</b>	Conos de depresión según transmisividad del acuífero. ....	159
<b>Figura 100.</b>	Permeabilidad según sustratos .....	161
<b>Figura 101.</b>	Ordenamiento de las formaciones de acuerdo a su capacidad de permeabilidad o conductividad hidráulica.....	164
<b>Figura 102.</b>	Coeficiente de almacenamiento .....	165
<b>Figura 103.</b>	Porosidad .....	169
<b>Figura 104.</b>	Caudal .....	171
<b>Figura 105.</b>	Excentricidad en una sección transversal de tubería. ....	172
<b>Figura 106.</b>	Diámetro del pozo. ....	173
<b>Figura 107.</b>	Evaluación de la perpendicularidad de un pozo utilizando la metodología propuesta por la AWWA. ....	178
<b>Figura 108.</b>	Evaluación de la perpendicularidad de un pozo mediante sonda.	179
<b>Figura 109.</b>	Variación vertical autorizada en pozos profundos. ....	180
<b>Figura 110.</b>	Perfil litológico. ....	181
<b>Figura 111.</b>	Falla por pandeo. ....	183
<b>Figura 112.</b>	Diseño convencional de un pozo destinado a una prueba de bombeo.	185

<b>Figura 113.</b>	Ficha técnica de recolección de datos.....	194
<b>Figura 114.</b>	Ficha técnica de validación. ....	196
<b>Figura 115.</b>	El fundamento de la Tomografía de Resistividad Eléctrica. ....	199
<b>Figura 116.</b>	Diagrama de flujo en código ASME.....	203
<b>Figura 117.</b>	Modelos para el análisis de deformación en PLAXIS. ....	206
<b>Figura 118.</b>	Configuración de coordenadas y tensiones en PLAXIS. ....	206
<b>Figura 119.</b>	Cronograma de Ejecución. ....	217
<b>Figura 120.</b>	Tablero de control con variador de frecuencia (pruebas de bombeo). 219	
<b>Figura 121.</b>	Variaciones climáticas en Moquegua. ....	220
<b>Figura 122.</b>	Media mensual de precipitación en Moquegua. ....	220
<b>Figura 123.</b>	Ubicación y localización del área de estudio .....	222
<b>Figura 124.</b>	Plano topográfico de la estación de bombeo IRHS – 045. ....	223
<b>Figura 125.</b>	Plano topográfico de la estación de bombeo IRHS – 008. ....	224
<b>Figura 126.</b>	Plano topográfico de la estación de bombeo IRHS – 009. ....	225
<b>Figura 127.</b>	Plano topográfico de la estación de bombeo IRHS – 035. ....	226
<b>Figura 128.</b>	Sección de tomografía de resistividad eléctrica en IRHS – 35 (Zona A, LT-01). 228	
<b>Figura 129.</b>	Sección de tomografía de resistividad eléctrica en IRHS – 35 (Zona A, LT-02). 229	
<b>Figura 130.</b>	Sección de tomografía de resistividad eléctrica en IRHS – 35 (Zona A, LT-03). 230	

<b>Figura 131.</b>	Sección de tomografía de resistividad eléctrica en IRHS – 35 (Zona A, LT-04).	231
<b>Figura 132.</b>	Sección de tomografía de resistividad eléctrica en IRHS – 009 (Zona B, LT-01).....	232
<b>Figura 133.</b>	Sección de tomografía de resistividad eléctrica en IRHS – 009 (Zona B, LT-02).....	233
<b>Figura 134.</b>	Sección de tomografía de resistividad eléctrica en IRHS – 009 (Zona B, LT-03).....	234
<b>Figura 135.</b>	Sección de tomografía de resistividad eléctrica en IRHS – 009 (Zona B, LT-04).....	235
<b>Figura 136.</b>	Sección de tomografía de resistividad eléctrica en IRHS – 008 (Zona C, LT-01).....	236
<b>Figura 137.</b>	Sección de tomografía de resistividad eléctrica en IRHS – 008 (Zona C, LT-02).....	237
<b>Figura 138.</b>	Sección de tomografía de resistividad eléctrica en IRHS – 008 (Zona C, LT-03).....	238
<b>Figura 139.</b>	Sección de tomografía de resistividad eléctrica en IRHS – 008 (Zona C, LT-04).....	239
<b>Figura 140.</b>	Sección de tomografía de resistividad eléctrica en IRHS – 45 (Zona D, LT-01).	240
<b>Figura 141.</b>	Gráfico del abatimiento respecto al tiempo, del pozo IRHS-045.	246
<b>Figura 142.</b>	Ajuste del coeficiente de determinación (R), en el abatimiento del pozo IRHS-045.....	246
<b>Figura 143.</b>	Curva de recuperación respecto al tiempo, del pozo IRHS-045..	247
<b>Figura 144.</b>	Cálculo de parámetros hidrogeológicos del pozo IRHS-045. ....	247

<b>Figura 145.</b>	Cono de depresión en pozo IRHS-045.....	248
<b>Figura 146.</b>	Evidencia hidráulica del tipo de acuífero, para el pozo IRHS-045. 249	
<b>Figura 147.</b>	Cálculo de parámetros hidráulicos, mediante el método de Neuman y Tartakovsky-Neuman (IRHS-0045). ....	250
<b>Figura 148.</b>	Cálculo de parámetros hidráulicos, mediante el método de Cooper- Jacob y Theis (IRHS-045). ....	251
<b>Figura 149.</b>	Gráfico del abatimiento respecto al tiempo, del pozo IRHS-008.	254
<b>Figura 150.</b>	Curva de recuperación respecto al tiempo, del pozo IRHS-008..	254
<b>Figura 151.</b>	Cálculo de parámetros hidrogeológicos del pozo IRHS-008. ....	255
<b>Figura 152.</b>	Cono de depresión en pozo IRHS-008.....	256
<b>Figura 153.</b>	Evidencia hidráulica del tipo de acuífero, para el pozo IRHS-008. 256	
<b>Figura 154.</b>	Cálculo de parámetros hidráulicos, mediante el método de Neuman y Tartakovsky-Neuman (IRHS-008). ....	257
<b>Figura 155.</b>	Cálculo de parámetros hidráulicos, mediante el método de Cooper- Jacob y Theis (IRHS-008). ....	258
<b>Figura 156.</b>	Gráfico del abatimiento respecto al tiempo, del pozo IRHS-009.	261
<b>Figura 157.</b>	Curva de recuperación respecto al tiempo, del pozo IRHS-009..	262
<b>Figura 158.</b>	Cálculo de parámetros hidrogeológicos del pozo IRHS-009. ....	262
<b>Figura 159.</b>	Cono de depresión en pozo IRHS-009.....	263
<b>Figura 160.</b>	Evidencia hidráulica del tipo de acuífero, para el pozo IRHS-009. 264	

<b>Figura 161.</b>	Cálculo de parámetros hidráulicos, mediante el método de Moench, Neuman y Tartakovsky-Neuman (IRHS-009).....	264
<b>Figura 162.</b>	Cálculo de parámetros hidráulicos, mediante el método de Cooper-Jacob y Theis (IRHS-009).....	266
<b>Figura 163.</b>	Gráfico del abatimiento respecto al tiempo, del pozo IRHS-035.	269
<b>Figura 164.</b>	Curva de recuperación respecto al tiempo, del pozo IRHS-035..	270
<b>Figura 165.</b>	Cálculo de parámetros hidrogeológicos del pozo IRHS-035 .....	270
<b>Figura 166.</b>	Cono de depresión en pozo IRHS-035.....	271
<b>Figura 167.</b>	Evidencia hidráulica del tipo de acuífero, para el pozo IRHS-035. 272	
<b>Figura 168.</b>	Cálculo de parámetros hidráulicos, mediante el método de Moench - Prickett y Papadopulos - Cooper (IRHS-035).....	273
<b>Figura 169.</b>	Cálculo de parámetros hidráulicos, mediante el método de Cooper-Jacob y Theis (IRHS-035). .....	274
<b>Figura 170.</b>	Eficiencia del pozo IRHS – 045 (La Chimba N°1). .....	275
<b>Figura 171.</b>	Eficiencia del pozo IRHS – 008 INIA N° 01. ....	275
<b>Figura 172.</b>	Eficiencia del pozo IRHS – 009 INIA N° 02. ....	275
<b>Figura 173.</b>	Eficiencia del pozo IRHS – 035 (La Cara). ....	275
<b>Figura 174.</b>	Entorno PLAXIS. ....	291
<b>Figura 175.</b>	Configuración general - pozo IRHS – 045 (La Chimba N°1). .....	292
<b>Figura 176.</b>	Amortiguación del terreno - pozo IRHS – 045 (La Chimba N°1).	292
<b>Figura 177.</b>	Características del primer estrato - pozo IRHS – 045 (La Chimba N°1). 293	

<b>Figura 178.</b>	Esfuerzo del primer estrato del primer estrato - pozo IRHS – 045 (La Chimba N°1).	293
<b>Figura 179.</b>	Características del segundo estrato - pozo IRHS – 045 (La Chimba N°1).	294
<b>Figura 180.</b>	Características del tercer estrato - pozo IRHS – 045 (La Chimba N°1).	294
<b>Figura 181.</b>	Propiedades de la tubería ciega.....	297
<b>Figura 182.</b>	Propiedades del filtro (tubería ranurada).....	297
<b>Figura 183.</b>	Designación de los materiales para la tubería y el terreno en IRHS – 045.	297
<b>Figura 184.</b>	Carga sísmica y límites espaciales del terremoto en los estratos del terreno (IRHS – 045).....	298
<b>Figura 185.</b>	Malla de elementos finitos en (IRHS – 045).....	298
<b>Figura 186.</b>	Nivel estático en IRHS – 045.....	299
<b>Figura 187.</b>	Presión de poros en IRHS – 045.....	299
<b>Figura 188.</b>	Movimiento del agua subterránea en IRHS – 045.....	300
<b>Figura 189.</b>	Presión efectiva en IRHS – 045. ....	300
<b>Figura 190.</b>	Nivel dinámico en IRHS – 045.....	301
<b>Figura 191.</b>	Campo de flujo en IRHS – 045.....	301
<b>Figura 192.</b>	Análisis dinámico en IRHS – 045. ....	302
<b>Figura 193.</b>	Zonas sísmicas del Perú. ....	303
<b>Figura 194.</b>	Espectro de respuesta del sismo en Moquegua 2001.....	303
<b>Figura 195.</b>	Selección de los puntos de análisis en IRHS – 045. ....	304

<b>Figura 196.</b>	Proceso del cálculo durante todo el tiempo que dura el sismo en IRHS – 045.	304
<b>Figura 197.</b>	Culminación del análisis dinámico en IRHS – 045. ....	305
<b>Figura 198.</b>	Resultados de tensión efectiva en IRHS – 045. ....	305
<b>Figura 199.</b>	Resultados de las deformaciones efectivas en IRHS – 045. ....	306
<b>Figura 200.</b>	Deformación de la malla en IRHS – 045. ....	306
<b>Figura 201.</b>	Desplazamiento total en IRHS – 045. ....	307
<b>Figura 202.</b>	Desplazamientos incrementales totales en IRHS – 045. ....	307
<b>Figura 203.</b>	Velocidades totales en IRHS – 045. ....	308
<b>Figura 204.</b>	Aceleraciones totales en IRHS – 045. ....	308
<b>Figura 205.</b>	Aceleración vertical en IRHS – 045. ....	308
<b>Figura 206.</b>	Aceleración horizontal en IRHS – 045. ....	309
<b>Figura 207.</b>	Tensiones medias efectivas en IRHS – 045. ....	309
<b>Figura 208.</b>	Tensión efectiva en IRHS – 045. ....	309
<b>Figura 209.</b>	Tensión total en IRHS – 045. ....	310
<b>Figura 210.</b>	Tensión total horizontal en IRHS – 045. ....	310
<b>Figura 211.</b>	Tensión total vertical en IRHS – 045. ....	310
<b>Figura 212.</b>	Presiones de poro activas en IRHS – 045. ....	311
<b>Figura 213.</b>	Altura activa de las aguas subterráneas en IRHS – 045. ....	311
<b>Figura 214.</b>	Curvas de desplazamiento de los puntos seleccionados en IRHS – 045.	312
<b>Figura 215.</b>	Grado de saturación en IRHS – 045. ....	312



<b>Figura 216.</b>	Configuración general para IRHS-008.....	313
<b>Figura 217.</b>	Características del primer estrato en IRHS-008.....	313
<b>Figura 218.</b>	Características del segundo estrato en IRHS-008. ....	313
<b>Figura 219.</b>	Características del tercer estrato en IRHS-008.....	314
<b>Figura 220.</b>	Propiedades de la tubería ciega de acero inoxidable en pozo IRHS-008.	315
<b>Figura 221.</b>	Propiedades del filtro de acero inoxidable en pozo IRHS-008. ...	315
<b>Figura 222.</b>	Asignación de parámetros para la carga sísmica y materiales en IRHS-008.	316
<b>Figura 223.</b>	Generando la malla de elementos finitos en IRHS-008.....	316
<b>Figura 224.</b>	Presión de poros activas en IRHS – 008.....	316
<b>Figura 225.</b>	Velocidad del agua subterránea en IRHS – 008. ....	317
<b>Figura 226.</b>	Presión efectiva en IRHS – 008. ....	317
<b>Figura 227.</b>	Proceso del cálculo durante todo el tiempo que dura el sismo en pozo IRHS – 008.	317
<b>Figura 228.</b>	Resultados de tensión efectiva en IRHS – 008. ....	318
<b>Figura 229.</b>	Resultados de las deformaciones efectivas en IRHS – 008.....	318
<b>Figura 230.</b>	Deformación de la malla en IRHS – 008. ....	319
<b>Figura 231.</b>	Desplazamiento total en IRHS – 008.....	319
<b>Figura 232.</b>	Desplazamiento incremental total en IRHS – 008. ....	319
<b>Figura 233.</b>	Velocidades totales en IRHS – 008.....	320
<b>Figura 234.</b>	Aceleraciones totales en IRHS – 008.....	320

<b>Figura 235.</b>	Aceleración vertical en IRHS – 008.....	320
<b>Figura 236.</b>	Aceleración horizontal en IRHS – 008.....	321
<b>Figura 237.</b>	Tensiones medias efectivas en IRHS – 008.....	321
<b>Figura 238.</b>	Tensión efectiva en IRHS – 008.....	321
<b>Figura 239.</b>	Tensión total en IRHS – 008. ....	322
<b>Figura 240.</b>	Tensión total horizontal en IRHS – 008.....	322
<b>Figura 241.</b>	Tensión total vertical en IRHS – 008. ....	322
<b>Figura 242.</b>	Presiones de poro activas en IRHS – 008.....	323
<b>Figura 243.</b>	Altura activa de las aguas subterráneas en IRHS – 008. ....	323
<b>Figura 244.</b>	Grado de saturación en IRHS – 008. ....	324
<b>Figura 245.</b>	Curvas de desplazamiento en IRHS – 008.....	324
<b>Figura 246.</b>	Configuración general del pozo IRHS – 009. ....	325
<b>Figura 247.</b>	Características del primer estrato en IRHS-009. ....	325
<b>Figura 248.</b>	Características del segundo estrato en IRHS-009. ....	325
<b>Figura 249.</b>	Características del tercer estrato en IRHS-009.....	326
<b>Figura 250.</b>	Tubería ciega de acero al carbono en pozo IRHS – 009.....	327
<b>Figura 251.</b>	Tubería ranurada de acero al carbono (filtro) en pozo IRHS – 009. 327	
<b>Figura 252.</b>	Distribución de materiales y carga sísmica en IRHS – 009.....	328
<b>Figura 253.</b>	Generación de malla de elementos finitos en IRHS – 009. ....	328
<b>Figura 254.</b>	Presiones de poros activas en IRHS – 009.....	328

<b>Figura 255.</b>	Presión efectiva en IRHS-009. ....	329
<b>Figura 256.</b>	Velocidad del agua subterránea en IRHS-009. ....	329
<b>Figura 257.</b>	Proceso del cálculo durante todo el tiempo que dura el sismo en IRHS-009. ....	330
<b>Figura 258.</b>	Resultados de tensión efectiva en IRHS-009. ....	330
<b>Figura 259.</b>	Resultados de las deformaciones efectivas en IRHS-009. ....	331
<b>Figura 260.</b>	Deformación de la malla de elementos finitos en IRHS-009. ....	331
<b>Figura 261.</b>	Desplazamiento total en IRHS-009. ....	332
<b>Figura 262.</b>	Desplazamiento incremental total en IRHS-009. ....	332
<b>Figura 263.</b>	Velocidades totales en IRHS-009. ....	332
<b>Figura 264.</b>	Aceleraciones totales en IRHS-009. ....	333
<b>Figura 265.</b>	Aceleración vertical en IRHS-009. ....	333
<b>Figura 266.</b>	Aceleración horizontal en IRHS-009. ....	333
<b>Figura 267.</b>	Tensiones medias efectivas en IRHS-009. ....	334
<b>Figura 268.</b>	Tensión efectiva en IRHS-009. ....	334
<b>Figura 269.</b>	Tensión total en IRHS-009. ....	334
<b>Figura 270.</b>	Tensión total horizontal en IRHS-009. ....	335
<b>Figura 271.</b>	Tensión total vertical en IRHS-009. ....	335
<b>Figura 272.</b>	Presiones de poros activas en IRHS-009. ....	335
<b>Figura 273.</b>	Altura activa de las aguas subterráneas en IRHS-009. ....	336
<b>Figura 274.</b>	Grado de saturación en IRHS-009. ....	336

<b>Figura 275.</b>	Curvas de desplazamiento en IRHS-009. ....	337
<b>Figura 276.</b>	Configuración general en IRHS-035.....	337
<b>Figura 277.</b>	Características del primer estrato en IRHS-035.....	337
<b>Figura 278.</b>	Características del segundo estrato en IRHS-035. ....	338
<b>Figura 279.</b>	Características del tercer estrato en IRHS-035.....	338
<b>Figura 280.</b>	Tubería ciega de acero inoxidable en pozo IRHS – 035. ....	339
<b>Figura 281.</b>	Tubería ranurada de acero inoxidable (filtro) en pozo IRHS – 035. 340	
<b>Figura 282.</b>	Asignación de materiales, carga sísmica y límites espaciales del terremoto en IRHS – 035. ....	340
<b>Figura 283.</b>	Generación de la malla de elementos finitos en IRHS – 035. ....	340
<b>Figura 284.</b>	Colocación del nivel estático en IRHS – 035.....	341
<b>Figura 285.</b>	Presión de poros activa en IRHS – 035.....	341
<b>Figura 286.</b>	Velocidad del agua subterránea (condiciones estáticas) en IRHS – 035. ....	341
<b>Figura 287.</b>	Presión efectiva en IRHS – 035. ....	342
<b>Figura 288.</b>	Velocidad del agua subterránea (condiciones dinámicas) en IRHS – 035. ....	342
<b>Figura 289.</b>	Proceso del cálculo durante todo el tiempo que dura el sismo en IRHS – 035. ....	343
<b>Figura 290.</b>	Resultados de las tensiones efectivas en IRHS – 035.....	343
<b>Figura 291.</b>	Resultados de las deformaciones efectivas en IRHS – 035.....	344
<b>Figura 292.</b>	Deformación de la malla de elementos finitos en IRHS – 035.....	344

<b>Figura 293.</b>	Desplazamiento total en IRHS – 035.....	345
<b>Figura 294.</b>	Desplazamiento incremental total en IRHS – 035. ....	345
<b>Figura 295.</b>	Velocidad total en IRHS – 035. ....	345
<b>Figura 296.</b>	Aceleraciones totales en IRHS – 035.....	346
<b>Figura 297.</b>	Aceleración vertical en IRHS – 035.....	346
<b>Figura 298.</b>	Aceleración horizontal en IRHS – 035.....	346
<b>Figura 299.</b>	Tensiones medias efectivas en IRHS – 035.....	347
<b>Figura 300.</b>	Tensión efectiva en IRHS – 035.....	347
<b>Figura 301.</b>	Tensión total en IRHS – 035. ....	347
<b>Figura 302.</b>	Tensión total horizontal en IRHS – 035.....	348
<b>Figura 303.</b>	Tensión total vertical en IRHS – 035.....	348
<b>Figura 304.</b>	Presiones de poros activa en IRHS – 035.....	348
<b>Figura 305.</b>	Altura activa de las aguas subterráneas en IRHS – 035. ....	349
<b>Figura 306.</b>	Grado de saturación en IRHS – 035. ....	349
<b>Figura 307.</b>	Curvas de desplazamiento en IRHS – 035.....	350
<b>Figura 308.</b>	Hoja de cálculo para el diseño a la compresión en IRHS – 045..	350
<b>Figura 309.</b>	Hoja de cálculo para el diseño a la compresión en IRHS – 008..	353
<b>Figura 310.</b>	Hoja de cálculo para el diseño a la compresión en IRHS – 009..	355
<b>Figura 311.</b>	Hoja de cálculo para el diseño a la compresión en IRHS – 035..	358
<b>Figura 312.</b>	Registros históricos de los niveles piezométricos en los pozos. .	360
<b>Figura 313.</b>	Registro piezométrico en IRHS-008, IRHS-009 e IRHS-035.....	361

<b>Figura 314.</b>	Registro piezométrico en IRHS-045. ....	361
<b>Figura 315.</b>	Proyección de vida útil (IRHS 045).....	362
<b>Figura 316.</b>	Proyección de vida útil (IRHS 008).....	362
<b>Figura 317.</b>	Proyección de vida útil (IRHS 009).....	363
<b>Figura 318.</b>	Proyección de vida útil (IRHS 035).....	363
<b>Figura 319.</b>	Granulometría del acuífero en IRHS – 045. ....	368
<b>Figura 320.</b>	Granulometría por anidación del acuífero en IRHS – 045. ....	369
<b>Figura 321.</b>	Granulometría del pre filtro (paquete de grava) y abertura del filtro (rejilla) en IRHS – 045. ....	370
<b>Figura 322.</b>	Diseño final del sistema de bombeo en IRHS – 045. ....	371
<b>Figura 323.</b>	Esquema del pozo IRHS – 045. ....	372
<b>Figura 324.</b>	Curva de rendimiento en electrobomba para IRHS – 045. ....	372
<b>Figura 325.</b>	Cálculo del pozo IRHS – 045. ....	373
<b>Figura 326.</b>	Características de la tubería para la línea de impulsión. ....	375
<b>Figura 327.</b>	Potencias comerciales de Electrobombas.....	375
<b>Figura 328.</b>	Cálculo del diámetro de la línea de impulsión en IRHS – 045.....	376
<b>Figura 329.</b>	Cálculo del golpe de ariete en IRHS – 045.....	377
<b>Figura 330.</b>	Características de la tubería de acero clase SCH-40.....	379
<b>Figura 331.</b>	Granulometría del acuífero en IRHS – 008. ....	379
<b>Figura 332.</b>	Granulometría por anidación del acuífero en IRHS – 008. ....	380
<b>Figura 333.</b>	Granulometría del pre filtro (paquete de grava) y abertura del filtro (rejilla) en IRHS – 008. ....	381

<b>Figura 334.</b>	Diseño final del sistema de bombeo en IRHS – 008. ....	382
<b>Figura 335.</b>	Esquema del pozo IRHS – 008. ....	382
<b>Figura 336.</b>	Curva de rendimiento en electrobomba para IRHS – 008. ....	383
<b>Figura 337.</b>	Características de la tubería para la línea de impulsión. ....	383
<b>Figura 338.</b>	Cálculo del pozo IRHS – 008. ....	384
<b>Figura 339.</b>	Cálculo del diámetro de la línea de impulsión en IRHS – 008. ....	386
<b>Figura 340.</b>	Cálculo del golpe de ariete en IRHS – 008. ....	387
<b>Figura 341.</b>	Granulometría del acuífero en IRHS – 009. ....	389
<b>Figura 342.</b>	Granulometría por anidación del acuífero en IRHS – 009. ....	389
<b>Figura 343.</b>	Granulometría del pre filtro (paquete de grava) y abertura del filtro (rejilla) en IRHS – 009. ....	390
<b>Figura 344.</b>	Diseño final del sistema de bombeo en IRHS – 009. ....	392
<b>Figura 345.</b>	Esquema del pozo IRHS – 009. ....	392
<b>Figura 346.</b>	Curva de rendimiento en electrobomba para IRHS – 009. ....	393
<b>Figura 347.</b>	Características de la tubería para la línea de impulsión. ....	393
<b>Figura 348.</b>	Cálculo del pozo IRHS – 009. ....	394
<b>Figura 349.</b>	Cálculo del diámetro de la línea de impulsión en IRHS – 009. ....	396
<b>Figura 350.</b>	Cálculo del golpe de ariete en IRHS – 009. ....	397
<b>Figura 351.</b>	Granulometría del acuífero en IRHS – 035. ....	399
<b>Figura 352.</b>	Granulometría por anidación del acuífero en IRHS – 035. ....	399
<b>Figura 353.</b>	Granulometría del pre filtro (paquete de grava) y abertura del filtro (rejilla) en IRHS – 035. ....	400

<b>Figura 354.</b>	Diseño final del sistema de bombeo en IRHS – 035. ....	402
<b>Figura 355.</b>	Esquema del pozo IRHS – 035. ....	402
<b>Figura 356.</b>	Curva de rendimiento en electrobomba para IRHS – 035. ....	403
<b>Figura 357.</b>	Características de la tubería para la línea de impulsión. ....	403
<b>Figura 358.</b>	Cálculo del pozo IRHS – 035. ....	404
<b>Figura 359.</b>	Cálculo del diámetro de la línea de impulsión en IRHS – 035. ....	406
<b>Figura 360.</b>	Cálculo del golpe de ariete en IRHS – 035. ....	407
<b>Figura 361.</b>	Características de la tubería de acero clase SCH-40 en IRHS – 035.	409



## RESUMEN

Los pozos profundos ubicados en Moquegua e Ilo, como el IRHS-045, IRHS-008, IRHS-009 e IRHS-035, fueron estudiados hidrogeológicamente, revelando parámetros clave como conductividad hidráulica (1.615, 6.185, 1.87, 3.652 m/día respectivamente), caudal (15, 15, 35, 45 l/s respectivamente), y niveles estático (22, 1.35, 2.07, 4.7 m respectivamente) y dinámico (34.22, 7.12, 18.82, 24.62m respectivamente), profundidad (40, 20, 40, 38 m respectivamente), transmisividad (29.07, 115.34, 70.90, 121.60 m<sup>2</sup>/día respectivamente) y eficiencia (74.88, 71.28, 93.21, 61.92 % respectivamente).

Se observó que la calidad del agua y las características de los acuíferos, clasificados como libres, influían en la elección de materiales para las tuberías, recomendándose acero inoxidable o de bajo carbono según los niveles de conductividad eléctrica y pH del agua. La tomografía eléctrica ayudó a determinar las profundidades máximas, asegurando una vida útil de 20 años mediante ajustes en la profundidad o el bombeo.

El análisis incluyó la evaluación de esfuerzos y resistencias en los pozos, confirmando su diseño hidráulico bajo condiciones de colapso y compresión. Además, se implementaron medidas para mitigar el golpe de ariete, como válvulas de cierre lento y variadores de frecuencia, mejorando la eficiencia y prolongando la vida útil de los pozos.

**Palabras clave:** Pozos, Hidrogeología, Diseño, Colapso, Compresión.

## ABSTRACT

Deep wells located in Moquegua and Ilo, such as IRHS-045, IRHS-008, IRHS-008, IRHS-009 and IRHS-035, were hydrogeologically studied, revealing key parameters such as hydraulic conductivity (1,615, 6,185, 1,87, 3,652 m/day respectively), flow rate (15, 15, 35, 35, 45 l/s respectively), and static (22, 1. 35, 2.07, 4.7 m respectively) and dynamic (34.22, 7.12, 18.82, 24.62m respectively), depth (40, 20, 40, 40, 38 m respectively), transmissivity (29.07, 115.34, 70.90, 121.60 m<sup>2</sup>/day respectively) and efficiency (74.88, 71.28, 93.21, 61.92 % respectively).

It was observed that water quality and aquifer characteristics, classified as free, influenced the choice of pipe materials, with stainless or low carbon steel being recommended depending on the electrical conductivity and pH levels of the water. Electrical tomography helped determine maximum depths, ensuring a 20-year service life through adjustments in depth or pumping.

The analysis included the evaluation of stresses and resistances in the wells, confirming their hydraulic design under collapse and compression conditions. In addition, water hammer mitigation measures, such as slow closing valves and variable frequency drives, were implemented, improving efficiency and extending the life of the wells.

**Keywords:** *Wells, Hydrogeology, Design, Collapse, Compression.*

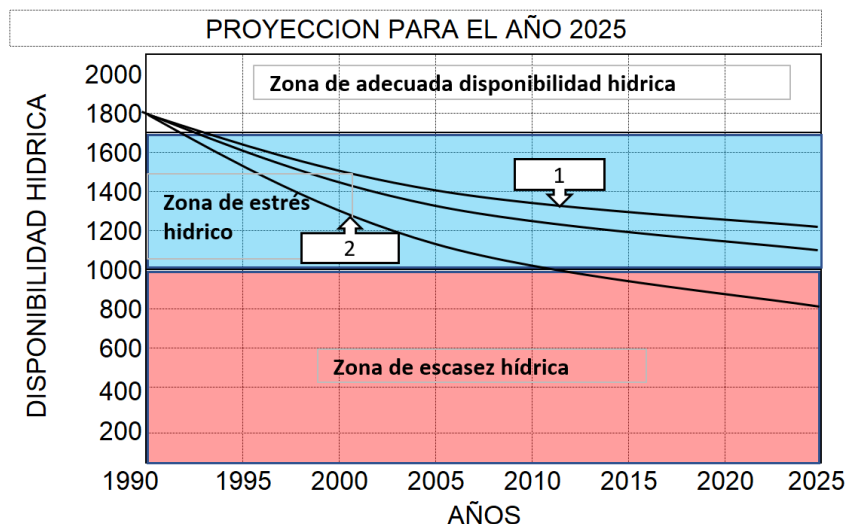
## I. INTRODUCCIÓN

Para el actual proyecto de investigación se efectuó el análisis hidrogeológico y el diseño hidráulico por colapso y compresión de pozos profundos, los cuales extraen recursos hídricos subterráneos, para contrarrestar el déficit hídrico y mejorar los niveles de producción agrícola en el valle de Moquegua e Ilo; Estos pozos profundos se ubican en la región sur de la república del Perú, distritos de El Algarrobal y Moquegua, en las provincias de Ilo y Mariscal Nieto, que pertenecen al departamento de Moquegua. Esto para optimizar la construcción de pozos profundos que garanticen el abastecimiento del recurso hídrico por un tiempo de vida útil prolongada, mínima de 20 años. Se describen condiciones o características hidrogeológicas específicas del acuífero, buenas prácticas de gestión implementadas y las condiciones locales específicas del acuífero, pudimos obtener los parámetros y factores de diseño a partir de esto. Posteriormente, se comparó el diseño hidráulico por colapso y el diseño hidráulico por compresión, los cuales en congruencia con los parámetros hidrogeológicos del coeficiente de almacenamiento, conductividad hidráulica y transmisividad, mostrarán el comportamiento del pozo profundo y el acuífero a futuro, los cuales se plasmaron en las conclusiones, permitiéndonos tomar la mejor decisión al momento de realizar un diseño óptimo de pozos profundos, la presente investigación aporta un nuevo conocimiento al campo de estudio, ya que no existen investigaciones previas sobre este tema. Por lo tanto, el **planteamiento del problema** radica en que el suministro de agua dulce es una necesidad fundamental para la supervivencia, existencia y desarrollo en nuestro planeta; Muchos países enfrentan desafíos en la gestión de este recurso vital, especialmente en áreas donde la disponibilidad de agua superficial es limitada. Sin embargo, en el contexto actual, el desabastecimiento de agua dulce o potable es un problema creciente en diversas regiones de nuestro planeta, incluyendo al Perú, donde se evidencia un déficit hídrico preocupante. En particular, los distritos de Moquegua y el Algarrobal en el departamento de Moquegua, el cual se enfrenta a esta problemática, encontrándose ubicado geográficamente en el inicio del desierto de Atacama, el desierto más árido y seco de nuestro planeta tierra, ubicado en el sur de Perú y norte de Chile. La precipitación

anual es de alrededor de 1 milímetro a 3 milímetros, y la precipitación insuficiente es uno de los principales desafíos del suministro de agua dulce en la región.

**Figura 1.**

*Proyección disponibilidad hídrica versus aumento de la población.*



- 1.- Disponibilidad de agua en función del aumento de la población baja
- 2.- Disponibilidad de agua en función del aumento de la población alta

*Fuente: FAO.*

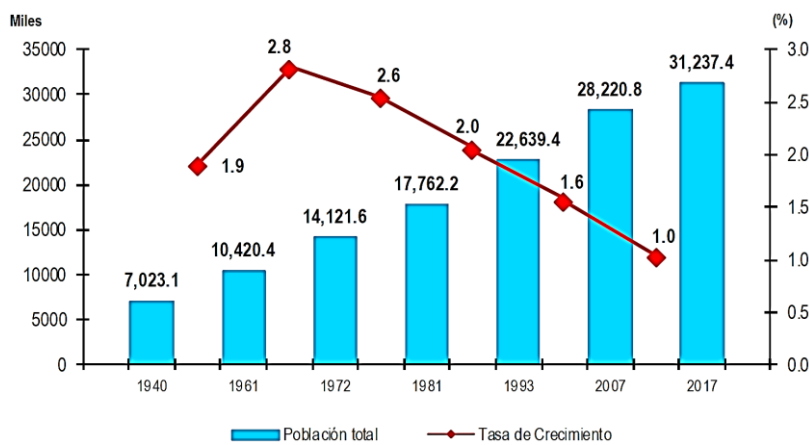
Según análisis de la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura), se destaca que en las zonas densamente pobladas en las que se prevé un aumento impulsado por el clima, las reservas de aguas subterráneas se agotarán debido a las extracciones humanas. Entre estas zonas se encuentran la llanura del norte de China, el Ganges y las cuencas septentrionales del Indo, donde las aguas subterráneas están disminuyendo actualmente, identificaron como posibles focos de agotamiento. Y, aunque estas regiones solo representan entre el 6,3 % [5,9-8,0]% y el 10,9 % [10,5-11,1]% de la superficie cubierta por las 218 cuencas acuíferas principales del mundo y entre el 2,7 % [2,5-3,4]% y el 4,7 % [4,5-4,8]% de la superficie terrestre total (dependiendo del escenario), representan una parte significativa de la población mundial futura. De hecho, estas regiones albergarán entre el 19% [18-22]% y el 31% [30-31]% de la población mundial en el futuro, por lo que sufrirán problemas de escasez de agua

**Constantini M.** (Costantini et al., 2023).

Por el contrario, se pronostica que sólo el 2% de la futura población mundial vivirá en regiones en las que es improbable que el aumento de los recursos de aguas

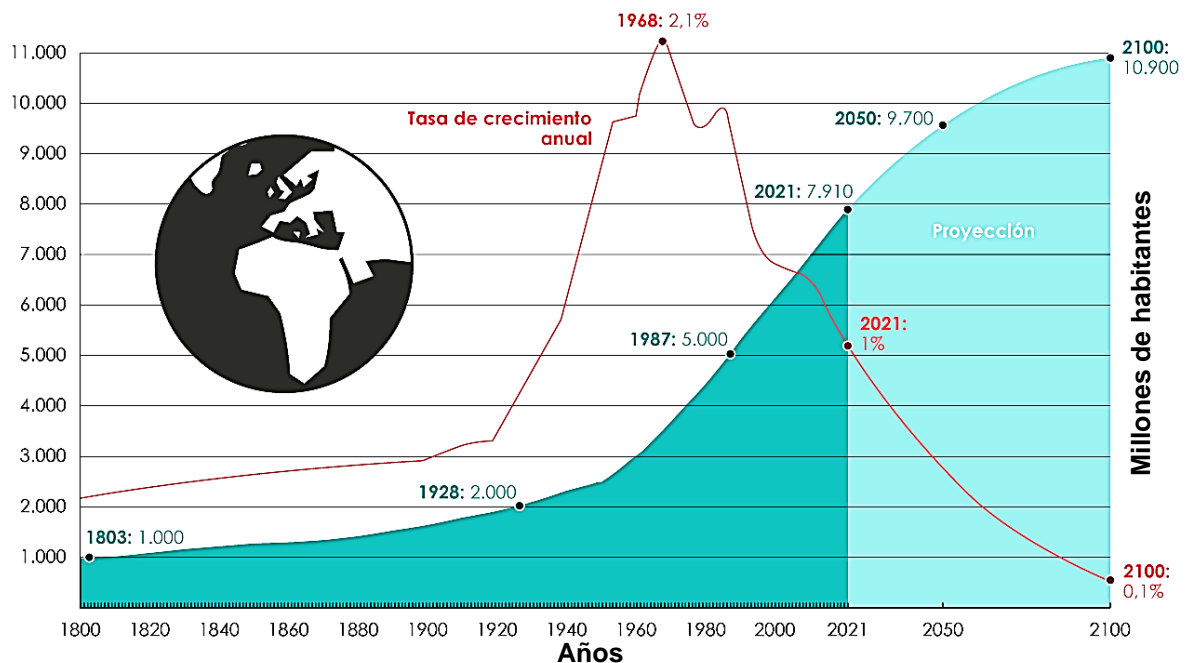
subterráneas provocado por el clima se vea compensado por las extracciones humanas, a pesar de que estas regiones abarcan entre el 33% [28-39]% y el 42% [41-45]% de la superficie cubierta por las principales cuencas acuíferas (entre el 14% [12-17]% y el 18% [18-19]% de la superficie terrestre total). El aumento de los niveles de agua subterránea en estos últimos lugares podría ayudar a los ríos, lagos y humedales proporcionando flujo de base y preservando los ecosistemas. Sin embargo, puede aumentar el peligro de inundaciones **Constantini M.** (Constantini et al., 2023).

**Figura 2.**  
*Desarrollo demográfico del Perú.*



Fuente: INEI (2017).

**Figura 3.**  
*Desarrollo demográfico global.*



Fuente: OurWorldInData a partir de datos de la ONU y HYDE (2022).

A mediados del siglo XX, la población global se encontraba en un estimado de 2.500 millones de habitantes. Sin embargo, en la actualidad, esta cifra ha superado los 8.000 millones, mostrando un aumento de más del triple en comparación con el pasado. En el periodo comprendido entre 1950 y 1987, la población humana se duplicó, alcanzando los 5.000 millones. Posteriormente, el ritmo de crecimiento se desaceleró significativamente, tomando más de 70 años para proyectar una nueva duplicación y sobrepasar los 10.000 millones en 2059.

El crecimiento más rápido se experimentó entre 1962 y 1965, con una tasa anual promedio del 2,1%. Desde entonces, la fertilidad redujo dicha tasa a menos de la mitad, marcando un cambio notorio. En el año 2020, por primera vez desde 1950, la tasa de crecimiento poblacional cayó por debajo del 1% anual, anticipando una continuada desaceleración en las próximas décadas hasta finales del siglo. Las proyecciones sugieren un crecimiento hasta los 8.500 millones en 2030 y un aumento adicional de 1.180 millones en las dos décadas siguientes, alcanzando los 9.700 millones en 2050. Este escenario plantea desafíos significativos en términos de gestión de recursos, especialmente en el contexto de las presiones ambientales y la demanda creciente de servicios básicos (Naciones Unidas (UN), 2022).

Esto permite alertar sobre la falta mundial de agua dulce, ya que repercute en la industria, ganadería y agricultura, causando un problema en la producción, escasez de alimentos y la extinción de especies vegetales **Méndez C.** (Méndez Calderón, 2023).

**Tabla 1.**

*Cálculo de la Distribución Hídrica en la Tierra.*

AGUA	VOLUMEN (1000 KM3)	% DEL TOTAL DE AGUA
<b>Agua Superficial</b>		
Agua Salada en Océanos	1,322,464.00	97.240%
Agua en Glaciares	29,240.00	2.150%
Agua en Lagos	125.00	0.009%
Agua Salada en Lagos	104.00	0.008%
Agua en la Biomasa	50.00	0.004%
Agua en Ríos (loticos)	1.25	0.0001%
<b>Agua Subterránea</b>		
Agua Subterránea profunda < 0,8 km	4,239.88	0.312%

Agua Subterránea 0,8 < p > 4 km	3,695.88	0.272%
Agua Zona de Aireación	67.00	0.005%
<b>Agua Atmosférica</b>		
Agua Atmosférica	13.00	0.001%
<b>TOTAL (REDONDEADO)</b>	<b>1,360,000.00</b>	<b>100.000%</b>

Fuente: NOAA Administración Nacional Oceánica y Atmosférica, Servicio Meteorológico Nacional. Lección didáctica: Agua, agua por todas partes. en línea: [https://www.weather.gov/jetstream/ll\\_water](https://www.weather.gov/jetstream/ll_water) y (Reyna, 2010).

Por lo tanto, de todo el recurso hídrico de la tierra, cerca del 97.5% es agua salada y únicamente el 2.5% es agua dulce; Y de ese 2.5% de agua dulce, el 70% es hielo, nieves o glaciares, y un poco más del 29% son aguas subterráneas, y la disponibilidad hídrica para consumo humano y los ecosistemas representaba una fracción mínima, siendo esta inferior al 1%; Y de ese 1%, cerca del 69% se utiliza en el sector agrícola, 19% en el sector industrial y el 12% para la población, ilustrándose mejor en la siguiente figura.

**Figura 4.**

Recurso hídrico en el mundo

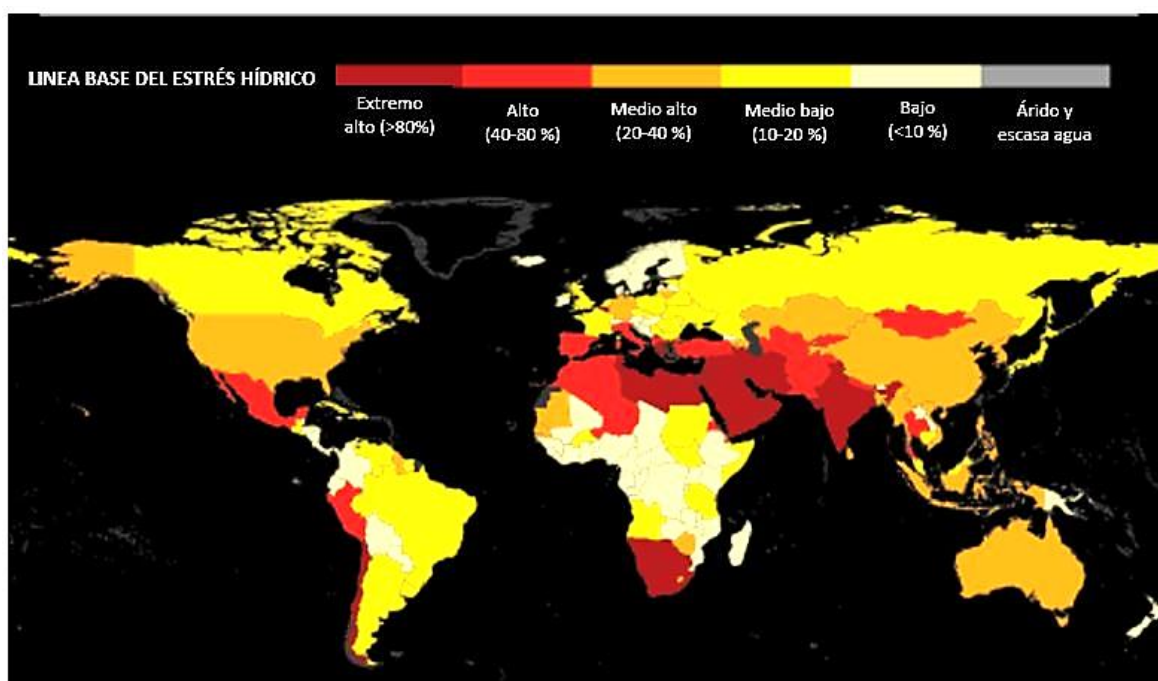


Fuente: <https://www.brainly.lat>

En todo el mundo, el agua se utiliza principalmente para la producción agrícola. El riego representa el 70% del consumo mundial del recurso hídrico, y alrededor del 17% de la tierra cultivada en el mundo es de regadío. Aproximadamente el 96% del recurso hídrico dulce no congelada de la Tierra está almacenada en condición de recurso hídrico subterráneo. Las aguas subterráneas son uno de los recursos de agua dulce más fiables y sanos del mundo, **Nuri ORHAN** (Orhan, 2023).

### Figura 5.

*Estrés hídrico mundial durante el 2023*



La vulnerabilidad a la escasez de agua se manifiesta en función de la estrechez entre la demanda y la oferta. Un lugar se considera en "estrés hídrico extremo" si utiliza al menos el 80% de su suministro disponible, mientras que la categoría de "estrés hídrico elevado" implica un retiro del 40% de dicho suministro. Estas mediciones precisas son fundamentales para comprender la presión sobre los recursos hídricos y diseñar estrategias de gestión adecuadas para garantizar la sostenibilidad de las fuentes de agua locales.

Fuente: <https://www.observatorio.ceplan.gob.pe/ficha/m1> y *Aqueduct 4.0*

Actualmente, a nivel mundial el Perú se sitúa en la posición 66 dentro del ranking de estrés hídrico de los estados miembros de las Naciones Unidas. Investigaciones recientes revelaban que el Perú se encuentra en un rango de **estrés hídrico comprendido entre -40 % y -80 %**, ubicándose entre los países con mayor probabilidad de enfrentar escasez de agua dulce para el año 2040. Esto subrayaba la alta vulnerabilidad del Perú ante los riesgos asociados a la crisis hídrica, agravada por los efectos del cambio climático. Este escenario planteaba desafíos significativos para la gestión sostenible de los recursos hídricos y requería



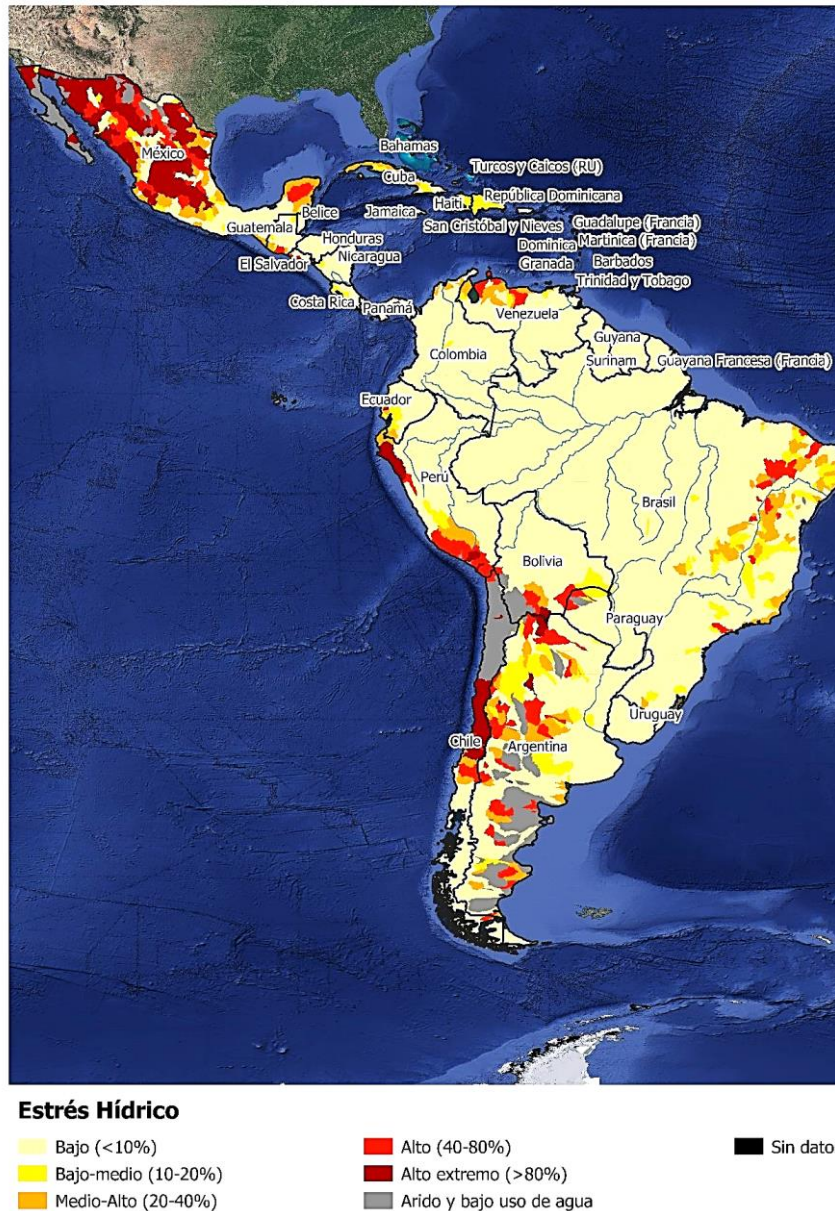
estrategias efectivas para mitigar los impactos adversos en el suministro de agua (Centro Nacional de Planeamiento Estratégico (CEPLAN), 2023).

En el **contexto de un estudio regional en América Latina y el Caribe**, se llevó a cabo una evaluación exhaustiva de la incidencia del estrés hídrico desde una perspectiva territorial. Este análisis, basado en la figura siguiente, reveló que, tanto en Chile como en México, los niveles más significativos de estrés hídrico se manifestaron en áreas específicas. En Chile, la concentración se observó en la zona central, mientras que, en México, los mayores niveles se registraron en la zona norte. Respecto a Perú, el estrés hídrico se centró principalmente en la zona costera. Cabe destacar que se identificó un nivel clasificado como "alto-extremo" para Moquegua, la región que fue objeto de análisis en el informe actual. (Centro Nacional de Planeamiento Estratégico (CEPLAN), 2023).

En algunas naciones de Sudamérica y Centroamérica, no todas disponían de una Ley de Aguas debidamente estructurada, en los casos en que sí la poseían. Con frecuencia, las aguas subterráneas apenas recibían consideración, quedando a merced de la iniciativa ciudadana sin regulación, protección o planificación alguna. Era imperativo contar con una entidad administrativa del agua, encargada de suministrarla en cantidad y calidad adecuadas a las necesidades de los usuarios. La ausencia de tal administración podía propiciar el surgimiento de problemas, como la extracción intensiva de aguas subterráneas o la contaminación, fenómenos que ya afectaban a varias de estas naciones debido a una gestión inadecuada del agua y otros elementos ambientales (Fornés Azcoiti, 2019).

## Figura 6.

Condiciones de escasez de recursos hídricos en América Latina y el Caribe.



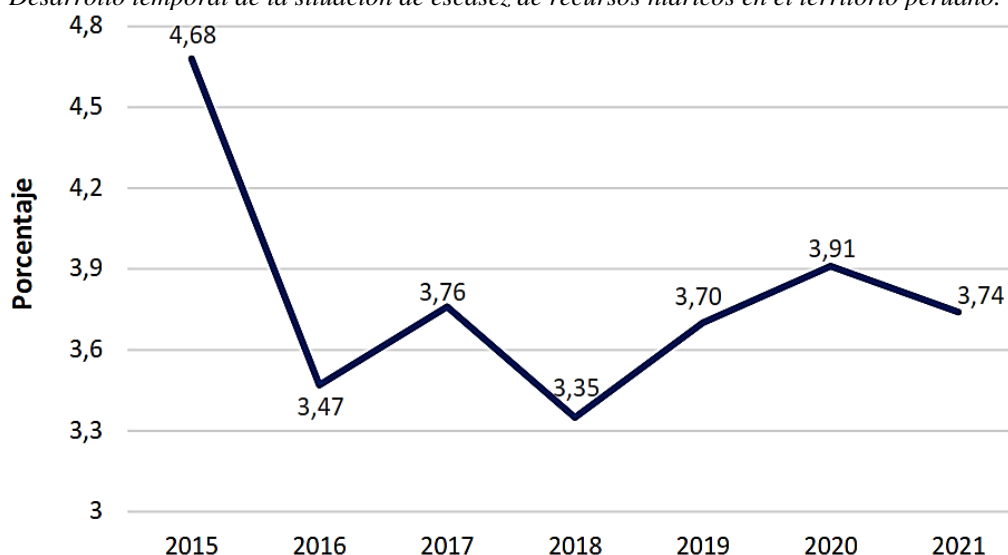
Fuente: (Centro Nacional de Planeamiento Estratégico (CEPLAN), 2023)

Hacia el año 2030, se proyectaba que un 58% de la **población peruana** residiría en áreas afectadas por la escasez de agua, como consecuencia de la inminente crisis hídrica a nivel global. El informe del (Centro Nacional de Planeamiento Estratégico (CEPLAN), 2023) indicaba que el Perú se encontraba entre los países más afectados en la región de América Latina y el Caribe. Este panorama anticipado destacaba la necesidad de abordar estratégicamente los desafíos derivados de la crisis del agua en el país.

No obstante, en el **Perú** se identificaron un total de 159 unidades hidrográficas, distribuidas entre 14 Autoridades Administrativas de Agua. La demarcación de la población según las regiones hidrográficas presentó las siguientes proporciones: la Región Hidrográfica del Pacífico representó el 64,9%, seguida por la Región del Amazonas con un 31,6%, y la Región del Titicaca con un 3,5%. En lo que respecta a las precipitaciones, se constató que, en la Región Hidrográfica del Pacífico, la precipitación media se caracterizaba por ser escasa o prácticamente nula, alcanzando tan solo 1,6 milímetros. Por otro lado, en la Región Hidrográfica del Amazonas, se registró una precipitación anual significativa de 2,400 milímetros, con valores que alcanzaban hasta los 4,000 milímetros en la selva baja. Finalmente, la Región Hidrográfica del Titicaca experimentó una precipitación anual de 700 milímetros (Autoridad Nacional del Agua (ANA), 2022).

**Figura 7.**

*Desarrollo temporal de la situación de escasez de recursos hídricos en el territorio peruano.*



*Conforme a dicho parámetro, la variación del grado de estrés hídrico en el territorio peruano experimentó una reducción durante el año 2021 en comparación con el año 2015, evidenciando una disminución del porcentaje de 4,68 % a 3,74 %. No obstante, cabe señalar que, a pesar de la aparente disminución general del estrés hídrico según estos cálculos, se ocultan disparidades significativas a nivel departamental. Fuente: (Centro Nacional de Planeamiento Estratégico (CEPLAN), 2023)*

A nivel **departamental**, de acuerdo con la clasificación establecida por el World Resource Institute (WRI), se identificaron departamentos en el Perú que exhibieron un nivel extremadamente elevado de estrés hídrico, siendo Lambayeque (con un puntaje de 4,13) y Arequipa (con un puntaje de 4,11) los más destacados en este sentido. En estos territorios, la extracción de agua superaba el 80 % del suministro

disponible. Asimismo, otros departamentos, como Moquegua (ranking 3), Tacna, Piura y La Libertad, se ubicaron en la categoría de alto estrés hídrico, extrayendo entre el 40 % y el 80 % del suministro de agua disponible según la evaluación.

**Tabla 2.**

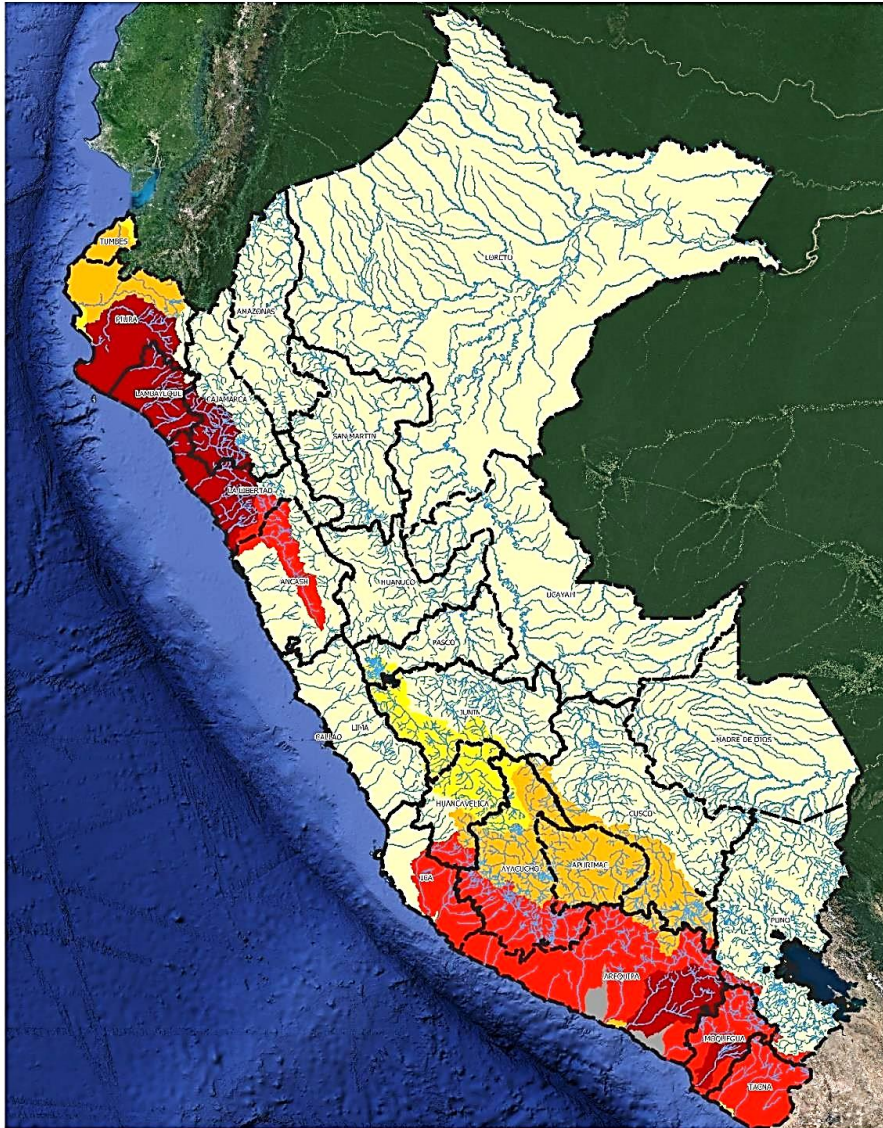
*Clasificación que evalúa la intensidad del estrés hídrico a escala nacional.*

PROVINCIA	PUNTO	RANKING	NIVEL
Lambayeque	4,13	1	(>80 %) Extremadamente alto
Arequipa	4,11	2	(>80 %) Extremadamente alto
<b>Moquegua</b>	<b>3,81</b>	<b>3</b>	<b>(40-80 %) Alto</b>
Tacna	3,62	4	(40-80 %) Alto
Piura	3,51	5	(40-80 %) Alto
La Libertad	3,23	6	(40-80 %) Alto
Ayacucho	2,44	7	(20-40 %) Medio - Alto
Apurímac	2,14	8	(20-40 %) Medio - Alto
Tumbes	2,04	9	(20-40 %) Medio - Alto
Huancavelica	1,75	10	(10-20 %) Bajo - Medio
Cajamarca	1,69	11	(10-20 %) Bajo - Medio
Ica	1,42	12	(10-20 %) Bajo - Medio
Junín	1,23	13	(10-20 %) Bajo - Medio
Áncash	1,06	14	(10-20 %) Bajo - Medio
Cusco	0,58	15	(<10 %) Bajo
Pasco	0,51	15	(<10 %) Bajo
Amazonas	0,44	15	(<10 %) Bajo
Puno	0,08	15	(<10 %) Bajo
Huánuco	0,08	15	(<10 %) Bajo
Lima	0,00	15	(<10 %) Bajo
San Martín	0,00	15	(<10 %) Bajo
Loreto	0,00	15	(<10 %) Bajo
Callao	0,00	15	(<10 %) Bajo
Lima Provincias	0,00	15	(<10 %) Bajo
Madre de Dios	0,00	15	(<10 %) Bajo
Ucayali	0,00	15	(<10 %) Bajo

*Fuente:* (Centro Nacional de Planeamiento Estratégico (CEPLAN), 2023)

## Figura 8.

*Estrés hídrico en el territorio peruano*



### Estrés Hídrico

Bajo (<10%)	Alto (40-80%)	Sin datos
Bajo-medio (10-20%)	Alto extremo (>80%)	
Medio-Alto (20-40%)	Arido y bajo uso de agua	

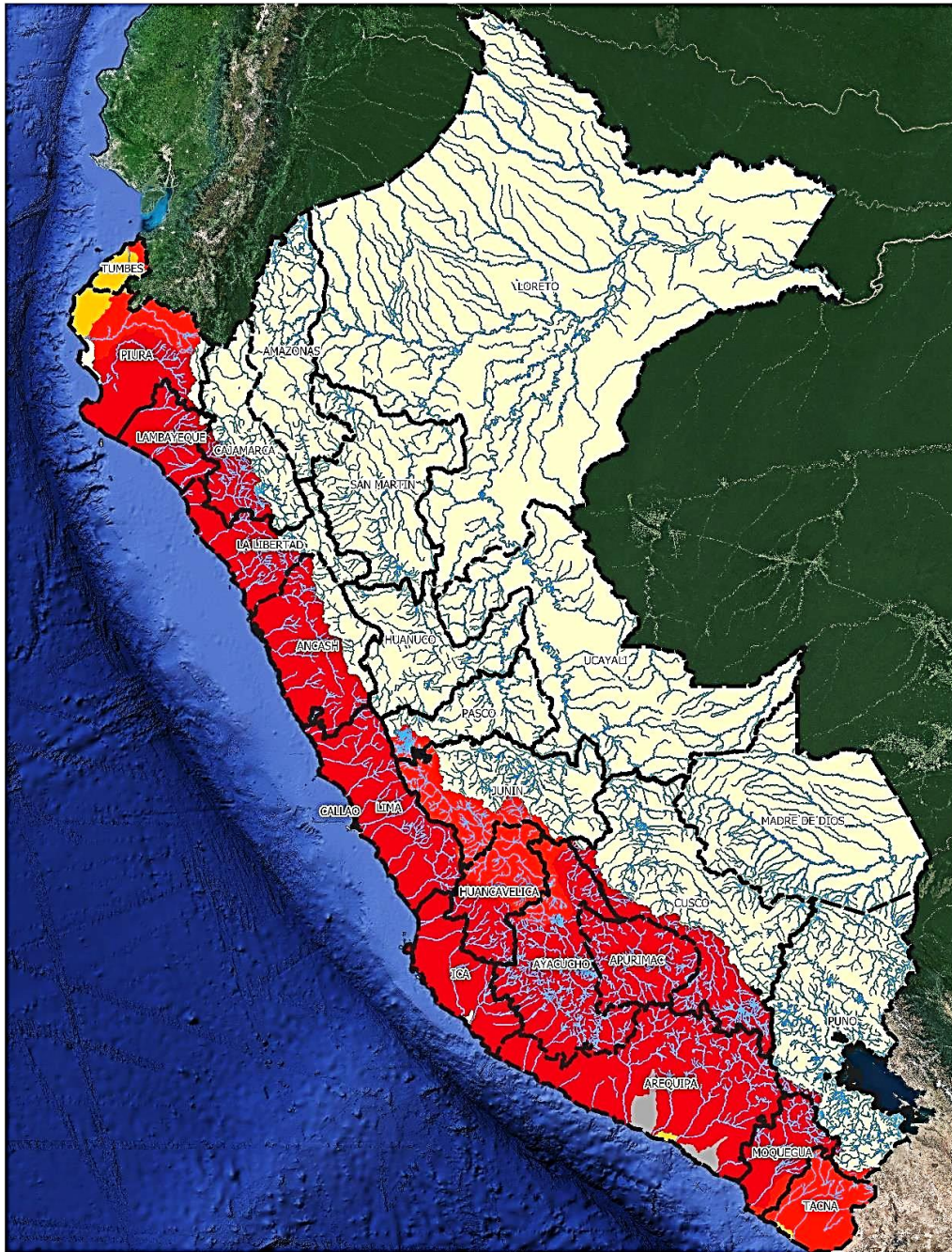
*Fuente:* (Centro Nacional de Planeamiento Estratégico (CEPLAN), 2023)

Respecto a los cambios estacionales e interanuales en la intensidad del estrés hídrico en territorio peruano, es relevante destacar que, aunque ciertas regiones no exhibieron un nivel significativo de estrés hídrico en el informe anual, como fue el caso de Lima (consultar la figura anterior), al realizar un análisis mensual, se percata que únicamente en febrero y marzo el estrés hídrico se mantenía en niveles bajos o moderados en la mayoría del territorio nacional. Sin embargo, durante los

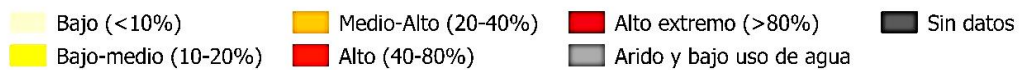
meses restantes (agosto, septiembre, octubre, noviembre, diciembre, enero, abril, mayo, junio y julio), se evidenció un aumento sustancial en el nivel de estrés hídrico, alcanzando **categorías altas y extremadamente altas**. De particular preocupación fueron los meses de **agosto** y septiembre, donde el estrés hídrico alcanzó niveles extremadamente altos en toda la franja costera y algunas zonas de la sierra sur debido a la escasez de lluvias. Estos hallazgos concuerdan con la marcada variabilidad estacional presente en el país (como se ilustra en la imagen siguiente). En resumen, el análisis mensual proporciona una perspectiva más precisa de la escasez de agua en el país, revelando las fluctuaciones estacionales en el estrés hídrico en diversas regiones. Esta información resulta esencial para comprender la distribución y el impacto del recurso hídrico a lo largo del año.

**Figura 9.**

*Situación de escasez de recursos hídricos durante el mes de agosto*



**Éstrés Hídrico - Agosto**

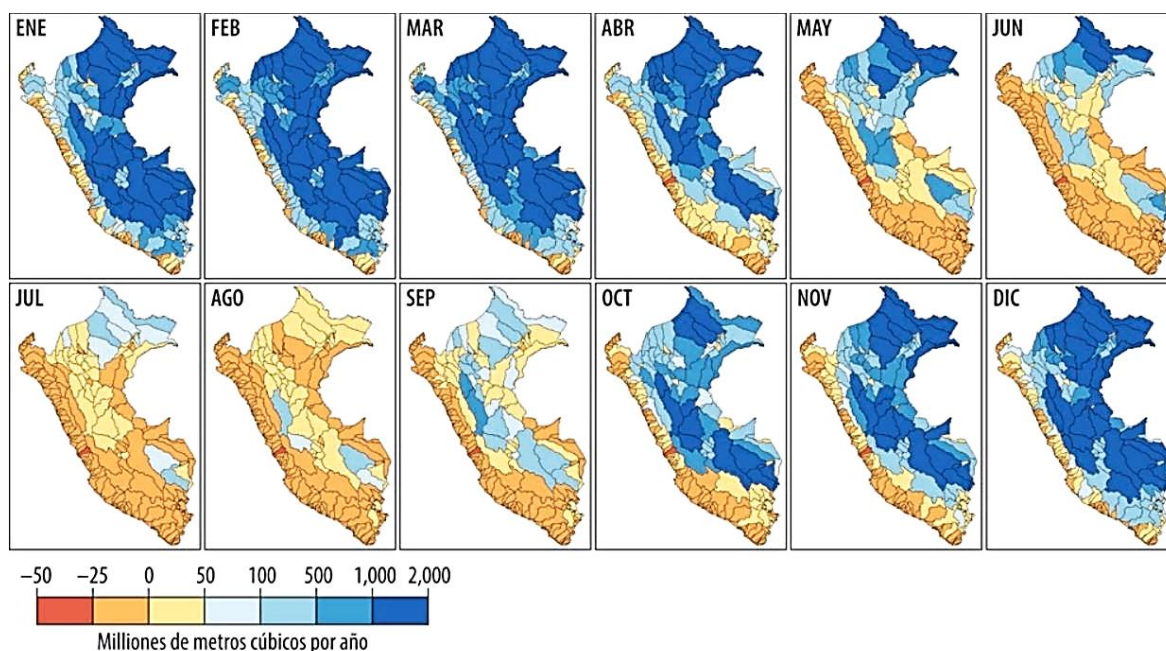


*Fuente:* (Centro Nacional de Planeamiento Estratégico (CEPLAN), 2023)

La marcada variabilidad del estrés hídrico se vincula estrechamente con las fluctuaciones en las precipitaciones, las cuales presentan un comportamiento altamente irregular a lo largo del año en la mayor parte del territorio peruano. De acuerdo con las estimaciones del Banco Mundial (2023), la variabilidad estacional fue de 2.9 y la interanual de 4.20, cifras que representan un 20 % y 115 % más que el promedio de América Latina y el Caribe, respectivamente. Incluso en cuencas con elevada actividad productiva, la precipitación anual puede experimentar una disminución de hasta un 40 % o un aumento de hasta un 50 % entre diferentes años. Estos cambios quedan claramente registrados en el análisis mensual del balance hídrico.

**Figura 10.**

*Evaluación mensual del Balance Hídrico en el territorio peruano*



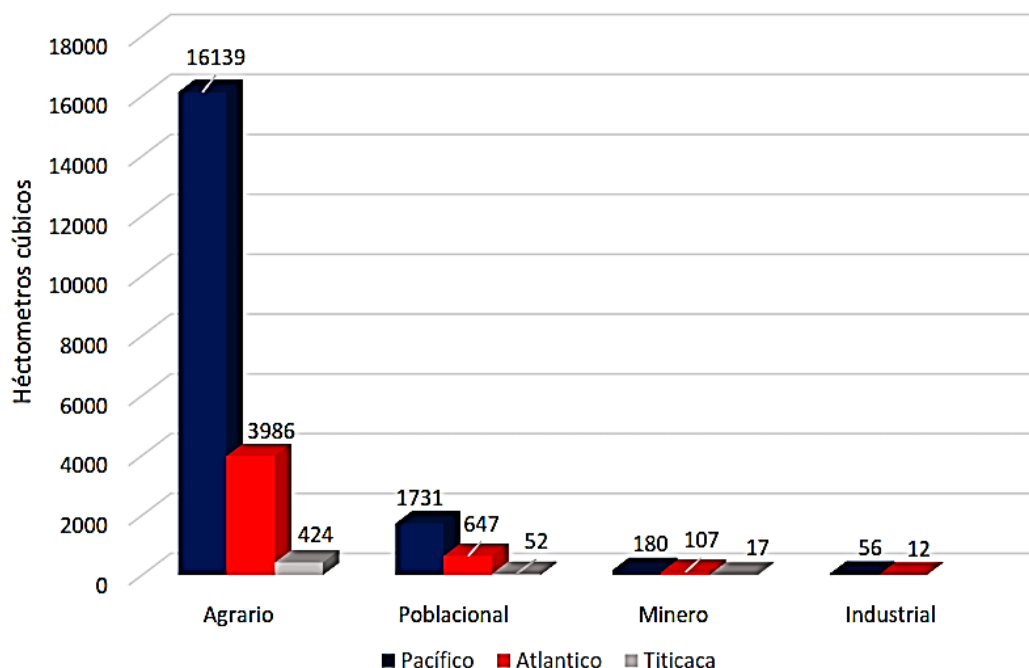
*Fuente: Acciones Estratégicas para la Seguridad Hídrica (Banco Mundial, 2023) y (Centro Nacional de Planeamiento Estratégico (CEPLAN), 2023).*

En el análisis de la **demanda** hídrica en el Perú, se emplea como indicador el volumen de agua superficial destinado a uso agrario, poblacional, minero e industrial según la vertiente. Es evidente que la vertiente del Pacífico emerge como la de mayor consumo de agua, siendo el sector agrario responsable de la mayor parte, con un volumen de 16,139 hectómetros cúbicos, seguido por la demanda poblacional, que alcanzó los 1,731 hectómetros cúbicos.



**Figura 11.**

*Cantidad de agua superficial requerido en el territorio peruano.*

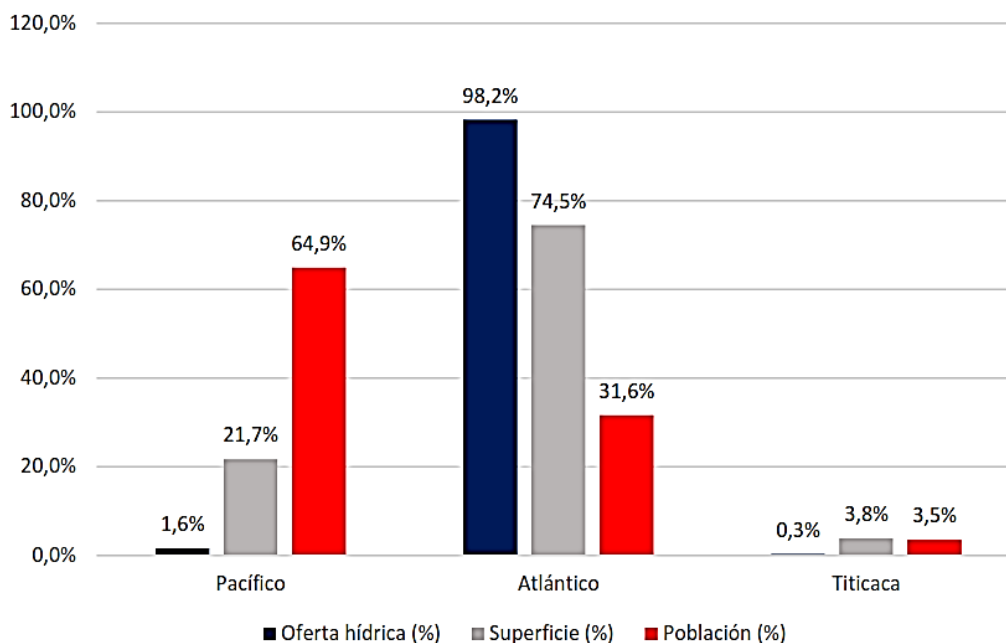


*Fuente: (Centro Nacional de Planeamiento Estratégico (CEPLAN), 2023) y Compendio Estadístico Ambiental, 2022 – INEI (2022).*

Respecto al análisis de la **oferta** hídrica en el Perú, se exhibe en la siguiente representación gráfica, las proporciones de oferta hídrica, superficie y población de acuerdo con las vertientes. En el contexto peruano, se observa que la vertiente del Pacífico albergaba el mayor porcentaje de población, alcanzando el 64.9 %, mientras que su oferta hídrica era la menor, registrando tan solo un 1.6 %. Contrariamente, en la vertiente del Atlántico, se manifestaba la mayor oferta hídrica, representando un significativo 98.2 %, con un porcentaje poblacional menor, situándose en un 31.6 %.

**Figura 12.**

*Porcentaje de la oferta hídrica.*



*Porcentaje de la oferta hídrica, superficie y población, categorizadas por vertiente, en el territorio peruano. Fuente: (Centro Nacional de Planeamiento Estratégico (CEPLAN), 2023), (Autoridad Nacional del Agua (ANA), 2022)*

Ante esta realidad problemática, es imperativo abordar el problema con el fin de garantizar un abastecimiento sostenible de agua a largo plazo en la zona. La construcción de pozos profundos se presenta como una solución viable para aprovechar los recursos hídricos subterráneos, desarrollando un enfoque integral para el diseño hidráulico de dichos pozos profundos, que sean capaces de resistir y mitigar las fuerzas dinámicas y fijas, evitando así su colapso. Estos pozos se consideran una solución efectiva para aprovechar el recurso hídrico subterráneo, es decir, las aguas subterráneas, y poder proporcionar un flujo constante de dicho recurso hídrico en los terrenos agrícolas de la región Moquegua, lo largo de un lapso de tiempo que abarca al menos dos décadas de operación continua o una vida útil de 20 años. Es fundamental investigar a fondo la problemática planteada con el objetivo de optimizar la construcción de pozos profundos y maximizar la utilización de los recursos hídricos subterráneos. Este estudio se sitúa en el marco social y económico del Perú, así como en un entorno mundial, teniendo en cuenta la dependencia de los recursos hídricos subterráneos para compensar las

demandas primordiales diarias del recurso hídrico en la agricultura, población y la industria, no solo en Perú y Sudamérica, sino también en todos los continentes. Para garantizar la viabilidad en la administración y aprovechamiento del recurso hídrico subterránea, también se considerarán las normativas y disposiciones establecidas por cada país para la explotación de acuíferos. Será crucial evaluar, administrar y gestionar de manera adecuada este recurso vital, considerando las cuencas hidrográficas del lugar. Consecuentemente, el agua dulce, ¿dónde podría estar? Ésta puede ser la pregunta angustiada en muchas zonas de Perú y del resto del mundo, donde la falta de agua dulce se ha convertido en un problema incuestionablemente acuciante. Sin embargo, la explotación de los recursos hídricos subterráneos, la fuerza vivificante de la Tierra, nos proporciona una respuesta viable que está a nuestro alcance. El estudio de la hidrogeología ha surgido como un área clave en la búsqueda de opciones para satisfacer nuestras necesidades de agua dulce. La principal herramienta para extraer agua subterránea es un pozo profundo, el cual deberá contar con un diseño hidráulico óptimo. La larga vida útil de los pozos profundos es una de sus principales ventajas. El recurso hídrico subterráneo está resguardado de la evaporación y otras variables ambientales, a diferencia de otras fuentes de agua como ríos o lagos. Esto garantiza un suministro constante y fiable durante muchos años, si no décadas. Algunas personas verían el gasto inicial de construir pozos profundos como un inconveniente, pero cuando analizamos detenidamente las ventajas a largo plazo, el gasto resulta insignificante. A continuación, se indican algunas posibles fuentes de energía para el bombeo del recurso hídrico subterráneo y sus costes asociados, según **García T.** (García Trisolini, 2009)

**Tabla 3.**

*Costo de producción de 1 kw de energía eléctrica.*

<b>EVALUACIÓN ECONÓMICA PARA LA GENERACIÓN DE 1 KILOVATIO DE ENERGÍA ELÉCTRICA</b>	
<b>Fuentes de Energía</b>	<b>Precio (dólar americano)</b>
Motor de gasolina	0.80 US\$
Paneles fotovoltaicos	0.45 US\$
Motor de gasóleo o Diesel	0.39 US\$
Energía de la red eléctrica	0.10 US\$

*Fuente:* (Garcia Trisolini, 2009).

Consecuentemente, los avances técnicos han reducido drásticamente los gastos de perforación, operación y mantenimiento. Según las estadísticas, la extracción de acuíferos mediante pozos profundos es una opción adoptada en todo el mundo y cada vez más popular. Estos acuíferos pueden producir enormes caudales de agua, y la profundidad de los pozos puede ser asombrosa. Consecuentemente, planteamos **nuestro problema general**, ¿En qué medida la evaluación hidrogeológica y la comparación de diseños hidráulicos mediante los enfoques de colapso y compresión, favorecen para que los pozos profundos puedan estar preparados ante la intervención de fuerzas dinámicas y fijas, evitando su colapso, y al mismo tiempo garantizando una vida útil mínima de 20 años?; No obstante, se tiene en consideración los siguientes **problemas específicos**: **a)** ¿Qué factores y aspectos se toman en cuenta al llevar a cabo la evaluación hidrogeológica de pozos profundos que extraen agua subterránea, y que impactan en la formulación de los diseños basados en los principios de colapso y compresión?, **b)** ¿Qué relación existe entre el diseño hidráulico por colapso y el diseño hidráulico por compresión, en pozos profundos que extraen agua subterránea, que contribuyen en garantizar una vida útil mínima de 20 años?, **c)** ¿En qué medida la evaluación hidrogeológica y el contraste de diseños hidráulicos utilizando los enfoques de colapso y compresión, aportan en la optimización de la extracción de agua subterránea en pozos profundos, para contrarrestar el déficit hídrico y mejorar los niveles de producción agrícola en el valle de Moquegua, 2023?. En consecuencia, se estableció el **objetivo general**, el cual indica que, al Realizar el análisis hidrogeológico, efectuando el cálculo (analizando) y comparando el diseño hidráulico por colapso y compresión, en pozos profundos que extraen agua subterránea, para que éstos logren permanecer preparados ante la intervención de fuerzas dinámicas y fijas, con fines de garantizar una vida útil mínima de 20 años, a través de la implementación de ambos enfoques de diseño. Por consiguiente, se obtiene los siguientes **objetivos específicos**: **a)** Evidenciar cómo los parámetros y consideraciones utilizados para llevar a cabo la evaluación hidrogeológica de pozos profundos, que captan aguas subterráneas, ejercen influencia en el diseño hidráulico basado en el colapso y en la compresión, **b)** Demostrar la relación que existe entre el diseño hidráulico por colapso y el diseño hidráulico por compresión,

en pozos profundos que extraen agua subterránea, que contribuyen en garantizar una vida útil mínima de 20 años, **c)** Identificar los criterios del análisis hidrogeológico y diseño hidráulico comparativo por colapso y compresión, contribuyen en la optimización de la extracción de agua subterránea en pozos profundos, para contrarrestar el déficit hídrico y mejorar los niveles de producción agrícola en el valle de Moquegua, 2023. Entonces, se estableció que la **Justificación teórica**, vendría a ser que la determinación central de este proyecto de investigación busca adentrarse con discernimiento y cautela. A su vez, pretende fomentar y lograr una comprensión dentro de la comunidad involucrada en la exploración hidrogeológica y en las actividades extractivas en su totalidad, acerca de la notable relevancia que la ingeniería ha confrontado y continuará afrontando, vinculada al déficit hídrico y las crecientes brechas en el suministro del recurso hídrico potable apta para la utilización en la población y la industria agrícola; Debido primordialmente al calentamiento global, así mismo, aclarar que el mayor porcentaje de agua dulce de la litosfera se ubica en el subsuelo, y en la presente investigación se tiene en consideración los criterios y apreciaciones para la óptima construcción de pozos profundos, con el objetivo de aprovechar dichos recursos hídricos subterráneos. Y la **Justificación práctica**, es el estudio de las metodologías de diseño hidráulico por colapso y diseño hidráulico por compresión en construcciones de pozos profundos que extraen agua subterránea, nos permitirá evaluar la contribución de estos métodos como una excelente alternativa para el diseño hidráulico de óptimas condiciones vinculantes a su durabilidad y eficiencia. Así como la **Justificación metodológica**, en la que esta investigación está dirigida por los principios del método científico, y el enfoque se adhiere a ciertas reglas destinadas a lograr conclusiones de las hipótesis planteadas en esta investigación, que, por supuesto, deben ser aplicadas por otros investigadores para objetivos científicos. Cuyo objetivo será únicamente intelectual. De este modo se planteó la **Hipótesis general**, en el cual planteamos que, debido a la aplicación del análisis hidrogeológico y la comparación del diseño hidráulico por colapso y compresión, en pozos profundos que extraen agua subterránea, se conocerá qué método contribuye para que éstos puedan estar preparados ante la intervención de fuerzas dinámicas y fijas, garantizando una vida útil mínima de 20 años. Asimismo, se tienen las siguientes **hipótesis específicas**: **a)** Los parámetros y consideraciones

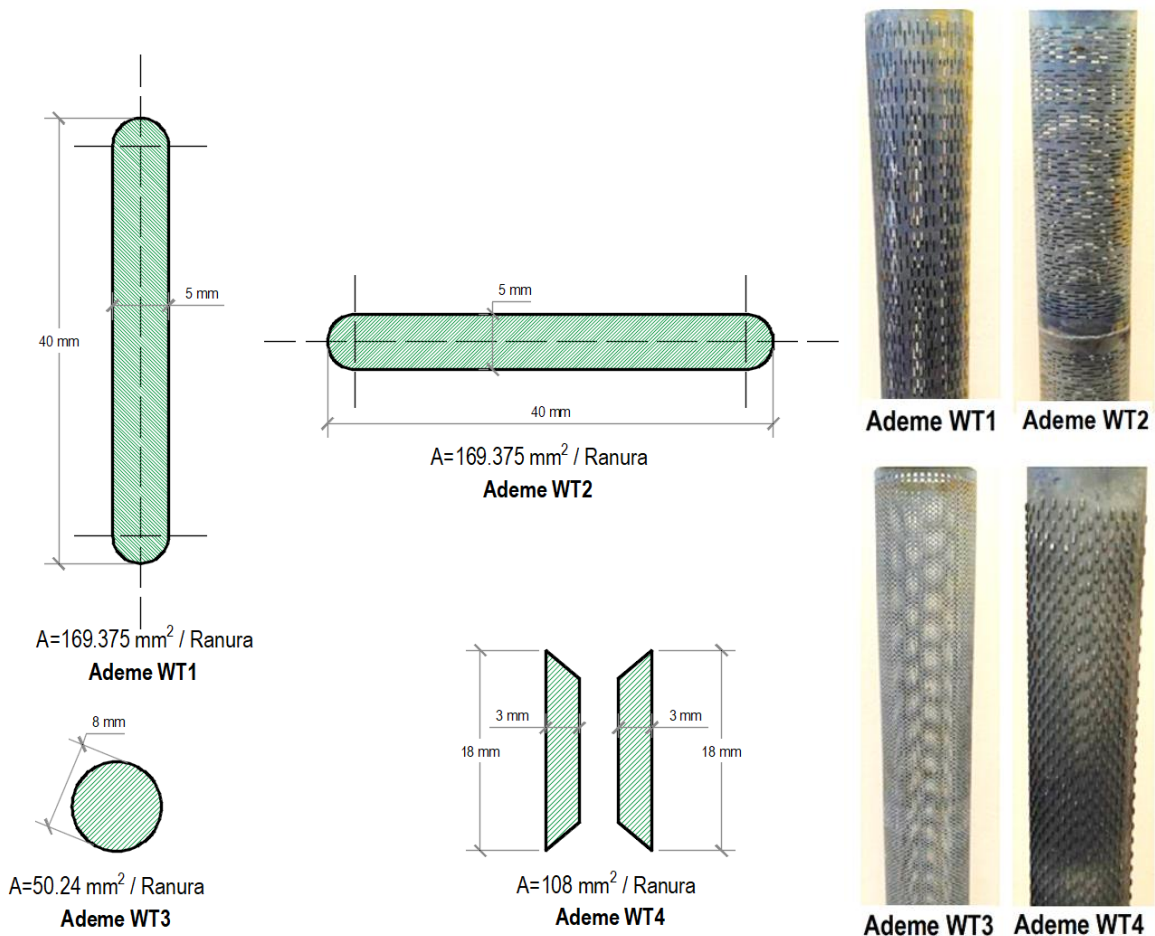
a tener en cuenta al llevar a cabo la evaluación hidrogeológica de pozos profundos que extraen agua subterránea, ejercen impacto en la configuración definitiva mediante los enfoques de diseño basados en colapso y compresión, **b)** La relación entre el diseño hidráulico por colapso y el diseño hidráulico por compresión, en pozos profundos que extraen agua subterránea, salvaguardarán una vida útil mínima de 20 años, **c)** En el caso de llevar a cabo la evaluación hidrogeológica y el diseño hidráulico comparativo utilizando los enfoques de colapso y compresión, se anticipa un rendimiento positivo en la mejora de la eficiencia de la extracción de aguas subterráneas en pozos profundos, para contrarrestar el déficit hídrico y mejorar los niveles de producción agrícola en el valle de Moquegua, 2023.

## II. MARCO TEÓRICO

Como **antecedentes internacionales**, se resalta a **ORHAM N.** (Orhan, 2023), que en su artículo de investigación científica titulada: "Effect of Different Screen Types on Head Loss in Deep Wells Used for Irrigation", el cual traducida al español indica "Efecto de distintos tipos de pantalla en la pérdida de carga en pozos profundos utilizados para el riego", estableció como su objetivo el de analizar los tipos de flujo en base al número de Reynolds, el descenso del nivel del pozo profundo, las pérdidas de carga y los cambios de coste de estas pérdidas de carga para cuatro tipos diferentes de tamiz utilizados en los pozos profundos, además de, examinar los tipos de flujo y las pérdidas de carga para los tipos de tamiz utilizados según los cálculos teóricos, en los pozos profundos WT1 (pantallas de ranura vertical oblonga), WT2 (ranura horizontal oblonga), WT3 (ranura redonda) y WT4 (tipo puente).

**Figura 13.**

*Tipos de ademe y tamaños de ranuras analizadas*



Fuente: (Orhan, 2023).

Utilizándose una metodología investigativa correlacional descriptiva con un enfoque cuantitativo. Obteniendo el resultado en el que la grava y la posición del orificio de la rejilla afectaron al porcentaje de colmatación de las rejillas, el incremento de la velocidad de flujo y de la pérdida de carga turbulenta, así como el aumento de la reducción del nivel freático poniendo en manifiesto que el uso de un tamiz horizontal de ranura oblonga, en función de las propiedades físicas de la grava utilizada en el estudio, minimiza la pérdida de carga en los pozos; Demostrando que, la pérdida de carga turbulenta entre los tipos de tamiz era la mayor (0,37 m) en el tamiz de ranura de puente (ST4) y la menor (0,028 m) en el de ranura redonda (ST3). La detracción es la suma de las pérdidas de carga de los pozos profundos. Entre los tipos de pozos, la reducción máxima (113,46 cm) se midió en el tipo de pozo de ranura de puente (WT4), y la reducción mínima (50,37 cm) se midió en el tipo de pozo oblongo de ranura horizontal (WT2). Así mismo, la pérdida de carga por unidad de caudal aumentó un 42% en WT3 (ranura redonda), un 89,4% en WT1 (ranura oblonga vertical) y un 147% en WT4 (tipo puente); Se observaron aumentos de costes debidos a la pérdida de carga del 43,5% en WT3, del 80% en WT1, y del 133% en WT4.

**Tabla 4.**

*Conductividad hidráulica en tipos de pozos, según filtro.*

<i>Caudal (m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>)</i>	<i>K<sub>well</sub> (ms<sup>-1</sup>)</i>			
	<b>WT1</b>	<b>WT2</b>	<b>WT3</b>	<b>WT4</b>
40	$8.7 \times 10^{-5}$	$1.7 \times 10^{-4}$	$1.0 \times 10^{-4}$	$7.9 \times 10^{-5}$
45	$7.8 \times 10^{-5}$	$1.5 \times 10^{-4}$	$9.7 \times 10^{-5}$	$6.8 \times 10^{-5}$
50	$7.2 \times 10^{-5}$	$1.4 \times 10^{-4}$	$8.8 \times 10^{-5}$	$6.1 \times 10^{-5}$
55	$6.6 \times 10^{-5}$	$1.3 \times 10^{-4}$	$8.1 \times 10^{-5}$	$5.5 \times 10^{-5}$
60	$6.2 \times 10^{-5}$	$1.2 \times 10^{-4}$	$7.9 \times 10^{-5}$	$5.0 \times 10^{-5}$
<b>Promedio</b>	$7.3 \times 10^{-5}$	<b><math>1.4 \times 10^{-4}</math></b>	$8.9 \times 10^{-5}$	$6.3 \times 10^{-5}$

*Fuente:* (Orhan, 2023).

Citando a **Gao Y.** (Gao et al., 2023), que en su artículo de investigación científica titulada "Investigation of high-speed deep well pump performance with different outlet setting angle of space diffuser", el cual traducida al español indica "Investigación del rendimiento de la bomba, de pozo profundo, de alta velocidad



con diferente ángulo de ajuste de salida del difusor espacial”. Estableciendo el objetivo de utilizar la simulación numérica para investigar la ley de cambio en el rendimiento para una bomba de pozo profundo de alta velocidad bajo diferentes ángulos de ajuste en la salida de la pala del difusor espacial, debido a que la bomba es uno de los equipos más importantes para el bombeo de aguas subterráneas; Puesto que la mejora del funcionamiento de las bombas de pozos profundos ha sido uno de los puntos clave de dicha investigación. En la actualidad, la mayor parte de la investigación sobre el diseño hidráulico de las bombas de pozos profundos se centra principalmente en las condiciones de baja velocidad, y sigue faltando una investigación sistemática sobre la teoría del flujo interno y el método de diseño de las bombas de pozos profundos de alta velocidad. Utilizándose una metodología investigativa exploratoria correlacional con un enfoque cuantitativo. Aplicando herramientas como la prueba de rendimiento del esquema de diseño para verificar la precisión de la simulación numérica. Los resultados muestran que el ángulo de ajuste de salida de 90° es una solución relativamente óptima, porque la altura es máxima, y cuando el ángulo de ajuste de la salida es de 80°, el rendimiento es máximo, y la pérdida hidráulica en el difusor espacial de primera etapa es la menor a 8 m<sup>3</sup>/h. La pérdida hidráulica media en los difusores espaciales en todos los niveles oscila entre el 16% y el 20%. En 7 m<sup>3</sup>/h, la pérdida hidráulica media en los difusores espaciales en todos los niveles es la más pequeña, y a 2 m<sup>3</sup>/h, la pérdida hidráulica media en todos los niveles es la mayor. Esta investigación puede servir de referencia para el diseño y la aplicación óptimos de bombas de alta velocidad para pozos profundos.

Desde el punto de vista de **Patton Erick M.** (Patton et al., 2023), en su artículo científico titulado “Effect of low-permeability layers on vadose well recharge rates”, el cual traducida al español indica “Efecto de las capas de baja permeabilidad sobre las tasas de recarga de pozos vadosos”, establece como Objetivo el de evaluar el efecto de la litología heterogénea en la recarga de los pozos vadosos; Puesto que, la recarga en acuíferos no confinados durante la Recarga Gestionada de Acuíferos (MAR) está influida por las características litológicas de la zona vadosa. La capacidad de los pozos vadosos para alcanzar tasas de recarga superiores a las posibles con cuencas de recarga se estudia en medios porosos heterogéneos no

saturados. Aunque las capas de baja permeabilidad cercanas a la superficie pueden evitarse con pozos vadosos, las capas de baja permeabilidad posteriores situadas por debajo o adyacentes a la pantalla del pozo influyen en las tasas de recarga al formar condiciones permeables; Así mismo, hallar la tasa de recarga y costes de los pozos. Utilizando una metodología de carácter correlacional descriptiva y un enfoque de la investigación cuantitativo, utilizando como herramienta el modelo numérico VS2DTI. Se modeló un acuífero arenoso utilizando las características hidrogeológicas del acuífero Hueco-Bolsón en Texas. Se estudió la recarga modelada para un pozo vadoso de 33 m de profundidad con una columna de agua de 10 m de altura evaluada en condiciones tanto de un acuífero homogéneo como de un acuífero con heterogeneidad formada por una fina capa de arcilla de baja permeabilidad. Cuyos resultados principales contrastan que los pozos vadosos a) sin capas de arcilla para recargar 200,6 m<sup>3</sup>/d, considerada la eficiencia máxima del pozo (100%), y b) la inclusión de capas de arcilla que crean condiciones perchadas que se muestra que reducen la recarga. En concreto, las tasas de recarga superiores a 180 m<sup>3</sup>/d (90% de eficiencia) se producen si la capa de arcilla se alinea en la mitad superior de la pantalla del pozo o por encima de ella. La simulación de la capa de arcilla de baja permeabilidad a lo largo de la mitad inferior del pozo provocó una reducción de las tasas de recarga hasta un mínimo de 30 m<sup>3</sup>/d (15% de eficiencia). Las tasas superiores a 100 m<sup>3</sup>/d (50% de eficiencia) se produjeron cuando la capa de arcilla se encontraba 10 m por debajo de la base del pozo. Coste por metro de pozo: 3281 \$/m.

**Tabla 5.**

*Costo de recarga de pozos*

<b>Profundidad de Pozo (m)</b>	<b>Modelado Recarga (m<sup>3</sup>/d)</b>	<b>Número de Pozos Necesario (a)</b>	<b>Costo/m<sup>3</sup> de Recarga</b>	<b>Costo/Pozo (b)</b>	<b>Coste total (axb)</b>
30	556.4	23	\$176.90	\$98,430	\$ 2,263,890
35	618.7	20	\$185.60	\$114,835	\$ 2,296,700
40	676.5	19	\$193.99	\$131,240	\$ 2,493,560
55	825.2	15	\$218.68	\$180,455	\$ 2,706,825
75	940.3	14	\$261.71	\$246,075	\$ 3,445,050
85	2268.7	6	\$122.93	\$278,885	\$ 1,673,310
95	3089.3	4	\$100.90	\$311,695	\$ 1,246,780

*Tasas de recarga y costes de los pozos de la zona vadosa, y número total de pozos necesarios para recargar 10 acres-pies al día (12,334.8 m<sup>3</sup>/día) en el acuífero modelado (Patton et al., 2023).*

Por otro lado, **Rashed M.** (Rashed, 2020), que en su artículo de investigación científica titulada: “Dual function wáter level/well depth meter”, el cual traducida al español indica “Doble función medidas del nivel de agua/profundidad en pozos”. Visto que la profundidad hasta el nivel freático y la profundidad hasta el fondo del pozo son mediciones cruciales para las investigaciones hidrológicas e hidrogeológicas, establece como objetivo la identificación de una herramienta idónea y adecuada para realizar la medición del nivel freático y el fondo del pozo, puesto que, en el caso de la profundidad hasta el fondo del pozo, los hidrogeólogos se apresuran a detectar el momento en que la punta de la sonda toca el fondo del pozo para obtener una estimación aproximada de la profundidad hasta el fondo del pozo, esto introduce una cantidad significativa de error y es extremadamente difícil de aplicar en pozos profundos. Mediante la implementación de una metodología experimental descriptiva, procediendo a efectuar los ensayos correspondientes. Obtuvo como resultado, que el medidor de pozos o sonda (WL/WD) con cable graduado de 3 hilos, 100 m de longitud, y la sonda fabricada en acero inoxidable que presenta una longitud de 190 mm. El interior del tubo tiene un diámetro de 12 mm, mientras que el diámetro exterior es de 14 mm, con un grosor de pared de 1 mm, con orificio ovalado perforado de 28 mm y 21 mm de borde inferior. Sumergiéndolo en agua durante 48 h, sumergiéndolo 35 m, durante 30 minutos; Es capaz de medir tanto el nivel de la napa freática como la profundidad hasta el fondo del pozo de forma sencilla y precisa, demostrando claramente su eficacia, precisión y durabilidad.

Como afirma **Al Zubari W.** (Al-Zubari et al., 2023), en su artículo de investigación científica titulada: “Spatial Optimization of the Groundwater Quality Monitoring Network in the Kingdom of Bahrain”, el cual traducida al español indica “Optimización espacial de la red de control de la calidad de las aguas subterráneas en el Reino de Bahrein”. Se plantea como objetivo el de efectuar la evaluación en el rendimiento de la red de seguimiento de la calidad del recurso hídrico subterráneo existente en Bahrein, golfo Pérsico. Visto que, el desarrollo, la administración y la planificación de los recursos hídricos subterráneos dependen esencialmente de su seguimiento cuantitativo y cualitativo, aunado a ello la información obtenida de las redes de seguimiento de un determinado recurso de

aguas subterráneas se utiliza como indicador significativo del estado de dicho recurso, y posteriormente se elaboran planes de gestión para desarrollar y utilizar este recurso de forma sostenible. Utilizando una metodología de carácter correlacional descriptiva y un enfoque de la investigación mixta, utilizando como herramienta el método geoestadístico de kriging, la varianza de la estimación se utilizó como criterio en el proceso de diseño, y la reducción de la varianza se empleó para medir el rendimiento de la red. El proceso dio como resultado, un aumento del número de puntos de observación de los 15 pozos controlados actualmente a 91 pozos, de los cuales el 74% eran pozos industriales que debían ser auto declarados para internalizar el coste de la administración de los recursos hídricos subterráneos en sus usuarios.

A juicio de **Van Tuan Pham** (Van Tuan et al., 2023), en su artículo científico titulado “Diseño de redes preliminares de control de aguas subterráneas para la provincia costera de Tra Vinh en el delta del Mekong, Vietnam”, El objetivo fundamental de la presente investigación se centró en la concepción de las redes preliminares de monitoreo para los niveles de agua subterránea y la salinidad en los tres acuíferos altamente explotados de la provincia de Tra Vinh. Dada la insuficiencia de los datos provenientes de seguimientos anteriores para llevar a cabo un análisis de variogramas y la subsiguiente interpolación mediante el método Kriging con el fin de estructurar la red, se emplearon herramientas tales como los modelos de flujo de agua subterránea y de transporte de agua salada para generar las distribuciones de niveles de agua subterránea y salinidad, respectivamente. Se adoptó un procedimiento iterativo para la selección de las ubicaciones idóneas para los pozos de monitoreo, basándose en los mapas de contorno que representaban los niveles de agua subterránea y los sólidos disueltos totales (SDT) obtenidos de los modelos de agua subterránea. La desviación estándar del error de interpolación mediante el método Kriging se empleó como criterio para evaluar la calidad de las redes de monitoreo diseñadas. Las prioridades para la colocación de los pozos destinados al seguimiento de los niveles de agua subterránea se enfocaron en las zonas con conos de depresión y límites, mientras que la ubicación estratégica de los pozos de monitoreo de salinidad se determinó en la zona costera y en las interfaces interiores entre aguas dulces y salinas. La red de control de niveles de agua subterránea

diseñada para la provincia de Tra Vinh comprendió un total de 80 pozos de control destinados a los tres acuíferos poco profundos. De estos, 13 se situaron a lo largo de la costa con el propósito de identificar flujos transfronterizos, 11 se distribuyeron en las zonas de conos de depresión regionales, y 23 pozos se ubicaron de manera uniforme en los acuíferos para la construcción de mapas de contorno de niveles de agua subterránea con una precisión equiparable. Los resultados obtenidos indican que la desviación estándar típica del error de interpolación de la red de monitoreo diseñada oscila entre 0,2 y 1,4 metros. Además, las curvas de nivel de los Sólidos Disueltos Totales (TDS) de 1500 mg/l y 500 mg/l señalan el riesgo de salinización en los pozos de agua potable. No obstante, la desviación estándar del error de interpolación se mantiene por debajo de los 500 mg/l en los tres acuíferos, lo que revela la presencia predominante de agua salina en la zona noreste de los acuíferos principales.

Teniendo en cuenta a **Wang Peng** (Wang et al., 2023), en su artículo científico titulado “Mejora del suministro de reactivos de recuperación en acuíferos de baja permeabilidad mediante el acoplamiento con un pozo de circulación de aguas subterráneas”. El objetivo fundamental de este estudio residía en la detección y comprensión de los fenómenos de dispersión y transferencia de masas limitadas, los cuales surgían como un desafío significativo debido a la compleja heterogeneidad hidrogeológica. Esta heterogeneidad dificultaba la entrega eficaz de reactivos correctores en las ubicaciones deseadas. Por tanto, resultaba imperativo encontrar soluciones de remediación que pudieran superar las barreras impuestas por la transferencia de masas, y así mejorar la eficacia de las técnicas de remediación in situ. Se empleó un conjunto de herramientas, entre las cuales destacaban los experimentos bidimensionales en una caja de arena y las simulaciones numéricas. Estas herramientas se utilizaron para investigar el proceso de migración de los reactivos correctores impulsados por un pozo de circulación de agua subterránea (GCW). El estudio se enfocó en analizar cómo variables como el caudal circulante, la concentración del reactivo corrector (en este caso, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> como modelo) y el modo de funcionamiento del ciclo afectaban la migración de los reactivos correctores mejorados por el GCW. Se determinó que el caudal del agua bombeada tenía el potencial de aumentar el gradiente de concentración en la

interfaz entre las diversas zonas de permeación, lo que a su vez contribuía a una redistribución de los reactivos, incrementando notablemente el rango de dispersión. Además, los resultados del análisis de sensibilidad paramétrica revelaron que la agregación de los reactivos correctores tenía un impacto significativo en la zona de baja permeabilidad, que presentaba una permeabilidad en torno a  $\sim 10^{-7}$  m/s, especialmente en relación con el punto de inyección. Teniendo en cuenta la atenuación de los reactivos de remediación, se constató que un modelo de transporte reactivo podía proporcionar una simulación más precisa de los cambios de concentración en las regiones de baja permeabilidad, con un coeficiente de determinación  $R^2$  superior a 0,960. En cuanto a las simulaciones numéricas, estas pusieron de manifiesto que el componente principal del campo hidrodinámico se alineaba tangencialmente al eje principal de la zona objetivo. Además, se observó que el coeficiente de difusión en la región de baja permeabilidad era aproximadamente un orden de magnitud inferior al de la región de alta permeabilidad, que presentaba una permeabilidad cercana a  $\sim 10^{-3}$  m/s.

Por consiguiente, para los **antecedentes nacionales**, valga recalcar que según **Narvaes C.** (Narvaez-Montoya et al., 2022), en su artículo científico titulado “Predicting adverse scenarios for a transboundary coastal aquifer system in the Atacama Desert (Peru/Chile)”, El objetivo de este estudio radica en amalgamar de manera integral la vasta gama de información hidrogeológica disponible, con el fin de discernir el comportamiento del sistema acuífero y evaluar los impactos que ha experimentado debido a la sobreexplotación de las aguas subterráneas en el sistema acuífero costero transfronterizo de Caplina/Concordia, ubicado en el desértico entorno de Atacama. Este sistema representa la principal fuente de aprovisionamiento hídrico destinado tanto al uso doméstico como a la irrigación en los distritos agrícolas de La Yarada-Los Palos en Perú, y Concordia en Chile. Asimismo, desempeña un papel de menor magnitud en el suministro público de la provincia de Tacna, en el lado peruano. A pesar de las notables restricciones en cuanto a la precipitación en la región, que se sitúa por debajo de los 20 mm anuales, y la limitada recarga originada en las altas cordilleras andinas, este sistema acuífero transfronterizo ha sido objeto de una explotación excesiva, particularmente en el sector peruano, actividad que se remonta a los años anteriores a la década de 2000.

Implementado una metodología aplicada de carácter descriptivo y un enfoque cuantitativo, se emplearon herramientas avanzadas como el software LEAPFROG para la construcción de un modelo hidrogeológico tridimensional detallado. Posteriormente, se desarrolló un modelo de flujo de agua subterránea con densidad constante, utilizando el software FEFLOW, el cual se ajustó mediante un riguroso análisis Monte Carlo y una calibración automatizada convencional. Como etapa final, se llevaron a cabo simulaciones de ocho escenarios distintos, los cuales abarcaron diversas propuestas de gestión de los recursos hídricos formuladas por la autoridad pertinente, además de considerar posibles tendencias climáticas derivadas de CMIP6, abarcando el período de 2020 a 2040. Los resultados obtenidos revelaron que en el lapso comprendido entre 2002 y 2020, se produjo un incremento en el nivel del mar de 216 hm<sup>3</sup>/año y una disminución promedio en el nivel de las aguas subterráneas de 7 metros. Las proyecciones indican que esta tendencia de agotamiento persistirá, anticipando una disminución adicional en el nivel de las aguas subterráneas estimada entre 5 y 8 metros, además de un incremento en la intrusión de agua marina en forma de cuña, con valores que oscilan entre 1120 hm<sup>3</sup>/año y 1175 hm<sup>3</sup>/año, a lo largo del periodo de pronóstico. En resumen, este estudio concluye que el sistema acuífero mantendrá su condición insostenible en el transcurso de las próximas dos décadas.

Como señala **Pacheco M.** (Pacheco et al., 2023), en su artículo científico titulado “Vertical Electrical Sounding Method to Detect Groundwater and Design of A Tubular Well for the Pampas District – Peru”, el cual traducida al español indica “Método de Sondeo Eléctrico Vertical para la Detección de Agua Subterránea y Diseño de un Pozo Tubular para el Distrito de Pampas – Perú”, establece como Objetivo el de parametrizar y cuantificar estas fuentes hidrogeológicas de agua, así mismo se proyectó el diseño de un pozo tubular que facilite la extracción eficiente del recurso hídrico subterráneo en el acuífero investigado. Implementando una metodología descriptiva cuantitativa y mediante el empleo de técnicas geofísicas indirectas avanzadas que generan imágenes geológicas que describen el perfil estratigráfico. Además, logró identificar a la napa freática, revelando su ubicación precisa en el área de estudio. Y utilizando el conjunto de Schlumberger, realizándose once (11) SEV – sondeos eléctricos verticales, hasta una profundidad

de 150 m. utilizando un resistímetro que fue fabricado artesanalmente, el cual emitió corriente al subsuelo obteniendo capas y horizontes a través de sus resistividades. Estos valores varían en el rango de 6,32-125,23  $\Omega$ .m. También se utilizó el equipo PQWTS-150-Detector de Agua para medir la profundidad del acuífero semiconfinado y conocer su caudal subterráneo. Cuyos resultados determinaron que, el nivel freático se ubica a una profundidad de 4.8 m., el pozo diseñado tiene una profundidad de 115 m y un espesor de 64 m, con un diámetro de perforación de 18 pulgadas y equipado con una bomba sumergible con motor de 25 HP, logrando un caudal de 1000 l/min, que cumple con el requerimiento de agua de la población. Para verificar la calidad del agua de este pozo, se realizó un análisis físico-químico y bacteriológico.

Así mismo, **Pari M.** (Pari Mamani, 2022), en su tesis titulada: “Diseño del sistema de bombeo de agua mediante el uso de energía fotovoltaica para suministrar al reservorio de 25m<sup>3</sup> Pomaoca, Puno”. Planteándose como objetivo principal el de efectuar el diseño del sistema de extracción del recurso hídrico desde el subsuelo, utilizando la energía solar como aliada para canalizar este recurso vital hacia un depósito de almacenamiento. Su metodología utilizada fue la de efectuar una investigación descriptiva con un enfoque cuantitativo y un diseño no experimental. Cuyos resultados principales revelan que el caudal extraído del pozo asciende a 4.5 litros por segundo, lo que resulta en una recuperación de 7.5 litros por segundo, un dato de gran relevancia. Se ha identificado que el nivel de agua estático se localiza a una profundidad de 3 metros, mientras que el nivel dinámico se sitúa a 9 metros bajo tierra. Para garantizar un flujo óptimo, se ha optado por utilizar tuberías de succión e impulsión de 2 pulgadas de diámetro, una elección precisa para el sistema. La selección de la bomba es igualmente fundamental, con una bomba con una capacidad de 3.73 kW ha sido evaluada y se adecua a los requerimientos del proyecto. Esto culmina en una fluctuación del caudal utilizable en un rango que varía entre 4.5 y 7.5 litros por segundo. Para asegurar el adecuado funcionamiento del sistema, se ha proyectado la utilización de una electrobomba de 5HP con capacidad de trabajo en un rango de altura dinámica total de 91.37 metros. Para respaldar este sistema energéticamente, se considera la instalación de 19 paneles con células fotovoltaicas, cada uno con una capacidad de 300 vatios, acompañados



con un banco de 17 baterías de 12 voltios y 100 amperios. Además, se contempla la inclusión de un inversor de corriente con una capacidad de 8206 vatios.

De acuerdo con **Velasco A.** (Velasco & Capilla, 2019), en su artículo científico titulado: "Hydrogeological characterization and assessment of anthropic impacts in the Lower Piura Sub-basin Aquifer in Peru", cuya traducción al español indica "Caracterización hidrogeológica y evaluación de impactos antrópicos en el acuífero de la subcuenca del Bajo Piura en Perú". Establece que el objetivo principal radica en la caracterización del acuífero, lo cual implica la creación de un modelo conceptual y matemático. Esto se lleva a cabo a pesar de la limitación de datos disponibles, y requiere la utilización de suposiciones y técnicas de interpolación. El propósito fundamental de este modelo es mejorar nuestra comprensión del sistema acuífero, así como entender los efectos de la extracción de agua subterránea. El sistema acuífero se compone de un acuífero no confinado que se encuentra interconectado con un acuífero confinado mediante un acuitardo. Utilizando una metodología correlacional descriptiva con un enfoque cuantitativo, utilizando modelos de estado estacionario y de estado transitorio de 2004 a 2014. Debido al proceso de elaboración y ajuste del modelo, se logró una precisa identificación de los parámetros hidráulicos y las condiciones límite, lo cual proporcionó una esclarecedora visión de la dinámica que rige el sistema. Cuyos resultados principales revelan que durante el período de 2004 a 2014, se observó que el nivel piezométrico en el acuífero confinado experimentó un cono de depresión con una declinación anual de 1,6 metros. Además, se registraron flujos de extracción, principalmente a través de captaciones, que totalizaron  $48,42 \times 10^6$  de metros cúbicos al año, la captación de aguas superficiales ( $6,33 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/año) y la descarga marina ( $18,50 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/año). Las entradas proceden del retorno de riego ( $34,67 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/año) y del acuífero del Alto Piura ( $27,23 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/año). El desequilibrio de  $11,24 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/año se extrae del almacenamiento del acuífero, lo que provoca caídas de carga hidráulica y cambios de caudal; Evidenciando una situación de explotación excesiva que resulta claramente insostenible, y cuyos efectos se hacen sentir de manera más acentuada en el acuífero confinado.

En la opinión del **Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico** (INGEMMET et al., 2019), en su boletín técnico informativo titulado: "Hidrogeología de la Cuenca del

Río Ilo-Moquegua, Región Moquegua”. Establece como objetivos el de llevar a cabo la cartografía hidrogeológica de la cuenca del río Ilo-Moquegua, describir las unidades geológicas capaces de almacenar y transmitir el recurso hídrico subterráneo, identificar los principales puntos de surgencia de aguas subterráneas en la cuenca del río Ilo-Moquegua, realizar un análisis químico e isotópico para la clasificación Hidrogeoquímica de las fuentes de agua subterránea presentes en la cuenca, reconocer los acuíferos con mayor vulnerabilidad y proponer áreas de intervención para llevar a cabo la recarga artificial de acuíferos y la extracción del recurso hídrico subterráneo. Utilizando una metodología correlacional descriptiva con un enfoque cuantitativo, siguiendo un enfoque metodológico que involucró diversas etapas, incluyendo la recolección de información, anotación de datos, determinación hidrogeológica, análisis y cálculos, interpretación, y finalmente, la propuesta de medidas de intervención. La recopilación de datos se basó en la obtención de información de diversas fuentes, abarcando datos bibliográficos, cartográficos y documentales. La información bibliográfica se obtuvo de una variedad de fuentes, como el INGEMMET, el INRENA, la ANA, universidades, proyectos especiales, así como publicaciones científicas y técnicas. Los temas abordados abarcaron estudios hidrogeológicos, hidrológicos, geológicos, geomorfológicos, recursos hídricos, y aspectos ambientales, entre otros. Para la información cartográfica, se recurrió al Instituto Geográfico Nacional (IGN) y al INGEMMET para la cartografía geológica. Los datos meteorológicos e hidrológicos fueron obtenidos del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI). En la caracterización hidrogeológica, se emplearon imágenes satelitales Landsat TM en las bandas 7, 4 y 2 (RGB). Cuyos resultados principales indican que en los valles de Moquegua e Ilo se encuentran depósitos fluviales y aluviales que conforman acuíferos porosos no consolidados y de escasa profundidad, los cuales están estrechamente interconectados con el flujo de los ríos. Se ha llevado a cabo un minucioso inventario de 121 fuentes de agua subterránea, dentro de las cuales se incluyen 86 manantiales naturales, 2 manantiales captados, 5 pozos, y 28 puntos de monitoreo. En relación a los valores de conductividad hidráulica obtenidos de las formaciones geológicas, se ha observado una diversidad de rangos. Por ejemplo, en el ensayo MOQ-04, que se efectuó en rocas comparativamente antiguas del Jurásico inferior, se obtuvo el valor mínimo de 0.1291 metros por día,

cercano al límite de "poco permeable". Por otro lado, el ensayo MOQ-08 en rocas volcánicas altamente fracturadas, perteneciente a la parte "permeable", reveló el valor más alto de 1.335 m/día. En cuanto a la conductividad eléctrica en los manantiales, los valores de conductividad eléctrica presentan una amplia variabilidad, registrando desde un mínimo de 8.4 uS/cm (identificado como 131729-001) hasta alcanzar un máximo de 1199.0 uS/cm (correspondiente al punto 131728-034). Estos valores se ven influenciados por el acuífero en cuestión, su trayectoria subterránea, ubicación geográfica y la litología a través de la cual el recurso hídrico subterráneo fluye. Por ejemplo, el manantial captado El Pacae (131725-001) muestra una conductividad de 2598 uS/cm, indicando una alta concentración de sales debido a la infiltración de aguas de riego provenientes de la actividad agrícola, que se mezclan con las aguas subterráneas. Asimismo, el manantial Puerto Ilo (13171-001), situado en las proximidades de la costa, presenta una conductividad de 4210.0 uS/cm, resultado de la interacción con el agua salada del mar. En términos de extracción, el volumen total de agua subterránea explotada ascendió a 2 276 453.30 m<sup>3</sup>, manteniendo un caudal de extracción constante de 0.07 m<sup>3</sup>/s. Al mirar las reservas totales de agua resguardada en las formaciones acuíferas en Moquegua e Ilo para el año 2003, se contabilizó un total de 25 755 585.20 m<sup>3</sup>. De esta cantidad, 20 699 409 m<sup>3</sup> corresponden a Moquegua y 5 086 176 m<sup>3</sup> a Ilo. De todo el volumen de agua extraída, el mayor porcentaje se destinó a la agricultura: 2 058 465.80 m<sup>3</sup> (equivalente al 90.42 %), mientras que un 9.58 % (217 990.90 m<sup>3</sup>) se reservó para uso doméstico.

Como concluyó **Flores Quispe E.** (Flores-Quispe et al., 2022), en su revista científica titulada: "Regionalization of Maximum Daily Rain in Moquegua Perú", cuya traducción al español indica "Regionalización de precipitación máxima diaria en Moquegua Perú". Establece como objetivo principal el de llevar a cabo la Regionalización o delimitación geográfica de las precipitaciones máximas durante un período de 24 horas en el área de Moquegua. En este proceso, se buscó identificar la correlación que se establece entre estos valores de precipitación máxima y los factores geográficos específicos de la región. Además, se trabajó en la selección de una función de distribución probabilística regional que mejor se ajuste a los datos de precipitación máxima en Moquegua. Este enfoque le permitió

comprender de manera más precisa las pautas de precipitación en la región y su relación con la geografía local. Utilizando una metodología correlacional descriptiva con un enfoque cuantitativo. Recopilando información valiosa sobre las precipitaciones máximas de 24 h en la región de Moquegua, basándonos principalmente en los registros pluviométricos proporcionados por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI). Para analizar esta información, se ha utilizado técnicas avanzadas, como el análisis de CLÚSTER, con el fin de identificar grupos de estaciones de monitoreo que compartan características similares en cuanto a sus datos estadísticos. Posteriormente, hemos delineado regiones homogéneas utilizando los polígonos de Thiessen o polígonos de VORONOI para cada estación, y luego las hemos agrupado para formar regiones coherentes en términos de comportamiento de precipitación. En cada una de estas regiones homogéneas, hemos realizado ajustes para modular la precipitación, dividiendo los valores entre la media. Para determinar la distribución de probabilidad más adecuada para cada región, hemos aplicado pruebas estadísticas rigurosas, como las pruebas de Chi-cuadrado ( $X^2$ ) y Kolmogórov-Smirnov. Los resultados de este análisis destacan una relación sólida entre la precipitación máxima, el período de retorno, las coordenadas geográficas y la altitud, con un coeficiente de determinación ( $r^2$ ) igual a 0.789, lo que indica una alta correlación. Además, todos los coeficientes son estadísticamente significativos ( $p < 0.05$ ). Este hallazgo es fundamental para comprender y predecir con precisión las condiciones de precipitación en la región de Moquegua.

Según **Wai Long Ng** (Ng et al., 2011), en su artículo técnico titulado “Hidrogeoquímica de aguas subterráneas en la cuenca del río Ilo-Moquegua - Perú”, el objetivo fundamental del estudio radica en la identificación primordial de los diferentes contextos del flujo de agua subterránea, así como las formaciones geológicas atravesadas y sus propiedades Hidrogeoquímicas características. Utilizando una metodología correlacional descriptiva con un enfoque cuantitativo. Llevando a cabo un minucioso inventario que abarcó un total de 121 puntos de aguas subterráneas. De esta selección, hemos elegido con precisión 33 para someter a un detenido análisis hidroquímico y de características. En este conjunto de datos, se registraron un total de 25 manantiales, 5 pozos y 3 ubicaciones de

control como parte de nuestra muestra, y todo el proceso de muestreo ha sido ejecutado siguiendo los rigurosos protocolos establecidos para los recursos hídricos subterráneos. La evaluación de las cualidades hidroquímicas de estos recursos hídricos subterráneos ha abarcado una gama de análisis, que incluyen la medición de las concentraciones de los componentes iónicos predominantes, así como la presencia de cationes, aniones y metales disueltos en las muestras de agua subterránea. Cabe destacar que todas estas mediciones y determinaciones han sido realizadas en el laboratorio de análisis químico de aguas del INGEMMET, empleando la avanzada técnica de ICP-Masa, asegurando así la precisión y fiabilidad de los resultados obtenidos. De entre estos resultados, los hallazgos más sobresalientes apuntan a que el contenido de nitratos en las fuentes bajo monitoreo, específicamente se han registrado concentraciones de 5.17 mg/L en El Común, 12.68 mg/L en Huaracane, 24.9 mg/L en el Totoral y 98.34 mg/L en el Pozo Moquegua 1. Estos valores son especialmente destacables, ya que muestran que el Pozo Moquegua 1 supera los niveles establecidos para el consumo humano, lo cual conlleva que su uso se restrinja únicamente al riego. Esta valiosa información evidencia la necesidad de una gestión cuidadosa y un uso preciso de estos recursos subterráneos en función de sus propiedades químicas.

En la opinión de **Daneshvar Fariborz** (Daneshvar et al., 2021), cuyo artículo científico titulado: "Desarrollo de una Estrategia para la Modelación SWAT en regiones peruanas con escasez de datos". La investigación tenía como objetivo central desarrollar métodos y evaluar el rendimiento de la Herramienta de Evaluación de Suelos y Aguas (SWAT) en la región del sur de Perú. Para llevar a cabo este propósito, se hizo uso de valiosas herramientas, como la taxonomía regional para la clasificación de suelos y la combinación de mapas de idoneidad con perfiles de suelo. Además, se recopilaron datos locales sobre la cobertura terrestre, complementados con información obtenida mediante teledetección por satélite, lo que dio lugar a la construcción de una sólida base de datos sobre la cobertura del terreno en la zona. Para evaluar la eficacia del modelo, se llevó a cabo un minucioso análisis del balance hídrico del embalse, complementado con datos de evapotranspiración proporcionados por satélites. Los resultados de este estudio demostraron que estas estrategias brindaban predicciones confiables en lo

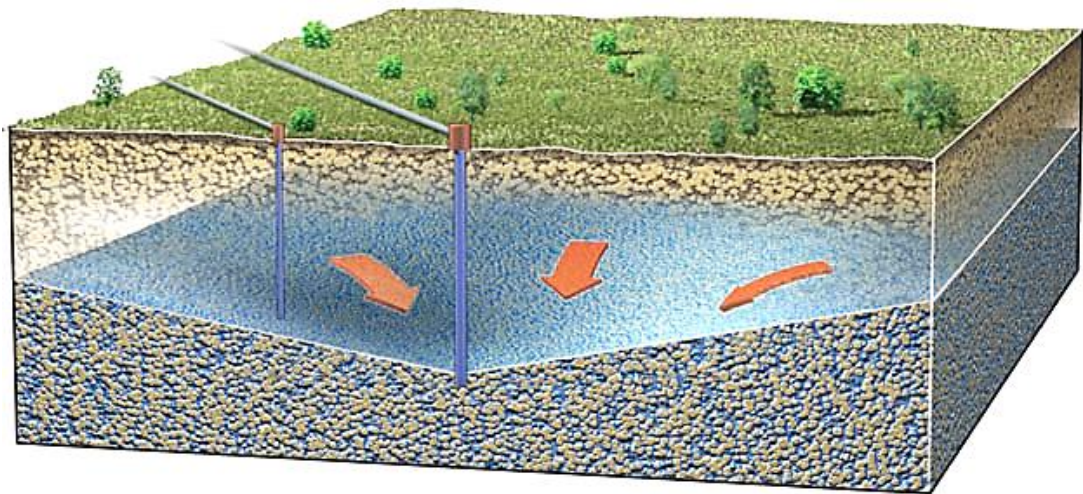
que respecta a la hidrología de la región. De manera general, en esta cuenca semiárida, el flujo de base era el principal protagonista, y la contribución anual promedio de la escorrentía superficial al caudal total se mantenía por debajo del 9%. Adicionalmente, se realizó una evaluación exhaustiva de las rutas del agua y de las incertidumbres asociadas, tomando como base la incertidumbre de las estimaciones de los aportes hídricos. Este análisis puso de manifiesto que alrededor del 62% de las precipitaciones se evaporaban debido a la evapotranspiración, con un grado de incertidumbre que podía llegar hasta el 16%. Los métodos desarrollados en este estudio no solo resultaron aplicables a otras cuencas hidrográficas con limitada disponibilidad de datos, sino que también aportaron un valioso conocimiento acerca de la hidrología de la región andina peruana.

Teniendo en cuenta a **Salmoral G.** (Salmoral et al., 2020), que en su artículo científico titulado: “Conciliar la demanda de riego para la expansión agrícola con la sostenibilidad ambiental - Una evaluación preliminar para el Valle de Ica, Perú.”, El objetivo principal de esta investigación reside en llevar a cabo una evaluación minuciosa de las consecuencias que la expansión de la agricultura conlleva para la sostenibilidad a largo plazo de los recursos de agua subterránea en el valle de Ica, en respuesta al incremento en la demanda global de alimentos que ha impulsado la expansión del riego. Esta expansión representa una amenaza real para la sostenibilidad de los escasos recursos hídricos en el valle de Ica, ubicado en Perú, el cual ha experimentado una notable transformación agrícola durante las últimas tres décadas. Esta transformación ha estado acompañada de extracciones de agua descontroladas que han llevado a la sobreexplotación del acuífero Ica-Villacuri. Para abordar este análisis, se empleó un conjunto de herramientas que incluyen técnicas de análisis espacial y modelización del riego, adaptadas tanto a explotaciones de gran escala como a explotaciones de menor escala. Estas herramientas se combinaron con una evaluación multicriterio del uso del agua para riego. Además, se examinaron las tendencias históricas en la superficie cultivada utilizando imágenes satelitales Landsat para identificar la expansión agrícola y los cambios en la composición de las explotaciones agrícolas a pequeña y gran escala. También efectuó el cálculo de la huella hídrica azul (WFblue) de las áreas de cultivo,

diferenciando entre extracciones de agua superficial y subterránea en ocho zonas geográficas específicas dentro del valle de Ica. Para evaluar los beneficios económicos del uso del agua, utilizándose el indicador de productividad del agua. La sostenibilidad ambiental de los recursos hídricos se evaluó espacialmente mediante un índice mensual de sostenibilidad del agua azul y una versión adaptada de la deuda de aguas subterráneas. Los resultados revelaron que, dadas las condiciones climáticas y los patrones de cultivo actuales, la agricultura de riego es insostenible a nivel local en todo el valle, a excepción de las zonas periurbanas y del valle medio, donde la agricultura a pequeña escala demuestra ser una excepción sostenible. Aproximadamente el 10% de la recarga total del acuífero proviene de la agricultura de riego a pequeña escala, mientras que la contribución de la agricultura de gran escala es insignificante. Los impactos más significativos se encuentran en las áreas donde predomina la agricultura de gran escala, donde se estima que se requieren entre 3.7 y 5.9 años para restablecer los recursos hídricos consumidos por la producción agrícola. Los análisis indican que la huella de las aguas subterráneas representa aproximadamente el 87% del total de la WFblue (483 millones de metros cúbicos), con 286 millones de metros cúbicos de aguas subterráneas consumidas en condiciones insostenibles, superando la tasa de recarga del acuífero. A pesar de que las áreas con extracción intensiva de aguas subterráneas, en su mayoría ocupadas por grandes explotaciones, presentan una mayor productividad del agua (2.4-5.4 sol/tonelada), también enfrentan el problema más crítico en términos de sostenibilidad.

En cuanto a las **BASES TEÓRICAS**, primeramente, se tiene la **Teoría de la conicidad**, el cual es un concepto relevante en el campo de la hidrogeología y el diseño de pozos profundos. Esta teoría se fundamenta en la idea de que la forma cónica de un pozo puede influir en la eficiencia de la captación del agua subterránea. En esta teoría, se considera que el diámetro del pozo debe variar a lo largo de su profundidad, siendo más estrecho en la parte superior y más amplio en la parte inferior. Esta forma cónica se diseña estratégicamente para aumentar la velocidad de flujo del agua hacia el pozo, mejorando así su rendimiento.

**Figura 14.**  
*Cono de depresión.*



*En vez de seguir una única dirección, el flujo de las aguas subterráneas se desplaza hacia el pozo principal y hacia el cono de depresión desde todas las direcciones. Fuente: <https://www.geography.name/what-problems-are-associated-with-groundwater-pumping/>*

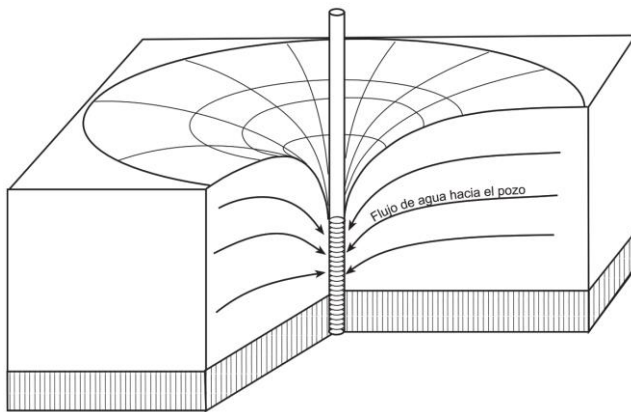
La idea detrás de la teoría de la conicidad es que, al reducir gradualmente el diámetro del pozo hacia la parte superior, se crea un efecto de succión que facilita el flujo del agua subterránea hacia el interior del pozo. A medida que el agua desciende hacia la parte inferior del pozo, el diámetro más amplio reduce la velocidad de flujo, permitiendo una acumulación adecuada y evitando turbulencias innecesarias. La forma cónica del pozo se logra utilizando diferentes técnicas de perforación y revestimiento. El diámetro se va ajustando durante el proceso de construcción del pozo, siguiendo las directrices establecidas por la teoría de la conicidad. Es importante destacar que el diseño específico de la forma cónica puede variar según las características geológicas e hidrogeológicas del sitio. La teoría de la conicidad se ha aplicado exitosamente en numerosos proyectos de



pozos profundos, permitiendo una mayor eficiencia en la captación de agua subterránea. Sin embargo, es importante considerar que cada caso debe evaluarse individualmente, tomando en cuenta factores como la geología del terreno, la disponibilidad de agua y los objetivos del proyecto. En resumen, la teoría de la conicidad es una estrategia de diseño hidráulico que busca mejorar la captación de agua subterránea en pozos profundos.

**Figura 15.**

*Cono de abatimiento alrededor de un pozo en operación*

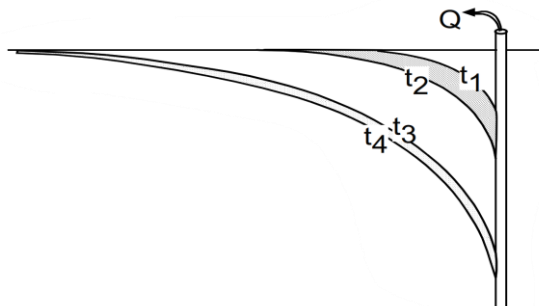


*Fuente: Margat, J. (1964).*

Al utilizar una forma cónica con un diámetro que varía a lo largo del pozo, se busca aumentar la velocidad de flujo y optimizar la captación del agua subterránea. Esta teoría es una herramienta valiosa para la hidrogeología y el diseño de pozos, permitiendo un mejor aprovechamiento de los recursos hídricos subterráneos.

**Figura 16.**

*Variación en la profundidad de un pozo respecto al tiempo de bombeo.*

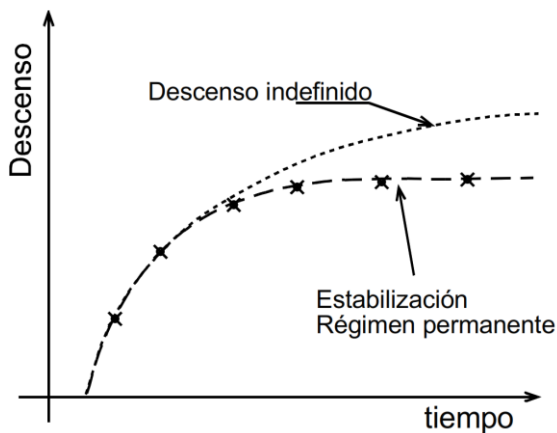


*Durante el intervalo de tiempo entre t1 y t2, se ha experimentado una duración equivalente a la observada entre t3 y t4. En caso de un caudal de bombeo constante, la cantidad de agua liberada en ambos lapsos temporales es idéntica; sin embargo, la disminución en la profundidad del nivel freático entre t3 y t4 es menor.*  
*Fuente: (Sánchez, 2022).*

Si el acuífero no recibiera recarga, la disminución del nivel freático se desarrollaría de manera más gradual, y el cono de depresión se expandiría sin cesar. Sin embargo, en situaciones naturales, el cono de depresión podría captar agua de fuentes como ríos, lagos o incluso otros acuíferos. En tal caso, los descensos se estabilizan, llegando a un estado de RÉGIMEN PERMANENTE O EQUILIBRIO. En este contexto, la forma y dimensiones del cono se mantienen constantes, a pesar de que el pozo continúe extrayendo agua de manera constante.

**Figura 17.**

*Régimen permanente.*

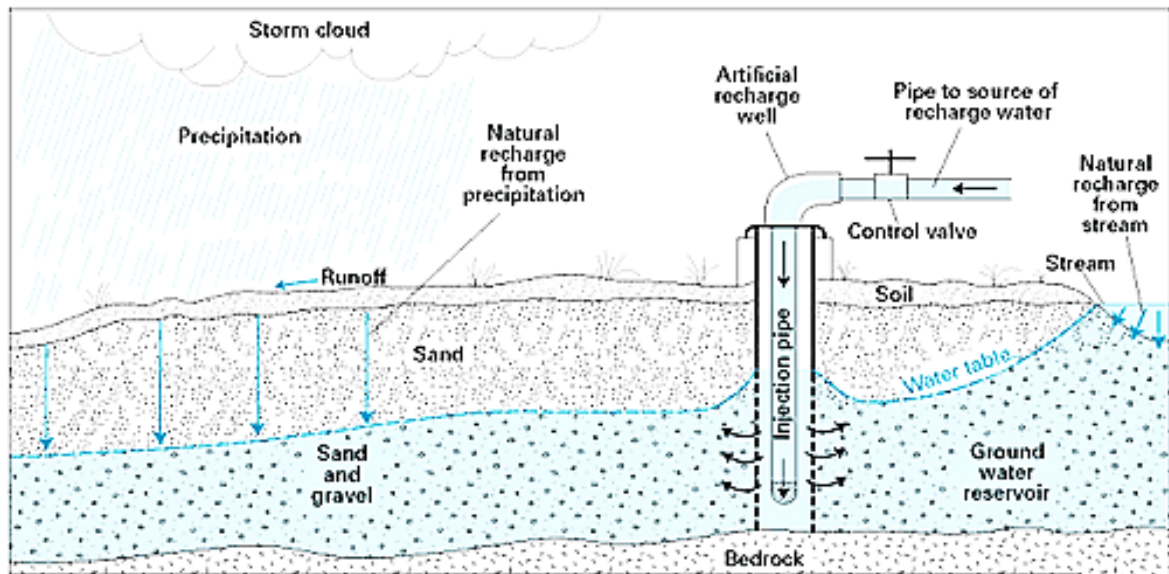


*Estabilización de la disminución en los niveles freáticos tras un periodo específico de extracción de agua.  
Fuente: (Sánchez, 2022).*

También se tiene la **Teoría de la recarga inducida**, es cual es un concepto relevante en el campo de la hidrogeología y el diseño de pozos profundos. Esta teoría se fundamenta en la idea de utilizar técnicas de recarga artificial para aumentar la cantidad de agua que ingresa a un acuífero. En esencia, la recarga inducida implica inyectar deliberadamente agua en un acuífero para reponer o aumentar sus reservas. Esta técnica se utiliza cuando las fuentes naturales de recarga son insuficientes o cuando se busca aumentar la disponibilidad de agua subterránea en una determinada área.

## Figura 18.

*Recarga inducida de acuífero*



*La recarga artificial impulsa la infiltración natural. Fuente: <https://www.usgs.gov/special-topics/water-science-school/science/infiltration-and-water-cycle>*

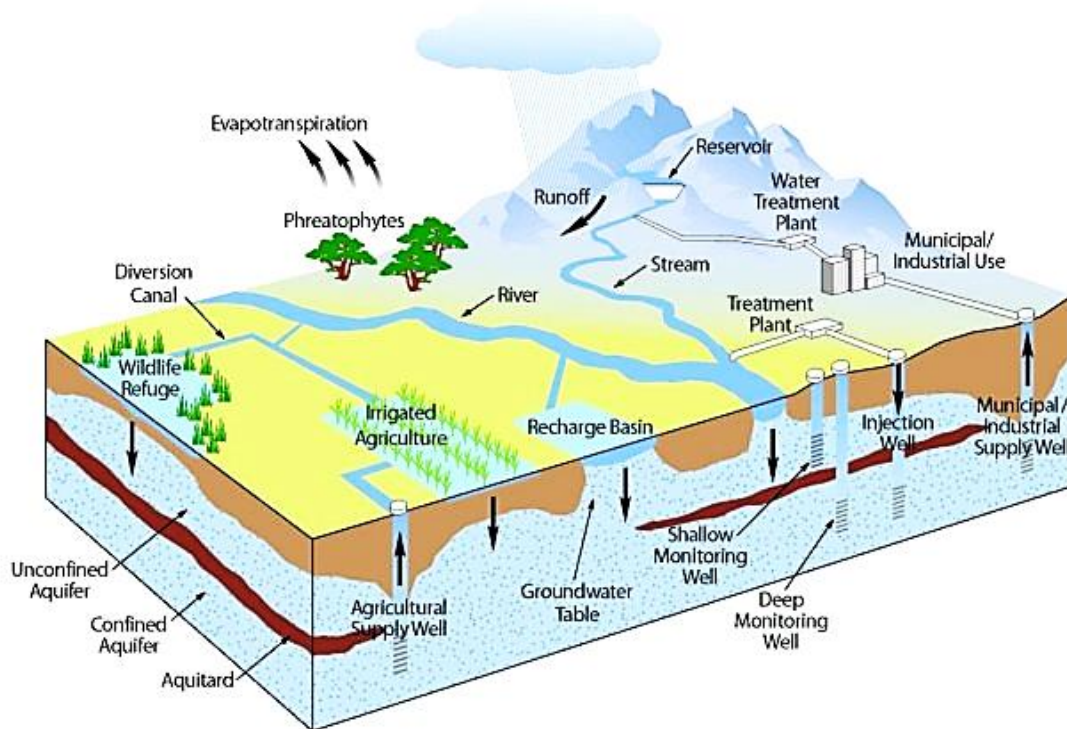
El proceso de recarga inducida implica la selección de sitios adecuados donde se pueda inyectar agua en el acuífero de manera controlada. Por lo general, se utilizan pozos profundos para llevar a cabo este proceso. El agua se inyecta a través de estos pozos hasta alcanzar las capas permeables del acuífero, donde se distribuirá y se mezclará con el agua existente. Existen diferentes métodos para llevar a cabo la recarga inducida, como la infiltración directa de agua en el suelo, la inyección en pozos de recarga o la construcción de estanques de almacenamiento. La elección del método depende de las características hidrogeológicas del área y de los objetivos específicos del proyecto. La recarga inducida ofrece numerosos beneficios. En primer lugar, permite aumentar la disponibilidad de agua subterránea, lo que es especialmente importante en áreas donde la sobreexplotación ha llevado a una disminución de los niveles de agua subterránea. Además, esta técnica puede mejorar la calidad del agua al favorecer la filtración natural a través de los sedimentos del acuífero. Además, la recarga inducida puede ayudar a controlar la intrusión de agua salada en acuíferos costeros al crear una barrera hidráulica mediante la inyección de agua dulce. También se ha utilizado para la recuperación de acuíferos agotados y como medida de gestión sostenible de los recursos hídricos. En conclusión, la teoría de la recarga inducida es una estrategia importante en el campo de la hidrogeología y el diseño de pozos

profundos. Mediante el uso de técnicas de recarga artificial, como la inyección controlada de agua en un acuífero, se busca aumentar la disponibilidad y mejorar la calidad del agua subterránea. Esta técnica ofrece beneficios significativos en términos de gestión sostenible de los recursos hídricos y puede ser una herramienta valiosa para enfrentar los desafíos de la escasez de agua y la sobreexplotación de acuíferos.

También se tiene la **Teoría del bombeo óptimo**, en cual es un concepto relevante en el campo de la hidrogeología y el diseño de pozos profundos. Esta teoría se centra en encontrar el equilibrio adecuado entre la extracción de agua subterránea y la eficiencia del acuífero, con el objetivo de garantizar la sustentabilidad a largo plazo de este recurso vital. En esencia, la teoría del bombeo óptimo se basa en la idea de que es posible extraer agua subterránea de forma controlada y sostenible, evitando tanto la sobreexplotación del acuífero como la degradación de la calidad del agua. Para lograr esto, se deben tener en cuenta varios factores clave. En primer lugar, es fundamental evaluar la capacidad de recarga del acuífero. La recarga es el proceso natural por el cual el agua ingresa al acuífero a través de la infiltración desde la superficie. Comprender la tasa de recarga y su distribución espacial permite determinar la cantidad de agua que se puede extraer sin comprometer el equilibrio del acuífero.

## Figura 19.

*Rendimiento sostenible del agua subterránea*



Fuente: <https://ponce.sdsu.edu/rendimiento.html>, Departamento de Recursos Hídricos de California – E.E.U.U.

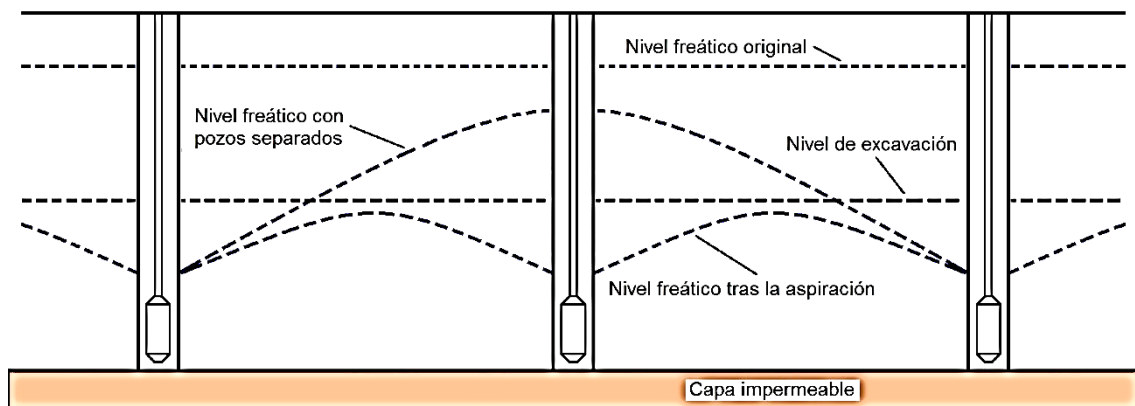
Además, la calidad del agua también es un aspecto esencial en la teoría del bombeo óptimo. La extracción excesiva de agua subterránea puede provocar la intrusión de agua salina o la movilización de contaminantes presentes en el acuífero. Por lo tanto, es crucial monitorear regularmente la calidad del agua para garantizar su protección y mantener un suministro seguro y saludable. Otro factor importante en la teoría del bombeo óptimo es la eficiencia del acuífero. Esto se refiere a la capacidad del acuífero para transmitir el agua de manera eficiente. Se deben considerar características como la permeabilidad del subsuelo y la distribución de los poros y las fracturas para determinar cómo el agua fluye dentro del acuífero. Conocer esta información ayuda a diseñar sistemas de extracción que minimicen las pérdidas y maximicen el rendimiento. La sustentabilidad a largo plazo es un objetivo fundamental en la teoría del bombeo óptimo. Se busca garantizar que la extracción de agua subterránea no agote los recursos a una velocidad mayor que su tasa natural de recarga. Esto implica implementar prácticas de gestión adecuadas, como la regulación de la extracción, la promoción de técnicas de conservación del agua y la implementación de medidas de recarga artificial. En

conclusión, la teoría del bombeo óptimo es fundamental para el diseño de pozos profundos y la administración sostenible del agua subterránea. Al encontrar el equilibrio adecuado entre la extracción de agua, la eficiencia del acuífero y el resguardo de la calidad del recurso hídrico subterráneo, se puede garantizar un suministro continuo y sustentable a largo plazo. Esta teoría se basa en la comprensión de los procesos hidrogeológicos y la implementación de prácticas de gestión responsable, y es clave para enfrentar los desafíos actuales y futuros relacionados con el agua subterránea.

Y, por último, se tiene la **Teoría de la distribución espacial**, el cual es un concepto relevante en el campo de la hidrogeología y el diseño de pozos profundos. Esta teoría se centra en la planificación estratégica y equitativa de la ubicación de los pozos en una red de extracción, con el objetivo de maximizar la eficiencia y garantizar un suministro de agua equitativo y sostenible.

### Figura 20.

*Distribución espacial de pozos profundos*



*Fuente: Tomlinson (1982).*

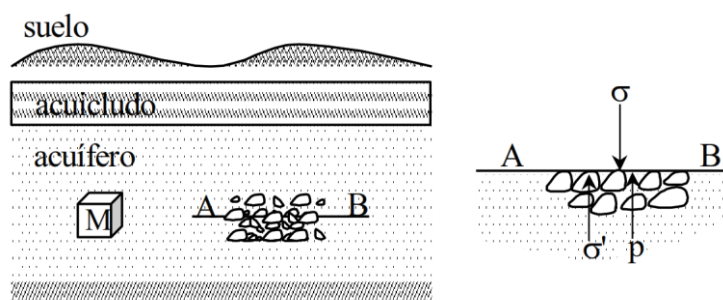
La distribución espacial de los pozos es un factor clave en el diseño de procedimientos de extracción de agua subterránea. Para lograr un equilibrio adecuado, se deben considerar diversos aspectos, como la disponibilidad y la calidad del recurso hídrico subterráneo, así como la demanda de dicho recurso subterráneo en la zona de estudio. La ubicación estratégica de los pozos implica analizar cuidadosamente la hidrogeología del área. Es importante tener en cuenta las características del acuífero, como su permeabilidad, capacidad de almacenamiento y recarga, para identificar las zonas más favorables para la

extracción de agua. Además, la distribución equitativa de los pozos busca garantizar que todas las áreas que dependen del agua subterránea tengan acceso adecuado a este recurso. Esto implica considerar factores socioeconómicos y ambientales para evitar la concentración excesiva de extracción en ciertas áreas y asegurar un suministro equitativo para todos los usuarios. La teoría de la distribución espacial también tiene en cuenta la interacción entre los pozos. Al planificar la ubicación de los mismos, se debe evaluar la influencia de un pozo en los demás, evitando la sobreexplotación de un área en particular y buscando un equilibrio en la extracción para evitar el agotamiento del acuífero. En resumen, la teoría de la distribución espacial en hidrogeología se enfoca en el diseño estratégico y equitativo de la ubicación de los pozos en una red de extracción de agua subterránea. Considerando la hidrogeología local, la calidad del agua, la demanda y los aspectos socioeconómicos, se busca maximizar la eficiencia y garantizar un suministro equitativo y sostenible en el largo plazo. Al aplicar esta teoría, se puede lograr una administración responsable del agua subterránea y promover la sustentabilidad en el uso del agua.

**Características elásticas del estrato acuífero:** En primer lugar, se tiene a) Coeficiente de almacenamiento (S): El peso del suelo y del agua, junto con la carga de cualquier otro componente posicionado sobre la superficie del suelo sobre el acuífero, genera una sobrecarga ( $\sigma$ ). Esta sobrecarga se compensa con la tensión ( $\sigma'$ ) que la matriz del suelo sostiene y la presión (p) del agua en el acuífero, cumpliéndose:

$$\sigma = \sigma' + p \quad \text{Ecuación ( 1 )}$$

**Figura 21.**  
*Características elásticas del estrato acuífero*



En el lado izquierdo se visualiza una representación en corte transversal del acuífero, mientras que en el lado derecho se muestra con más detalle la sección del acuífero interceptada por el plano AB, junto con las tensiones a las que se encuentra sometido. Fuente: (Maidment David R., 1993).

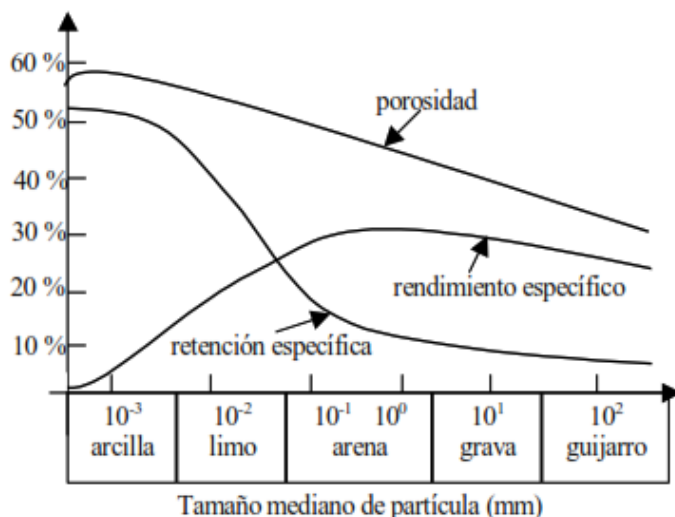
La extracción del agua subterránea mediante bombeo ocasiona una disminución de la presión en el acuífero, resultando en un aumento de la carga soportada por la matriz sólida, lo que conlleva a la compresión del medio poroso y una reducción en la porosidad. En consecuencia, se define el almacenamiento específico del medio poroso del acuífero ( $S$ ) como el volumen de agua extraído o añadido a un volumen unitario de acuífero por cada unidad de disminución en el nivel piezométrico.

$$S = \frac{\Delta V_a}{V_t * \Delta p} \quad \text{Ecuación ( 2 )}$$

Donde:  $\Delta V_a$  es el diferencial del volumen del agua,  $V_t$  es el volumen total del acuífero y  $\Delta p$  es el diferencial de la presión del agua en el acuífero. Y, en segundo lugar, **b)** acumulación de agua dentro de un estrato acuífero: El almacenamiento de agua en ambos tipos de acuíferos resulta de distintos fenómenos. En el acuífero confinado, este almacenamiento se origina por los efectos elásticos de la matriz y el agua. En contraste, en el acuífero libre, el agua fluye desde el espacio poroso que se encuentra entre dos posiciones del nivel freático (Maidment David R., 1993).

### Figura 22.

Variación de características elásticas acuífero con el tamaño de las partículas.



Fuente: (Maidment David R., 1993).

Por otra parte, en el estado de régimen permanente, el acuífero ya no contribuye con agua a través de vaciamiento de poros (no confinado) o por descompresión



(confinado), sino que únicamente dirige el flujo radial hacia el pozo de extracción. En consecuencia, la determinación de si se trata de un "buen acuífero" en RÉGIMEN PERMANENTE dependerá de la transmisividad (T), estando el descenso o abatimiento (s) en función acorde a la descripción de la Ecuación ( 3 ):

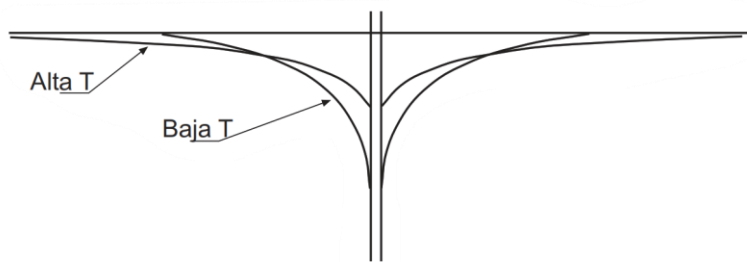
$$s = f\left(\frac{1}{r}, Q, \frac{1}{T}\right) \quad \text{Ecuación ( 3 )}$$

Mientras que en el RÉGIMEN VARIABLE también dependerá de la transmisividad (T) y del Coeficiente de Almacenamiento (S):

$$s = f\left(\frac{1}{r}, t, Q, \frac{1}{T}, \frac{1}{S}\right) \quad \text{Ecuación ( 4 )}$$

**Figura 23.**

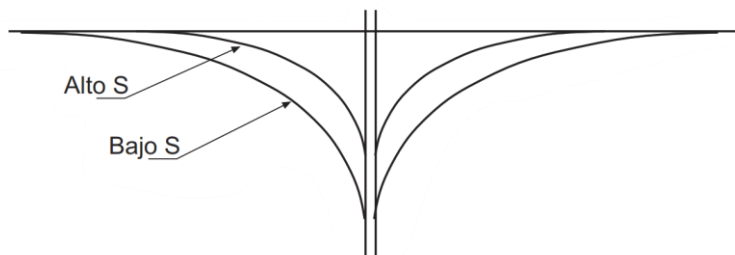
*Conicidad según Transmisividad (T)*



*Con un coeficiente de almacenamiento constante, la inclinación del cono de depresión se incrementa a medida que disminuye la transmisividad (T). Fuente: (Sánchez, 2022).*

**Figura 24.**

*Conicidad según Coeficiente de almacenamiento (S)*



*Con una transmisividad constante, el tamaño del cono de depresión es proporcionalmente mayor cuando el coeficiente de almacenamiento (S) es más bajo. Fuente: (Sánchez, 2022).*

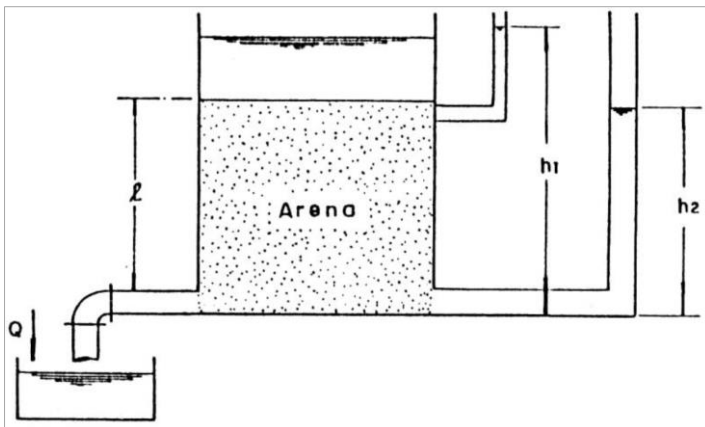
**Ley de Darcy:** Henry Darcy, con su enfoque experimental, se sumergió en el análisis del movimiento del agua a través de un medio poroso. Esta ley se

fundamenta en las subsiguientes hipótesis: a) Medio continuo, es decir que los poros vacíos estén intercomunicados. En este sentido, los medios kársticos no se pueden considerar como continuos, b) Medio isotrópico, c) Medio homogéneo, d) Flujo del agua en régimen laminar; De esta manera se estableció la Ecuación ( 5 ):

$$Q = \frac{KA(h_1 - h_2)}{l} \quad \text{Ecuación ( 5 )}$$

Donde. - Q: Caudal Constante en m<sup>3</sup>/s, K: permeabilidad ó conductividad hidráulica, h<sub>1</sub> y h<sub>2</sub>: carga hidráulica en m de agua, A: área de la sección en m<sup>2</sup> y l: longitud del lecho de arena en metros. Ver

**Figura 25.**  
*Experimento de Darcy*



Fuente: (Vélez Otálvaro, 1999)

Como la pérdida de carga por unidad de longitud es nuestro gradiente hidráulico (i), se tendría la Ecuación ( 6 ):

$$i = \frac{\Delta h}{l} \quad \text{Ecuación ( 6 )}$$

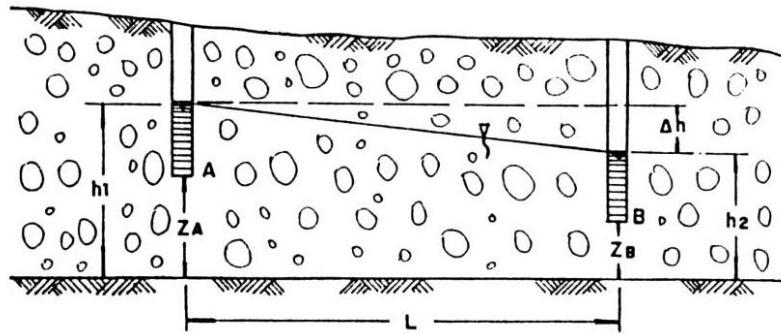
Del teorema Q=A x V, se deduce la expresión definida como velocidad de Darcy o velocidad de flujo:

$$V = \frac{Q}{A} = Ki \quad \text{Ecuación ( 7 )}$$

El gradiente hidráulico (i), expresado como la pendiente de la curva que describe la superficie piezométrica, se presenta como un parámetro adicional en la Ley de

Darcy. Este fue definido como la pérdida de carga por unidad de longitud, siendo dicha longitud medida en la dirección del flujo. Este concepto cobra relevancia al considerar un acuífero y la presencia de dos piezómetros en el análisis hidrogeológico.

**Figura 26.**  
*Gradiente hidráulico*



Fuente: (Vélez Otálvaro, 1999)

Como se indicó en la Ecuación ( 6 ) del gradiente hidráulico, y existiendo un signo negativo el cual se originaba por la disminución de la carga hidráulica con respecto a la longitud (L) en la dirección del flujo. Al expresar el gradiente hidráulico de manera diferencial, se abordaba con precisión la variación de este parámetro crucial en el contexto hidrogeológico. La consideración de dicho signo negativo resultaba esencial para comprender la tendencia decreciente de la carga hidráulica a lo largo de la trayectoria del flujo, aspecto fundamental en el análisis de la dinámica subterránea.

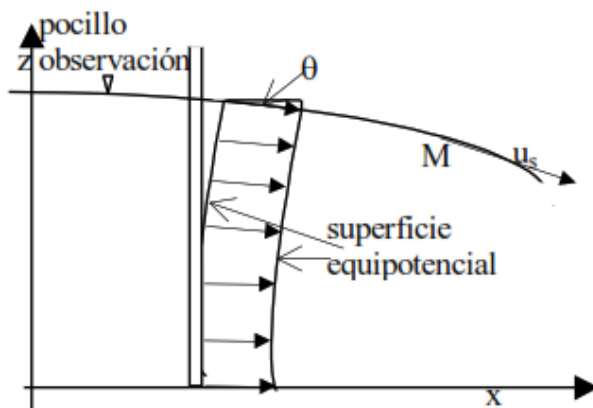
$$i = - \lim_{\Delta h \rightarrow 0} \left( \frac{\Delta h}{l} \right) = - \frac{\partial h}{\partial l} \quad \text{Ecuación ( 8 )}$$

**Condición de Dupuit:** En un acuífero no confinado, la velocidad y el nivel freático experimentan variaciones entre diferentes ubicaciones. Para determinar la velocidad "u" en cada punto específico, es esencial conocer la altura de la capa freática "h". Dado que esta altura rara vez se mantiene horizontal, salvo en situaciones hidrostáticas, las superficies equipotenciales no adoptan una orientación vertical (la condición límite que las define implica una ecuación no

lineal). Por lo tanto, la solución para la altura "h" implica la resolución de ecuaciones en derivadas parciales en el espacio tridimensional.

Para abordar la complejidad de este problema, Dupuit (1863) simplificó la situación al observar que las pendientes del nivel freático eran insignificantes ( $1/10^3$  y  $1/10^2$ ). En situaciones de régimen permanente, sin recarga vertical del acuífero, el nivel freático se comporta como una línea de corriente, como se ilustra en la figura subsiguiente. En cualquier punto M de esta línea, la velocidad " $u_s$ " es tangente a la línea de corriente, y se sigue la ley de Darcy.

**Figura 27.**  
Condición de Dupuit



Fuente: (Maidment David R., 1993).

Donde, se cumple que:

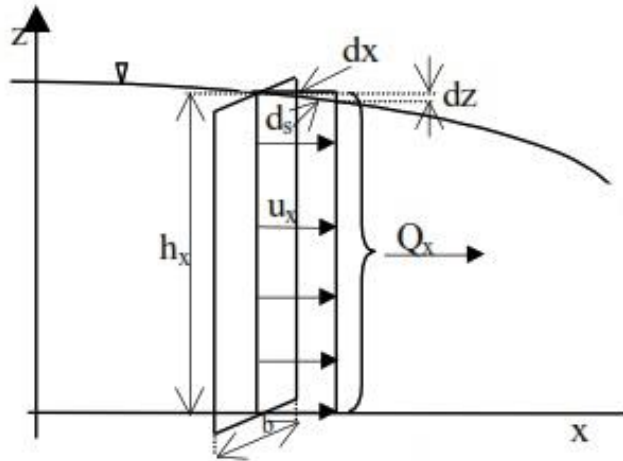
$$u_s = -K \frac{d\phi}{ds} = -K \frac{dz}{ds} = -K \sin \theta \quad \text{Ecuación ( 9 )}$$

Debido a la pequeñez de  $\theta$ , Dupuit propuso sustituir  $\sin(\theta)$  por  $\text{tg}(\theta)=dh/dx$ . La premisa de un  $\theta$  pequeño implica la consideración de superficies equipotenciales verticales y la existencia de una dispersión horizontal del fluido, como se ilustra en la figura siguiente. Así, la aplicación de la ecuación de Darcy se mantiene válida en estas condiciones.

$$u_x = -K \frac{\partial h}{\partial x}; \quad u_y = -K \frac{\partial h}{\partial y}; \quad h = h(x, y) \quad \text{Ecuación ( 10 )}$$

**Figura 28.**

Considerando superficies equipotenciales en orientación vertical.



Fuente: (Maidment David R., 1993).

Se verifica que la tasa de flujo (Q) por unidad de ancho es:

$$\frac{Q}{b} = -Kh\Delta h = -K\frac{1}{2}\Delta h^2 \quad \text{Ecuación ( 11 )}$$

La variación del potencial hidráulico entre dos secciones verticales infinitesimalmente cercanas es insignificante, lo que resulta en que el nivel freático se mantiene en posición horizontal.

En el caso de ACUÍFEROS NO CONFINADOS, Dupuit formuló la siguiente expresión matemática.

$$Q = \frac{\pi K(H^2 - h^2)}{\ln\left(\frac{R}{r}\right)} \quad \text{Ecuación ( 12 )}$$

Donde: Q es el caudal o tasa de flujo, K es la conductividad hidráulica, H es la altura estática en referencia al nivel impermeable, h altura dinámica total en referencial al nivel impermeable, R es el radio de influencia y r es la radio del pozo.

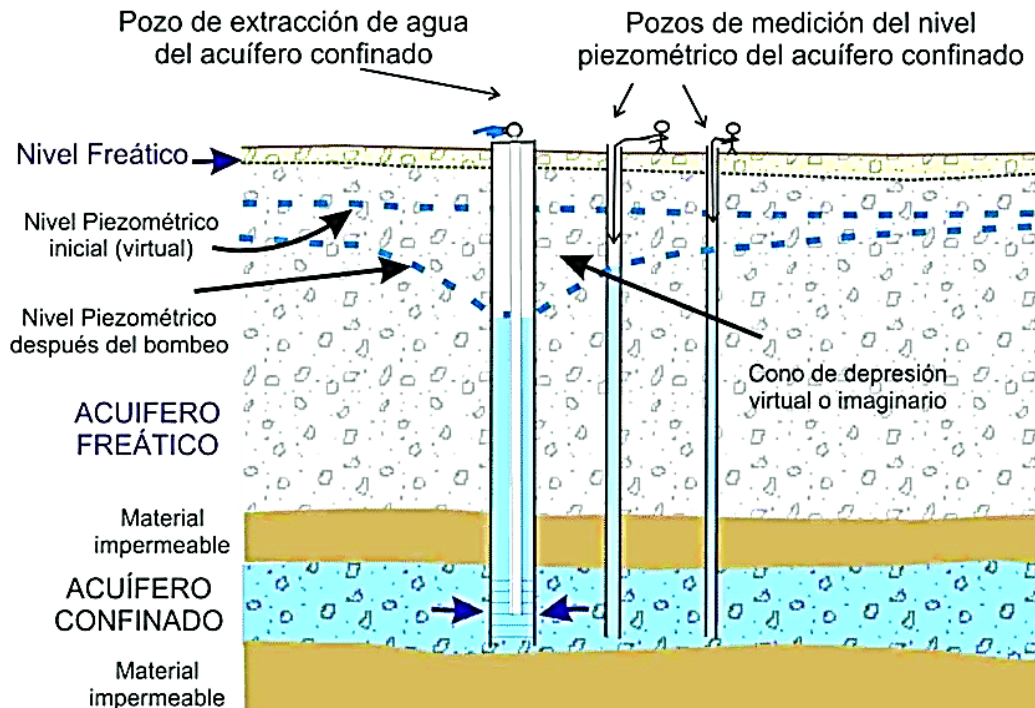
Y en el caso del ACUÍFERO CONFINADO, Dupuit formuló la siguiente expresión matemática.

$$Q = \frac{2\pi KH(H - h)}{\ln\left(\frac{R}{r}\right)}$$

Ecuación ( 13 )

**Figura 29.**

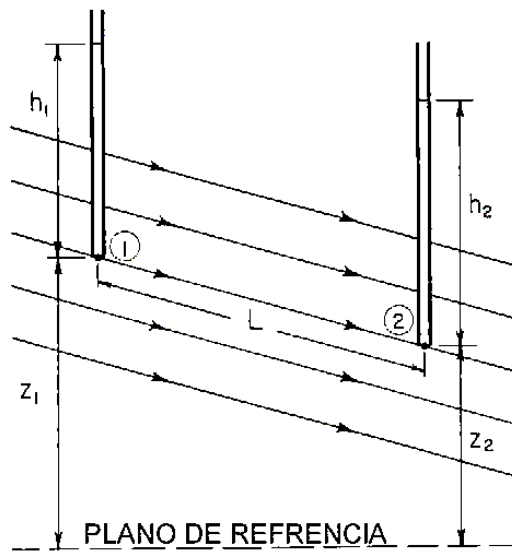
*Bombeo en acuífero confinado*



*Reducción del nivel piezométrico mediante la extracción de agua de un acuífero confinado, ilustrado mediante un ejemplo de pozo semi surgente. Fuente: (Blarasin y Cabrera, 2005).*

**Condición de Dupuit – Forchheimer:** La condición establecía que, en ciertos sistemas, el flujo podía ser interpretado como exclusivamente horizontal y distribuido de manera uniforme a lo largo de la profundidad. El movimiento del agua en estos sistemas implicaba tanto direcciones horizontales como verticales, aunque podía simplificarse cuando predominaba un movimiento mayoritario en una única dirección.

**Figura 30.**  
Esquema conceptual



Referencia: (Reyna, 2010)

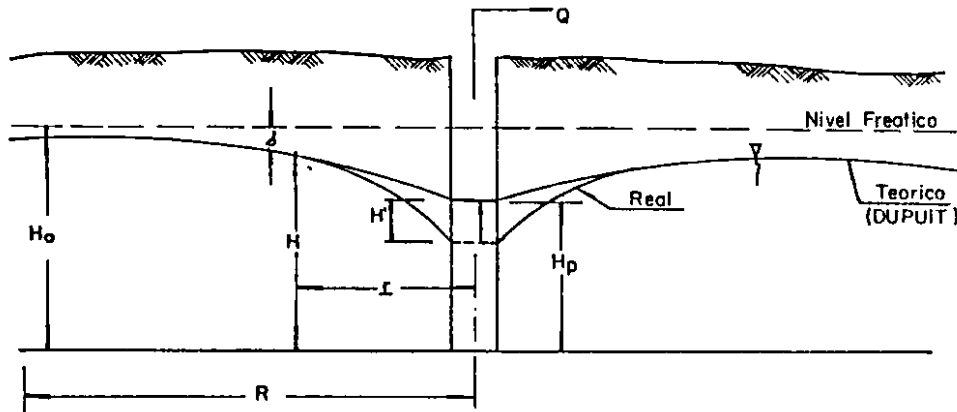
Hallándose la altura en 1, según se establece en la siguiente ecuación:

$$h_1 = \sqrt{h_2^2 + \frac{P * L^2}{K}} \quad \text{Ecuación ( 14 )}$$

Donde:  $h_1$  = elevación de la línea freática en relación con la capa impermeable, específicamente en la región más alta del suelo, en la cresta de la divisoria de aguas,  $h_2$  = elevación del nivel de agua,  $L$  = distancia entre 1 y 2,  $P$  = tasa o caudal de infiltración.

En la condición de Dupuit – Forchheimer, para acuíferos libres, se tiene fundamentada la siguiente aseveración:

**Figura 31.**  
*Acuífero libre (Dupuit – Forchheimer)*



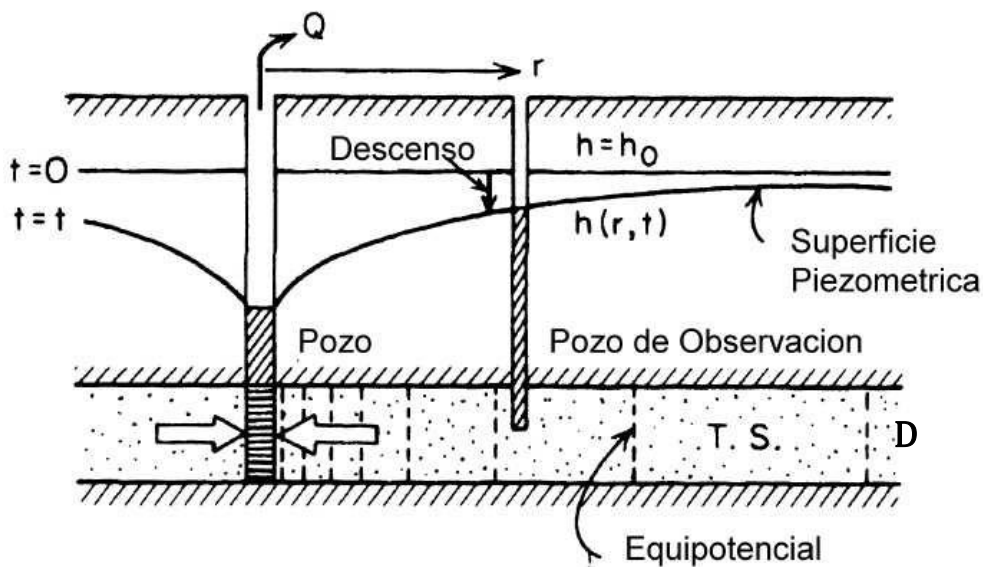
Fuente: (Keith Todd, 2005).

Donde se cumple que:

$$H_0^2 - H_p^2 = \frac{Q}{\pi K} \ln \frac{R}{r_p} \quad \text{Ecuación ( 15 )}$$

**Flujo en pozo de acuífero confinado**, aplicando la hipótesis de Dupuit-Forchheimer, asumiendo la existencia de un acuífero de semi infinitud y un flujo horizontal. En este contexto, se procedió a bombear agua a través de un cilindro con radio "r" a un caudal Q.

**Figura 32.**  
*Circulación constante o permanente en un acuífero confinado*



Fuente: (Reyna, 2010)



Considerando un cilindro con un radio “r” (la distancia entre el pozo de extracción y el pozo de observación) cuya longitud de circunferencia vendría a ser  $2\pi r$ , obteniéndose una superficie de  $2\pi rD$ . En este contexto, el caudal “Q” se expresó según la formulación de Darcy:

$$Q = K * 2\pi * r * D * \left(\frac{dh}{dr}\right) \quad \text{Ecuación ( 16 )}$$

Donde: Q=caudal del pozo, K=conductividad hidráulica, r= Distancia medida desde el centro del pozo hacia afuera en dirección radial, D=b=espesor del acuífero,  $dh/dr$ =gradiente hidráulico.

Efectuando la separación de variables e integrando, se tendría:

$$Q = \frac{2\pi KD(h_2 - h_1)}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)} \quad \text{Ecuación ( 17 )}$$

Como la transmisividad es igual a la conductividad hidráulica por es espesor del acuífero “D” ó “b” ( $T=K*D$ ), se tendría la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{2\pi T(h_2 - h_1)}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)} \quad \text{Ecuación ( 18 )}$$

La Ecuación ( 18 ), es conocida con la ecuación de Thiem (Reyna, 2010).

La ecuación anterior experimenta una adaptación o corrección en los descensos o alturas cuando se aplica a acuíferos libres, despejando la Ecuación ( 18 ) tendríamos:

$$h_2 - h_1 = \frac{Q}{2\pi T} \ln \frac{r_2}{r_1} = \frac{Q}{2\pi KD} \ln \frac{r_2}{r_1} \quad \text{Ecuación ( 19 )}$$

$$h'_1 = h_1 - \left(\frac{h_1^2}{2D}\right); \quad h'_2 = h_2 - \left(\frac{h_2^2}{2D}\right) \quad \text{Ecuación ( 20 )}$$

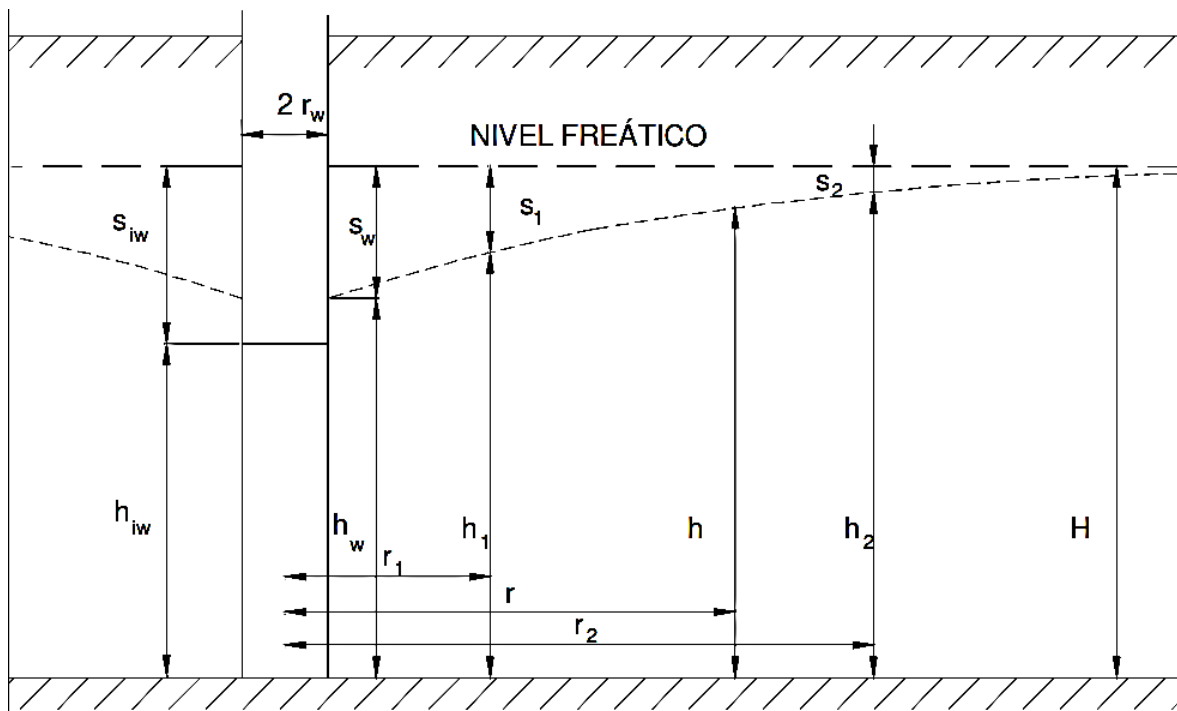
$$h_1 = D - \sqrt{D^2 - 2h'_1 * D}; \quad h_2 = D - \sqrt{D^2 - 2h'_2 * D} \quad \text{Ecuación ( 21 )}$$

Donde:  $D$  es el espesor saturado en el inicio,  $h$  es el descenso o abatimiento en el acuífero,  $h'$  es el descenso equivalente. Siendo esta la condición de Dupuit - Thiem.

**Flujo en pozo de acuífero no confinado**, se tomaron en cuenta estas hipótesis: la presunción de un acuífero horizontal semi infinito, la existencia de un flujo laminar, lo cual validaba la aplicabilidad del principio de Darcy. Además, se asumió que el material del acuífero era homogéneo, isotrópico y saturado. Se logró calcular el caudal extraído de un pozo mediante la medición de los descensos en dos pozos de observación, denominados  $r_1$  y  $r_2$ .

**Figura 33.**

*Flujo permanente en un acuífero no confinado*



Fuente: (Reyna, 2010)

Obtenemos la formulación para acuíferos no confinados en condiciones de flujo constante:

$$Q = \frac{2\pi T(h_2 - h_1)}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)} \quad \text{Ecuación ( 22 )}$$

En tal sentido despejamos la conductividad hidráulica (K), considerando que la Transmisividad hidráulica ( $T=K*(h_1+h_2) / 2$ ), obteniendo:

$$K = \frac{Q * \ln \left( \frac{r_2}{r_1} \right)}{(h_2^2 - h_1^2)} \quad \text{Ecuación ( 23 )}$$

**Flujo en pozo de acuífero no confinado con recarga uniforme**, se originaba a partir de la percolación causada por excesos de precipitaciones. Considerando una tasa de recarga uniforme, representada por “v” (equivalente a una lluvia uniforme), se desarrolló un método para calcular el caudal correspondiente (Reyna, 2010).

$$Q = \pi * r_v^2 * v \quad \text{Ecuación ( 24 )}$$

Donde:  $r_v$  es el radio de influencia del pozo. Considerando de la ecuación de Darcy, y sustituyendo variables del grafico anterior, H= altura del nivel freático,  $r_w$ =radio del pozo,  $h_{iw}$ = altura del agua dentro del pozo; resolviendo y sustituyendo en la Ecuación ( 24 ), se calculó el  $r_v$ :

$$r_v = \left[ r_w^2 + \left( \frac{Q}{\pi K} \ln \left( \frac{r_v}{r_w} \right) - (H^2 - h_{iw}^2) \right) * \frac{2K}{v} \right]^{\frac{1}{2}} \quad \text{Ecuación ( 25 )}$$

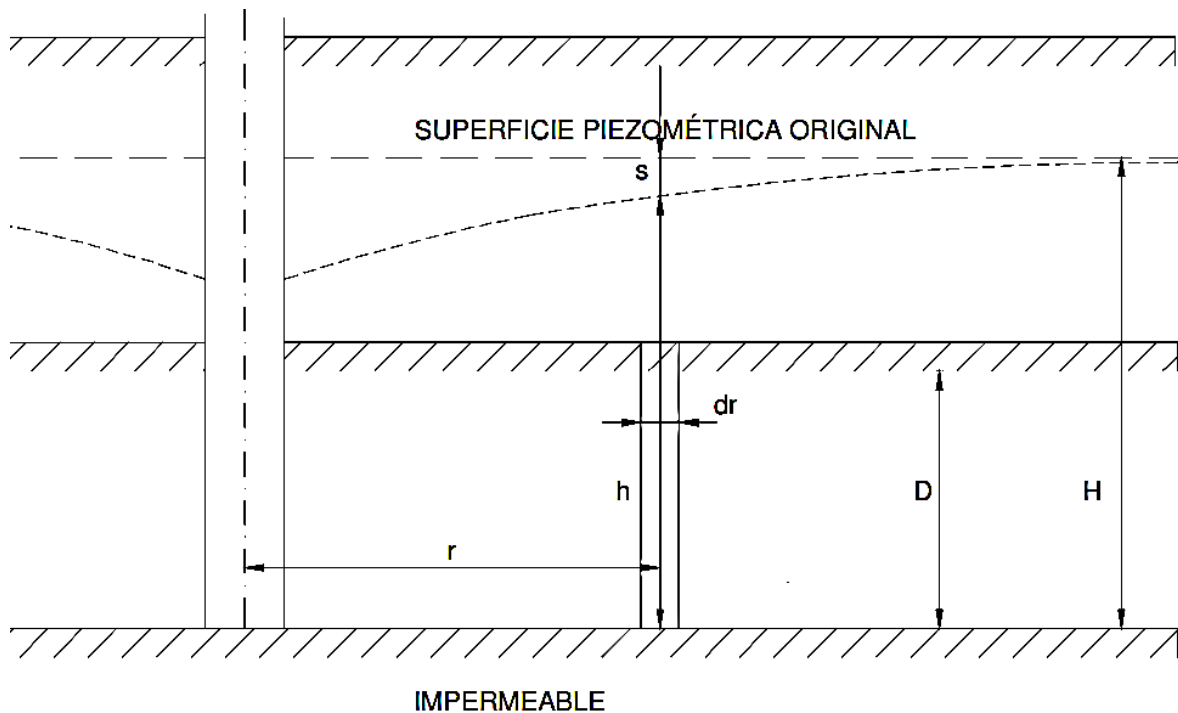
**Flujo no permanente en pozo**, las ecuaciones aplicadas al flujo no permanente revelaron la relación entre el descenso o abatimiento “s” del nivel piezométrico ( $s = H - h$ ) y el tiempo de bombeo del pozo. Siendo “S” el coeficiente de almacenamiento del acuífero, que representa la cuantificación precisa de la capacidad de almacenamiento de agua (volumen de agua) en función de la superficie horizontal (unidad de área horizontal) y la piezometría percolante (paso lento de un fluido por un material poroso o unidad de superficie piezométrica percolante) (Reyna, 2010), la variación de dicho volumen con respecto al tiempo se expresó como:

$$\frac{\delta V}{\delta t} = - \frac{\delta h}{\delta t} SA \quad \text{Ecuación ( 26 )}$$

Donde: V= Volumen o cantidad de agua retenida en el acuífero por cada unidad de superficie horizontal A, S=Coeficiente de almacenamiento, h=elevación de la superficie piezométrica, t=tiempo, A=área del acuífero

### Figura 34.

Flujo no permanente (circulación transitoria) en un acuífero confinado.



Fuente: (Reyna, 2010)

De la Ecuación ( 26 ) y en función de la figura anterior, reemplazamos "A" en función del radio "r":

$$\frac{\delta V}{\delta t} = -\frac{\delta h}{\delta t} S 2\pi r dr \quad \text{Ecuación ( 27 )}$$

Se exploró la relación entre la variación del volumen de agua y el caudal a través del área anular. La variación de la tasa de flujo ( $q$ ) se expresó como la derivada del caudal respecto al tiempo  $-(\delta q/\delta t)$ , siendo el signo negativo atribuible a la relación inversa entre el caudal y el radio ( $r$ ), ya que "q" aumenta cuando "r" disminuye.

$$\frac{\delta q}{\delta r} dr = \frac{\delta h}{\delta t} S 2\pi r dr \quad \text{Ecuación ( 28 )}$$

El caudal en acuíferos confinados, según la ecuación de Darcy indica que:

$$q = 2\pi r T \frac{\delta h}{\delta r} \quad \text{Ecuación ( 29 )}$$

Donde:  $T$ =transmisividad del acuífero ( $T=K*D$ )

De la Ecuación ( 29 ), derivamos respecto a "r", y reemplazamos en la Ecuación ( 28 ), el cual al simplificar tendríamos:

$$\frac{1}{r} \frac{\delta h}{\delta r} + \frac{\delta^2 h}{\delta^2 r} = \frac{S}{T} \frac{\delta h}{\delta t}$$

Ecuación ( 30 )

La Ecuación ( 30 ), constituye la ecuación fundamental para el flujo en un pozo, y su aplicabilidad se extiende a **acuíferos libres** al asumir la constancia de  $T$ . La ecuación en cuestión fue derivada por Theis para un pozo de tamaño infinitesimal en un acuífero confinado, obteniendo:

$$s = \frac{Q}{4\pi T} \int_u^\infty \left( \frac{e^{-u}}{u} \right) du$$

Ecuación ( 31 )

Donde:  $s$  = abatimiento o descenso del nivel piezométrico ( $s = H - h$ ),  $Q$ =caudal invariable del pozo,  $u$ =Ecuación ( 32 )

$$u = \frac{r^2 S}{4Tt}$$

Ecuación ( 32 )

La solución de la Ecuación ( 30 ), fue conseguida por Theis, mediante la aplicación de la Ecuación ( 31 ), la serie que representa dicho término es la siguiente:

$$s = \frac{Q}{4\pi T} * \left[ -0.577216 - \ln u + u - \frac{u^2}{2 * 2!} + \frac{u^3}{3 * 3!} - \dots \right]$$

Ecuación ( 33 )

**Método de Theis**, la función de pozo  $W_{(u)}$ , es la función entre corchetes de la Ecuación ( 33 ),  $u$  y  $W_{(u)}$  son adimensionales, con base en estos valores, es posible determinar el cálculo de "s" como:

$$s = \frac{Q W_{(u)}}{4\pi T}$$

Ecuación ( 34 )

Despejando  $r^2 / t$ , de la Ecuación ( 32 ), tendríamos:

$$u \frac{4T}{S} = \frac{r^2}{t}$$

Ecuación ( 35 )

Aplicando logaritmos a ambos lados de la Ecuación ( 34 ) y Ecuación ( 35 ), tendríamos las siguientes ecuaciones:

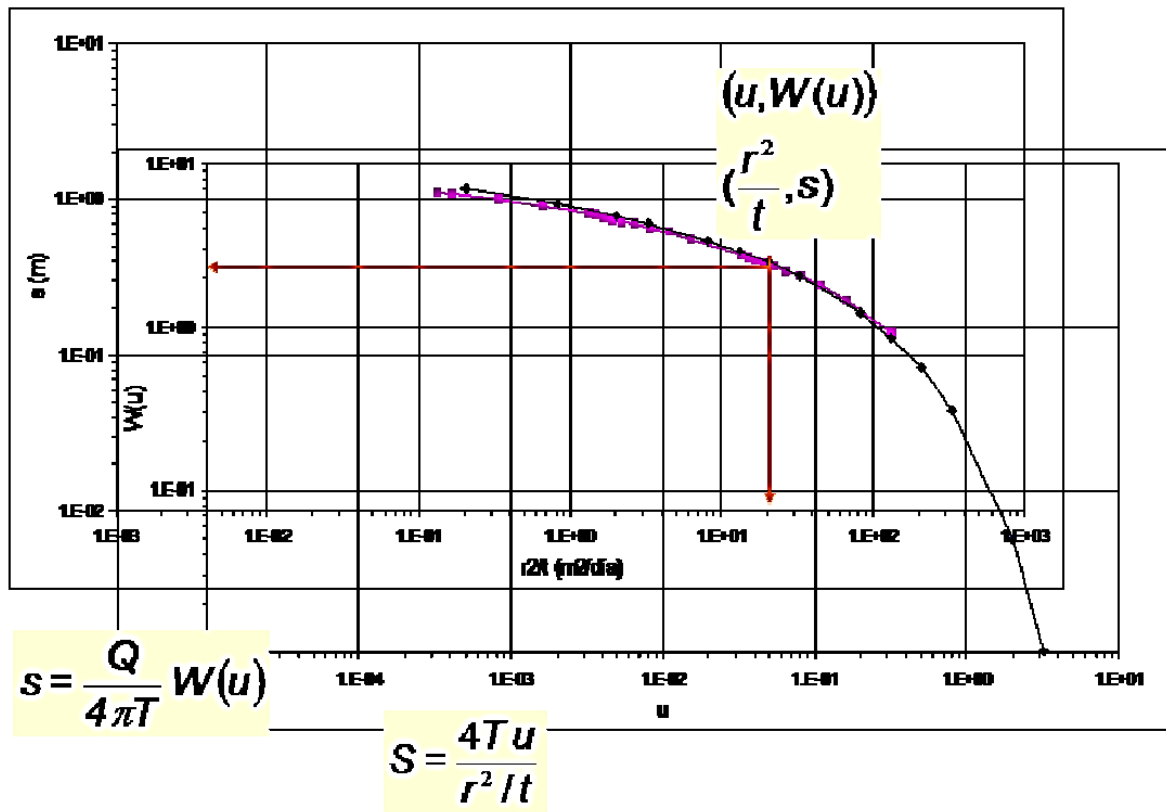
$$\log (s) = \log \frac{Q}{4\pi T} + \log W_{(u)} \quad \text{Ecuación ( 36 )}$$

$$\log \frac{r^2}{t} = \log \frac{4T}{S} + \log u \quad \text{Ecuación ( 37 )}$$

Del siguiente grafico en escala logarítmica, se toman los valores  $u$ ,  $W_{(u)}$ ,  $s$  y  $r^2 / t$ , para posteriormente calcular los valores de  $T$  y  $S$ , de la Ecuación ( 34 ) y Ecuación ( 35 ).

**Figura 35.**

*Diagrama que representa la solución mediante el Método de Theis.*



Fuente: (Reyna, 2010)

**Tabla 6.**

*Valores de  $u$ ,  $W_{(u)}$ , por el método de Theis.*

$u$	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

x 10 <sup>0</sup>	0.219	0.049	0.013	0.0038	0.0011	0.00036	0.00012	0.000038	0.000012
x 10 <sup>-1</sup>	1.82	1.22	0.91	0.7	0.56	0.45	0.37	0.31	0.26
x 10 <sup>-2</sup>	4.04	3.35	2.96	2.68	2.47	2.3	2.15	2.03	1.92
x 10 <sup>-3</sup>	6.33	5.64	5.23	4.95	4.73	4.54	4.39	4.26	4.14
x 10 <sup>-4</sup>	8.63	7.94	7.53	7.25	7.02	6.84	6.69	6.55	6.44
x 10 <sup>-5</sup>	10.94	10.24	9.84	9.55	9.33	9.14	8.99	8.86	8.74
x 10 <sup>-6</sup>	13.24	12.55	12.14	11.85	11.63	11.45	11.29	11.16	11.04
x 10 <sup>-7</sup>	15.54	14.85	14.44	14.15	13.93	13.75	13.6	13.46	13.34
x 10 <sup>-8</sup>	17.84	17.15	16.74	16.46	16.23	16.05	15.9	15.76	15.65
x 10 <sup>-9</sup>	20.15	19.45	19.05	18.76	18.54	18.35	18.2	18.07	17.95
x 10 <sup>-10</sup>	22.45	21.76	21.35	21.06	20.84	20.66	20.5	20.37	20.25
x 10 <sup>-11</sup>	24.75	24.06	23.65	23.36	23.14	22.96	22.81	22.67	22.55
x 10 <sup>-12</sup>	27.05	26.36	25.96	25.67	25.44	25.26	25.11	24.97	24.86
x 10 <sup>-13</sup>	29.36	28.66	28.26	27.97	27.75	27.56	27.41	27.28	27.16
x 10 <sup>-14</sup>	31.66	30.97	30.56	30.27	30.05	29.87	29.71	29.58	29.46
x 10 <sup>-15</sup>	33.96	33.27	32.86	32.58	32.35	32.17	32.02	31.88	31.76

Fuente: (Reyna, 2010)

La deducción de la ecuación de Theis se fundamentó en las consideraciones subsiguientes: a) El depósito acuífero exhibe una plataforma horizontal y una consistencia uniforme en su espesor, mostrando homogeneidad e isotropía en sus características, b) La magnitud saturada del grosor del acuífero permanece invariable, c) La extensión horizontal del acuífero es ilimitada, d) El pozo se sumerge completamente en el acuífero, e) El agua se libera del acuífero de manera inmediata en reacción a la caída de la carga hidráulica y f) El flujo extraído proviene de la reserva almacenada en el acuífero (Keith Todd, 2005).

**Método de Cooper – Jacob**, presentaron una solución simplificada para la Ecuación ( 31 ), aplicable específicamente cuando los valores de "u" eran pequeños ( $u < 0,01$ ). En este contexto, únicamente los dos primeros términos de la ecuación demostraron ser significativos, según su propuesta:

$$s = \frac{Q}{4\pi T} \frac{\ln 2.25Tt}{r^2 S} \quad \text{Ecuación ( 38 )}$$

Pudiéndose hallar la transmisividad hidráulica (T), despejando la Ecuación ( 38 ):

$$T = \frac{Q}{4 * \pi * s} \left[ -0.5772 - \ln \left[ \frac{r^2 * S}{4 * T * t} \right] \right] \quad \text{Ecuación ( 39 )}$$

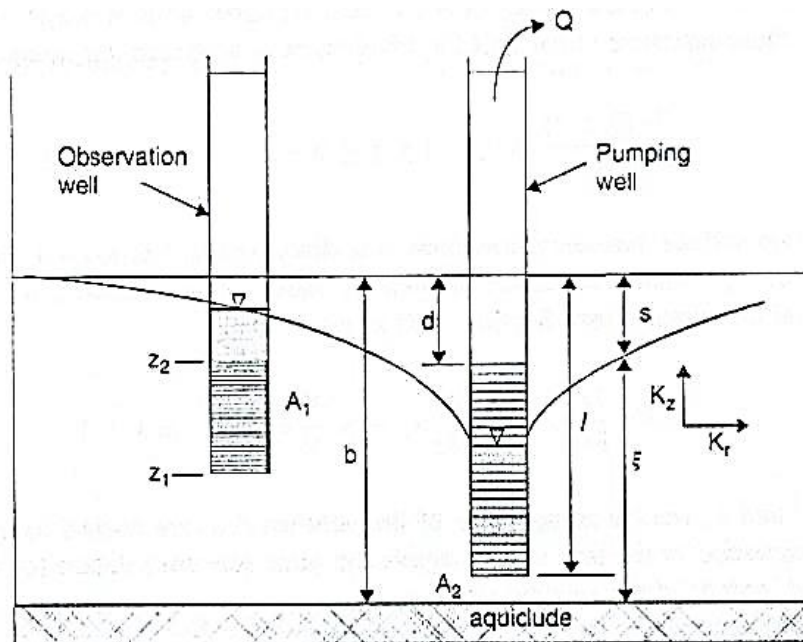
O escrita en logaritmo de base 10, se tendría:

$$T = \frac{2.3 * Q}{4 * \pi * s} * \log \left( \frac{2.25 * T * t}{r^2 * S} \right) \quad \text{Ecuación ( 40 )}$$

**Método Neuman**, tanto los enfoques de Theis como el de Cooper-Jacob fueron modificados para su aplicación en acuíferos libres. Neuman, por su parte, amplió su investigación para abordar el análisis de un acuífero de este tipo. El sistema se aborda conforme se ilustra en la siguiente figura, donde se considera la parcial penetración del pozo y la respuesta de la superficie del nivel freático ante la operación de la bomba. Si un pozo de observación se ubica dentro de la zona de influencia de la bomba, se inicia el análisis correspondiente.

**Figura 36.**

*Diagrama para la determinación del flujo transitorio en un acuífero libre.*



Fuente: (Reyna, 2010)

Planteando Neuman la solución para hallar el abatimiento “s” en función de los parámetros vinculantes al pozo que está en un acuífero libre:



$$s(r, t) = h_0 - h(r, t) = \frac{Q}{4 * \pi * T} W(u_A, u_B, \Gamma) \quad \text{Ecuación ( 41 )}$$

Donde:  $W(u_A, u_B, \Gamma(\text{gamma mayuscula}))$ , son función del pozo, cuyos valores son:

Para, gamma  $\Gamma$ , se tiene la Ecuación ( 42 ), donde  $h_0$  es el espesor inicial de saturación:

$$\Gamma = \frac{r^2 * K_V}{h_0^2 * K_h} \quad \text{Ecuación ( 42 )}$$

Para el caso de la reducción inicial o de corto plazo,  $u_A$  es:

$$u_A = \frac{r^2 * S}{4 * T * t} \quad \text{Ecuación ( 43 )}$$

Para el caso de la reducción final o de largo plazo,  $u_B$  es:

$$u_B = \frac{r^2 * S_y}{4 * T * t} \quad \text{Ecuación ( 44 )}$$

**Tabla 7.**

*Valores de la función del pozo para reducción inicial o corto plazo.*

$1/u_A$	$\Gamma = 0.001$	$\Gamma = 0.01$	$\Gamma = 0.06$	$\Gamma = 0.2$	$\Gamma = 0.6$	$\Gamma = 1.0$	$\Gamma = 2.0$	$\Gamma = 4.0$	$\Gamma = 6.0$
0.4	0.0248	0.0241	0.023	0.0214	0.0188	0.017	0.0138	0.00933	0.00639
0.8	0.145	0.14	0.131	0.119	0.0988	0.0849	0.0603	0.0317	0.0174
1.4	0.358	0.345	0.318	0.279	0.217	0.175	0.107	0.0445	0.021
2.4	0.662	0.633	0.57	0.483	0.343	0.256	0.133	0.0476	0.0214
4	1.02	0.963	0.849	0.688	0.438	0.3	0.14	0.0478	0.0215
8	1.57	1.46	1.23	0.918	0.497	0.317	0.141	0.0478	0.0215
14	2.05	1.88	1.51	1.03	0.507	0.317	0.141	0.0478	0.0215
24	2.52	2.27	1.73	1.07	0.507	0.317	0.141	0.0478	0.0215
40	2.97	2.61	1.85	1.08	0.507	0.317	0.141	0.0478	0.0215
80	3.56	3.00	1.92	1.08	0.507	0.317	0.141	0.0478	0.0215
140	4.01	3.23	1.93	1.08	0.507	0.317	0.141	0.0478	0.0215
240	4.42	3.37	1.94	1.08	0.507	0.317	0.141	0.0478	0.0215
400	4.77	3.43	1.94	1.08	0.507	0.317	0.141	0.0478	0.0215
800	5.16	3.45	1.94	1.08	0.507	0.317	0.141	0.0478	0.0215
1400	5.40	3.46	1.94	1.08	0.507	0.317	0.141	0.0478	0.0215
2400	5.54	3.46	1.94	1.08	0.507	0.317	0.141	0.0478	0.0215
4000	5.59	3.46	1.94	1.08	0.507	0.317	0.141	0.0478	0.0215
8000	5.62	3.46	1.94	1.08	0.507	0.317	0.141	0.0478	0.0215
14000	5.62	3.46	1.94	1.08	0.507	0.317	0.141	0.0478	0.0215

*Solución de Neuman. Fuente: (Reyna, 2010)*

**Tabla 8.***Valores de la función del pozo para reducción final o largo plazo.*

$1/u_B$	$\Gamma = 0.001$	$\Gamma = 0.01$	$\Gamma = 0.06$	$\Gamma = 0.2$	$\Gamma = 0.6$	$\Gamma = 1.0$	$\Gamma = 2.0$	$\Gamma = 4.0$	$\Gamma = 6.0$
80	5.76	4.22	3.85	3.82	3.82	3.82	3.82	3.82	3.82
140	5.85	4.58	4.38	4.37	4.37	4.37	4.37	4.37	4.37
240	5.99	5.00	4.91	4.91	4.91	4.91	4.91	4.91	4.91
40	6.16	5.46	5.42	5.42	5.42	5.42	5.42	5.42	5.42
800	6.47	6.11	6.11	6.11	6.11	6.11	6.11	6.11	6.11
1400	6.67	6.67	6.67	6.67	6.67	6.67	6.67	6.67	6.67
2400	7.21	7.21	7.21	7.21	7.21	7.21	7.21	7.21	7.21
4000	7.72	7.72	7.72	7.72	7.72	7.72	7.72	7.72	7.72
8000	8.41	8.41	8.41	8.41	8.41	8.41	8.41	8.41	8.41
14000	8.97	8.97	8.97	8.97	8.97	8.97	8.97	8.97	8.97
24000	9.51	9.51	9.51	9.51	9.51	9.51	9.51	9.51	9.51
40000	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4

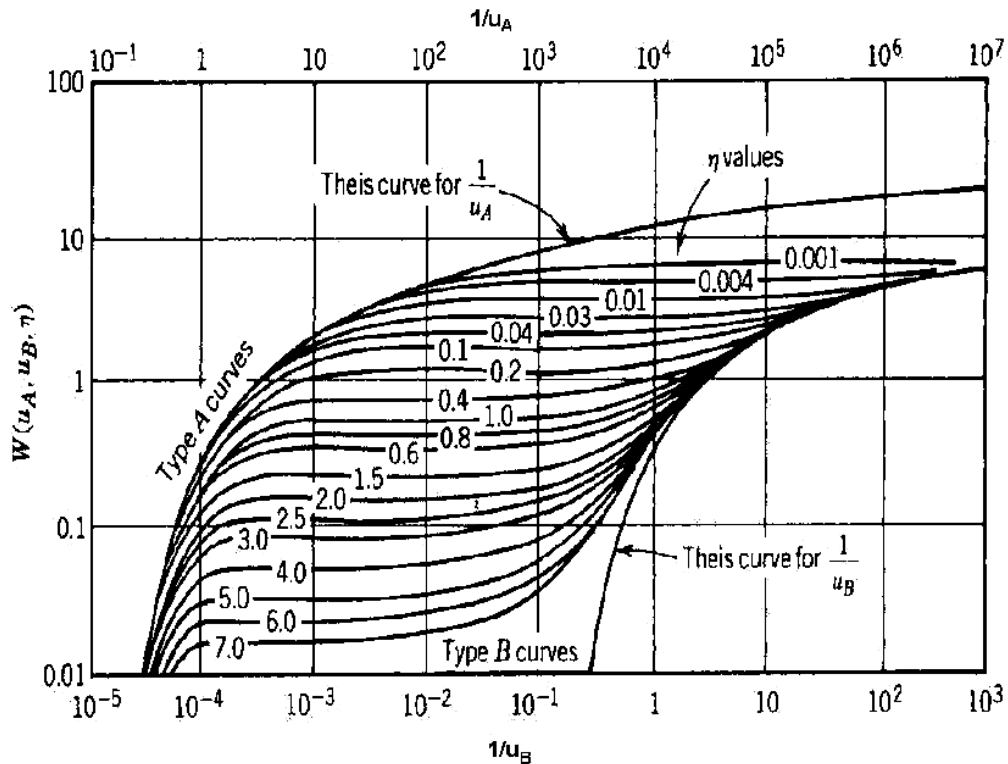
*Solución de Neuman. Fuente: (Reyna, 2010)*

Acuífero libre, una de las premisas fundamentales en la solución propuesta por Theis era que el agua extraída proviene de un almacenamiento interno en el acuífero. Todas las metodologías previamente mencionadas asumían la ausencia de drenaje del sistema acuífero, considerando únicamente un cambio en la presión interna. En el contexto de un acuífero libre, la disminución del nivel freático inducirá el drenaje del acuífero, resultando en un coeficiente de almacenamiento superior en comparación con un acuífero confinado o semi confinado.

Se esquematiza en la siguiente figura una curva que representa la disminución frente al tiempo, derivada de una prueba de bombeo en un acuífero no confinado o libre. En este escenario, se distingue la forma característica de la curva, permitiendo identificar diversas fases en el proceso de liberación de agua. Similar al enfoque de Theis, se emplea un método de ajuste de curvas que compara el comportamiento medido durante la prueba de bombeo con la solución analítica correspondiente.

**Figura 37.**

Gráficas utilizadas en la determinación de los parámetros de un acuífero no confinado.

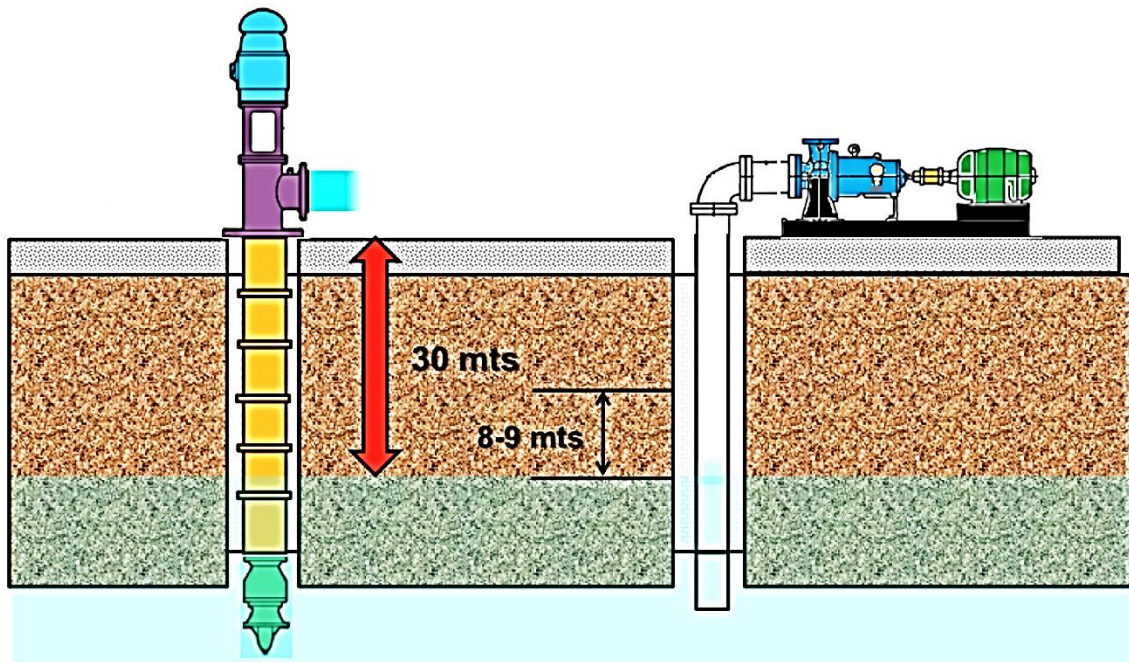


Curvas utilizadas en la determinación de los parámetros de un acuífero semi confinado según el método de Hantush. Referencia: (Reyna, 2010).

**Factor determinante para la elección de bomba, a)** Considerando la profundidad del acuífero, según se ilustra en la siguiente figura, al emplear una bomba de eje horizontal, se enfrentaba un problema de vaporización del agua subterránea debido a la presión de vapor, impidiendo que llegara al impulsor. La solución a este inconveniente era la implementación de una Bomba Vertical, donde al menos el primer impulsor quedaba sumergido en el fluido a bombear, permitiendo su bombeo sin obstáculos.

### Figura 38.

*Elección de tipo de bomba según localización del agua.*

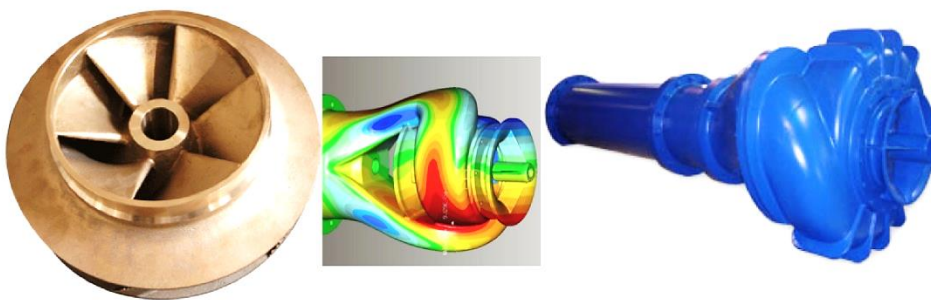


*Fuente: <https://gabaypumps.blogspot.com/>*

**b)** En relación con la carga neta de succión positiva (NPSH) disponible en el sistema de bombeo de agua subterránea, se carece de la suficiente carga, ya que el agua no llegaba al impulsor con un excedente de presión, especialmente dada la profundidad a la que se encontraba el agua.

### Figura 39.

*Impulsor en bombas verticales*



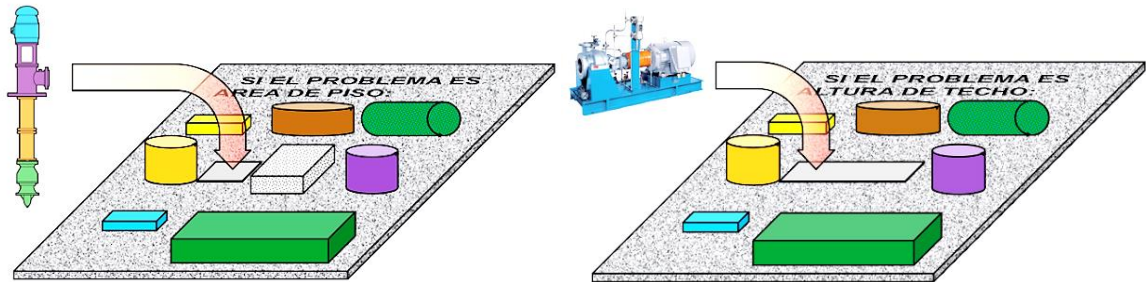
*A las bombas verticales también se les puede instalar un impulsor en la etapa inicial con requisitos de NPSH más bajos*

**c)** Un aspecto crítico en la elección del tipo de bomba era el espacio ocupado en la estación de bombeo, destacando que las bombas verticales ocupaban menos área de piso en comparación con las bombas horizontales para un mismo punto de operación. En tal sentido, se consideró la opción de colocar una cobertura metálica

sobre el techo de la estación de bombeo, a la altura de la bomba, con el objetivo de mover dicha cobertura para garantizar el espacio necesario durante la instalación y futuros mantenimientos, cerrando la misma, a la culminación de dichas actividades.

### Figura 40.

*Criterio del espacio para la selección del tipo de bomba.*

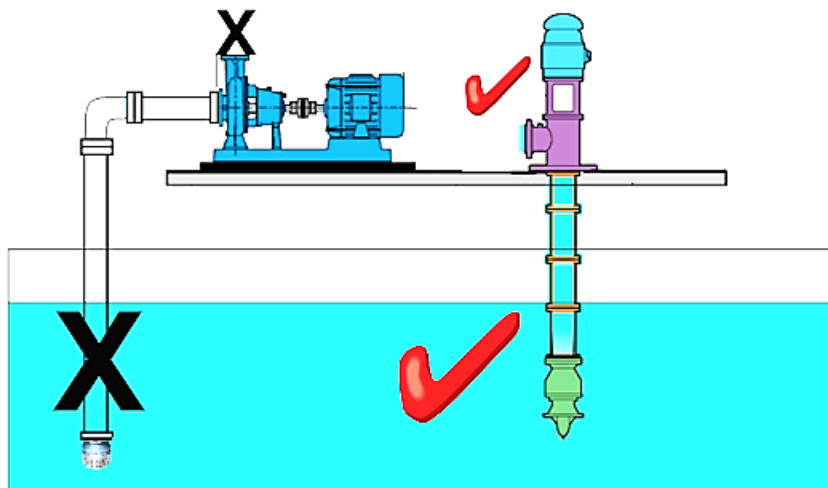


*Fuente: <https://gabaypumps.blogspot.com/>*

**d)** Además, las bombas verticales no requerían cebado, ya que su primer impulsor estaba inmerso en el fluido bombeado.

### Figura 41.

*Impulsor de bomba vertical inmerso en agua subterránea.*

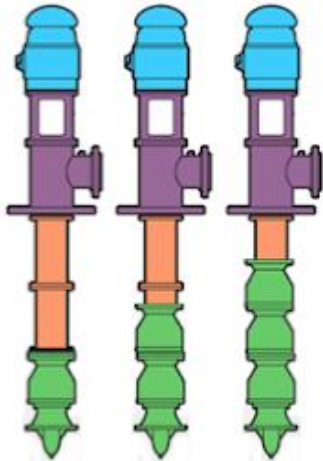


*Fuente: <https://gabaypumps.blogspot.com/>*

**e)** En cuanto a la posibilidad de expansión futura, las bombas verticales demostraban mayor versatilidad al poder ser modificadas para ajustar la presión mediante la adición o eliminación de etapas, mientras que las bombas de eje horizontal tenían limitaciones en su crecimiento, pudiendo aumentar la presión en un máximo del 20% al cambiar el impulsor.

### Figura 42.

*Expansión futura de la bomba de eje vertical, según necesidad.*

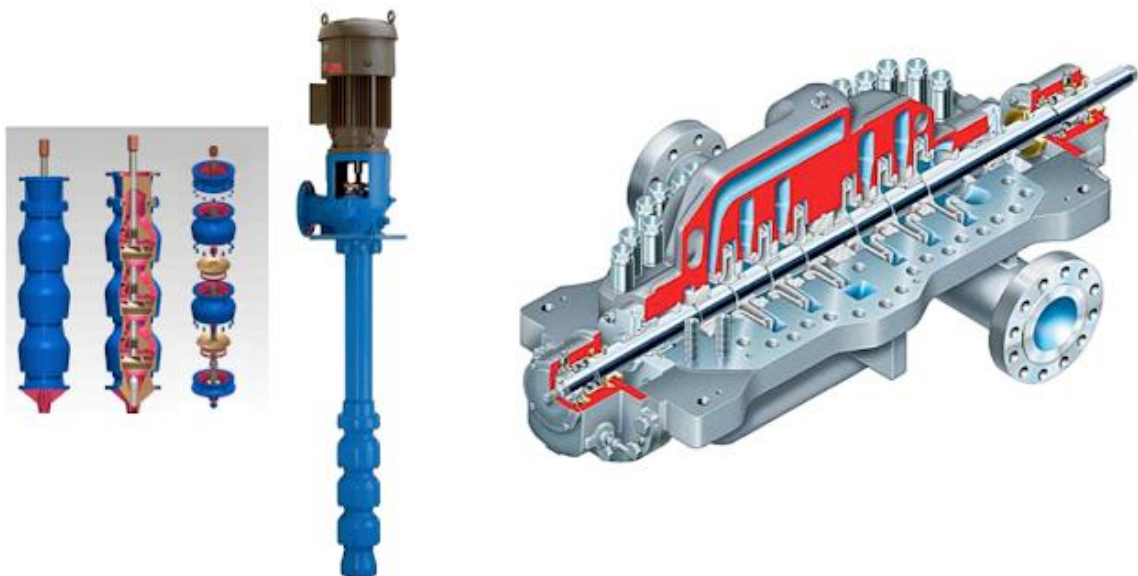


*Fuente: <https://gabaypumps.blogspot.com/>*

f) En términos de costos, las bombas multietapa horizontales eran considerablemente más costosas que sus contrapartes verticales en condiciones operativas equivalentes. Esto se debía a la complejidad del mecanizado, ensamblaje, fundición y la elaboración costosa de la base para las bombas horizontales. g) Además, las bombas verticales ofrecían mayor flexibilidad en el diseño y en futuras modificaciones.

### Figura 43.

*Complejidad del mecanizado según tipo de bomba.*



*Fuente: <https://gabaypumps.blogspot.com/>*

**h)** Siendo más sencillo y rápido realizar reparaciones en sus componentes modulares tipo "lego", a diferencia de las bombas horizontales que implicaban procesos más elaborados y tiempos de reparación prolongados. Como ejemplo, la reparación de una bomba de 8 etapas podría llevar tres o cuatro semanas, mientras que la reparación de los 8 tazones de una bomba vertical posiblemente se completaría en cuatro días.

**Determinación del flujo de extracción,** Por motivos económicos y de eficiencia operativa, resultó beneficioso decidir una duración diaria de bombeo de ocho horas, distribuyendo este período de extracción en los momentos más estratégicos del día. En casos excepcionales, se contempló la posibilidad de extender dicho periodo, sin embargo, esta extensión se limitaba a un máximo de 12 horas. Este enfoque se diseñó para optimizar la gestión de recursos y mantener un equilibrio adecuado en el uso de la fuente hídrica, ajustándose a circunstancias particulares cuando fuese necesario (OMS & UNATSABAR, 2005).

$$Q_b = Q_{max.d} * \frac{24}{N} \quad \text{Ecuación ( 45 )}$$

Donde:  $Q_b$  = caudal de bombeo,  $Q_{max.d}$  = caudal máximo diario y  $N$  = cantidad de horas de bombeo.

Ahora bien, para determinar la **altura de bombeo**, que es el aumento global en la carga del flujo a medida que atraviesa la bomba, se resuelve mediante la siguiente ecuación:

$$H_b = H_s + H_i \quad \text{Ecuación ( 46 )}$$

$$H_s = h_s + \Delta h_s \quad \text{Ecuación ( 47 )}$$

$$H_i = h_i + \Delta h_i \quad \text{Ecuación ( 48 )}$$

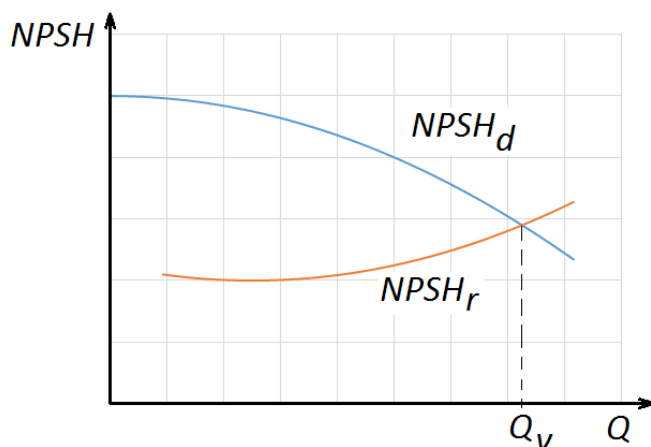
Donde:  $H_b$  es la altura de bombeo medida en metros,  $H_i$  es la altura de impulsión medida en metros,  $H_s$  es la altura (carga) de succión medida en metros,  $h_s$  es la altura estática de succión medida en metros y  $\Delta h_s$  es la pérdida de carga en la succión medida en metros,  $h_i$  es la distancia desde el nivel superior hasta el eje de

la bomba medida en metros,  $\Delta h_i$  es la pérdida de carga en la tubería de elevación medida en metros. Además, se debe tener presente que la carga de succión se encuentra restringida por la carga neta de succión positiva (NPSH). Es imperativo garantizar un nivel sumergido mínimo de la tubería de succión en el agua. Estos factores son esenciales para asegurar el rendimiento óptimo de la bomba y evitar cualquier problema asociado con la succión insuficiente.

En el flujo hídrico a través de una bomba, se observa una disminución de presión en la entrada y la tubería de succión, resultado de las elevadas velocidades del flujo. Cuando esta disminución excede la presión de vapor del agua, se desencadena la **cavitación**, con la formación de burbujas de vapor que, al colapsar en zonas de mayor presión, ocasionan daños en los alabes del impulsor. Este fenómeno no solo induce ruido, vibraciones y erosión en la superficie de la bomba, sino que también afecta su rendimiento y caudal. La carga neta de succión positiva (NPSH) desempeña un papel crucial en la prevención de la cavitación, compuesta por el NPSH disponible y el NPSH requerido. Este último, derivado del diseño original de la bomba, representa la carga mínima indispensable para un funcionamiento estable, basándose comúnmente en una elevación de referencia, como el eje del rodete.

**Figura 44.**

*Carga neta de succión positiva de una bomba.*



*Fuente: (OMS & UNATSABAR, 2005)*

El NPSH disponible se determina a partir del sistema de succión de la bomba y se calcula utilizando la fórmula siguiente:



$$NPSH_{disponible} = H_{atm} - (H_{vap} + h_s + \Delta H_s) \quad \text{Ecuación ( 49)}$$

Donde:  $NPSH_{disponible}$  es la carga neta positiva de succión positiva disponible medida en metros,  $H_{atm}$  es la presión atmosférica medida en metros,  $H_{vap}$  es la presión de vapor medida en metros,  $h_s$  es la altura estática de succión,  $\Delta H_s$  es la pérdida de carga por fricción de la tubería y accesorios, medido en metros.

**Tabla 9.**  
*Reducción de la presión atmosférica*

M.S.N.M. (metros)	PRESIÓN ATMOSFÉRICA (metros)
0.00	10.33
250.00	10.03
500.00	9.73
750.00	9.43
1000.00	9.13
1250.00	8.83
1500.00	8.53
1750.00	8.25
2000.00	8.00
2250.00	7.75
2500.00	7.57
2750.00	7.28
3000.00	7.05
3250.00	6.83
3500.00	6.62
3750.00	6.41
4000.00	6.20
4250.00	5.98
4500.00	5.78

*Fuente: (OMS & UNATSABAR, 2005)*

**Tabla 10.**  
*Presión que el vapor de agua ejerce*

Temperatura (°C)	Peso específico (Kg/dm <sup>3</sup> )	Presión de vapor	
		M. (mH <sub>2</sub> O) Abs.	P.SI. (lb/pulg <sup>2</sup> ) Abs
0	0.9998	0.062	0.088
5	1.000	0.089	0.127
10	0.9996	0.125	0.1781

15	0.999	0.174	0.247
20	0.9982	0.238	0.338
25	0.997	0.323	0.459
30	0.9955	0.432	0.614
35	0.9939	0.573	0.815
40	0.9921	0.752	1.07
45	0.99	0.977	1.389
50	0.988	1.258	1.789
55	0.9857	1.605	2.283
60	0.9831	2.031	2.889
70	0.977	3.177	4.519
75	0.9748	3.931	5.591
80	0.9718	4.829	6.869
85	0.9687	5.894	8.383
90	0.9653	7.149	10.168
95	0.9619	8.619	12.259
100	0.9583	10.332 (1atm)	14.696

Fuente: (OMS & UNATSABAR, 2005)

**Tabla 11.**

Características mecánicas del agua bajo condiciones de presión atmosférica.

Temperatura °C	Peso específico kg/m <sup>3</sup>	Densidad kg-s <sup>2</sup> /m <sup>4</sup>	Viscosidad cinemática m <sup>2</sup> /s	Viscosidad dinámica kg-s/m <sup>2</sup>
0	999.87	101.96	1.792x10 <sup>-6</sup>	18.27x10 <sup>-5</sup>
5	999.99	101.97	1.520x10 <sup>-6</sup>	15.50x10 <sup>-5</sup>
10	999.73	101.95	1.308x10 <sup>-6</sup>	13.34x10 <sup>-5</sup>
15	999.12	101.88	1.142x10 <sup>-6</sup>	11.63x10 <sup>-5</sup>
20	998.23	101.79	1.007x10 <sup>-6</sup>	10.25x10 <sup>-5</sup>
25	997.07	101.67	0.897x10 <sup>-6</sup>	9.12x10 <sup>-5</sup>
30	995.68	101.53	0.804x10 <sup>-6</sup>	8.17x10 <sup>-5</sup>

Fuente: (Giles et al., 1994).

Durante el curso de la investigación, se hizo necesario tener en cuenta los índices de rugosidad absoluta (k) asociados al material en cuestión.

**Tabla 12.**

Rugosidad absoluta (k), según material.

Material	Valor (m)
Tubos sin uniones de superficie muy suave, tales como los elaborados en plástico, cobre, vidrio y acero recién pintado, entre otros.	1.5x10 <sup>-6</sup>
Acero recién laminado (rolado).	5x10 <sup>-5</sup>
Fierro galvanizado	1.5x10 <sup>-4</sup>
Fierro fundido	2.5x10 <sup>-4</sup>

Fuente: Rocha (2007).

Para prevenir la **cavitación** causada por la presión de succión, es necesario cumplir con:

$$NPSH_{disponible} > NPSH_{requerido} \quad \text{Ecuación ( 50 )}$$

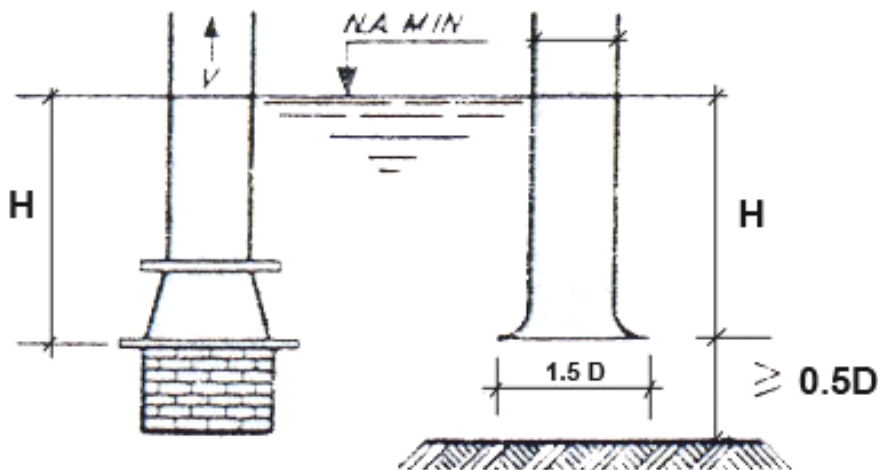
Así mismo, asegurarse de que las revoluciones del motor no excedan el límite máximo establecido por el fabricante, para así evitar la cavitación.

En lo que respecta a la longitud mínima que la tubería de succión debe estar sumergida, se debe considerar el valor más alto entre las ecuaciones siguiente:

$$H \geq \frac{V^2}{2g} + 0.20 \quad \text{Ecuación ( 51 )}$$

$$H \geq 2.5D + 0.10 \quad \text{Ecuación ( 52 )}$$

**Figura 45.**  
*Sumergencia*



*Profundidad mínima necesaria para prevenir la entrada de aire en la tubería de succión y garantizar el rendimiento adecuado de la bomba. Fuente: (OMS & UNATSABAR, 2005).*

Además, es esencial determinar la Altura Dinámica Total (ADT) mediante la aplicación de los principios de la ecuación de Bernoulli y la consideración de las pérdidas por fricción, utilizando la fórmula de Darcy-Weisbach:

$$Z_2 - Z_1 + \frac{P_2}{\gamma} - \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} - \frac{V_1^2}{2g} + h_f = \Delta h \quad \text{Ecuación ( 53 )}$$

$$h_f = f * \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2g}$$

Ecuación ( 54 )

Si el número de Reynolds es menor igual a 10,000:

$$f = \frac{0.3164}{Re^{0.25}}$$

Ecuación ( 55 )

Si el número de Reynolds es mayor a 10,000 y menor a 3'500,000:

$$f = \frac{1}{(1.8 \log Re - 1.52)^2}$$

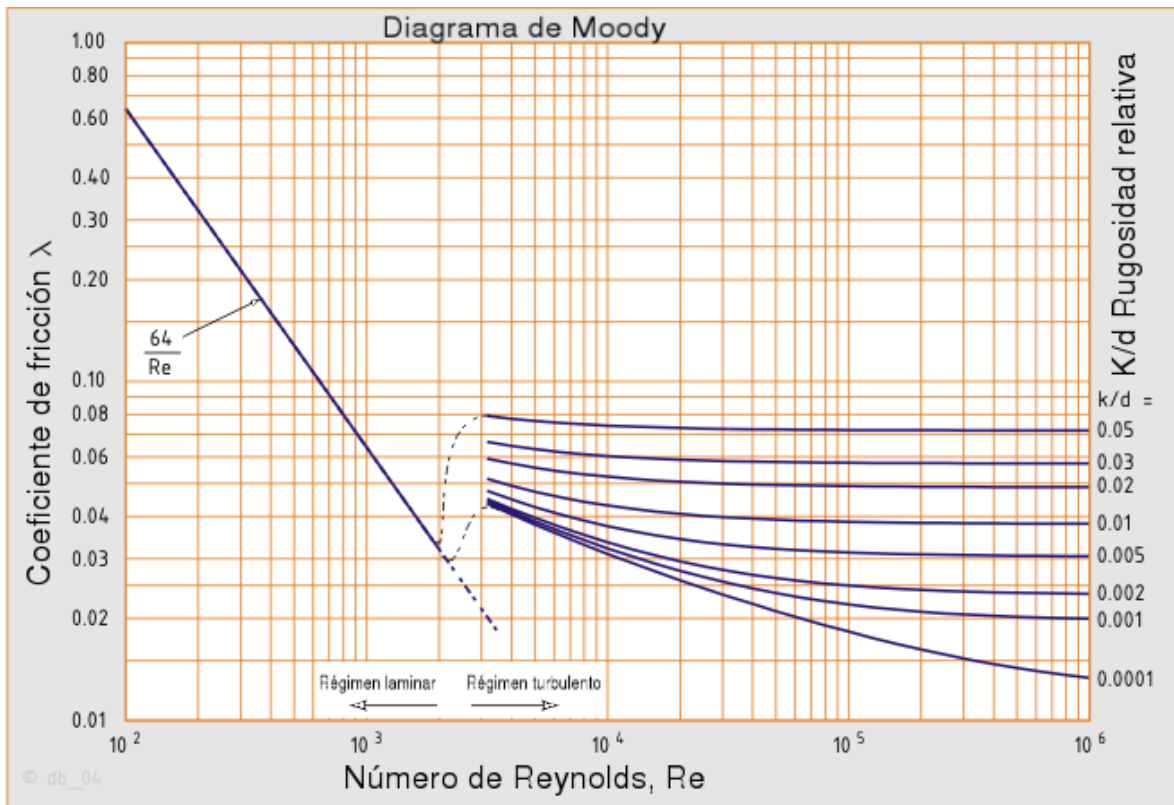
Ecuación ( 56 )

$$Re = \frac{VD}{\gamma}$$

Ecuación ( 57 )

Donde: “Z” indica la altura de los puntos 1 y 2 medido en metros, “P” expresa la presión en los puntos 1 y 2 medido en Pascales, “ $\gamma$ ” expresa el peso específico (resultante del producto de la densidad del fluido ( $\text{kg/m}^3$ ) por la gravedad ( $9.81 \text{ m/s}^2$ ), “V” corresponde a la velocidad promedio del fluido en los puntos 1 y 2 medido en metros por segundo, “g” es la gravedad ( $9.81 \text{ m/s}^2$ ), “ $h_f$ ” indica las pérdidas de presión originadas por la fricción en la conducción expresadas en metros de columna de agua (m.c.a.), “ $\Delta h$ ” indica la magnitud que representa la carga de la bomba se expresa en metros de columna de agua (m.c.a), “f” expresa el coeficiente de perdidas, “L” expresa la longitud de la tubería medida en metros y “D” es el diámetro de la tubería medida en metros.

**Figura 46.**  
Diagrama de Moody



Fuente: Lewis Ferry Moody (1944).

**Potencia de la bomba**, la selección de la bomba necesitaba que esta pudiera generar el flujo necesario para alcanzar la altura dinámica requerida, asegurando al mismo tiempo una eficiencia superior al 70%, por lo tanto, la potencia se calculó mediante:

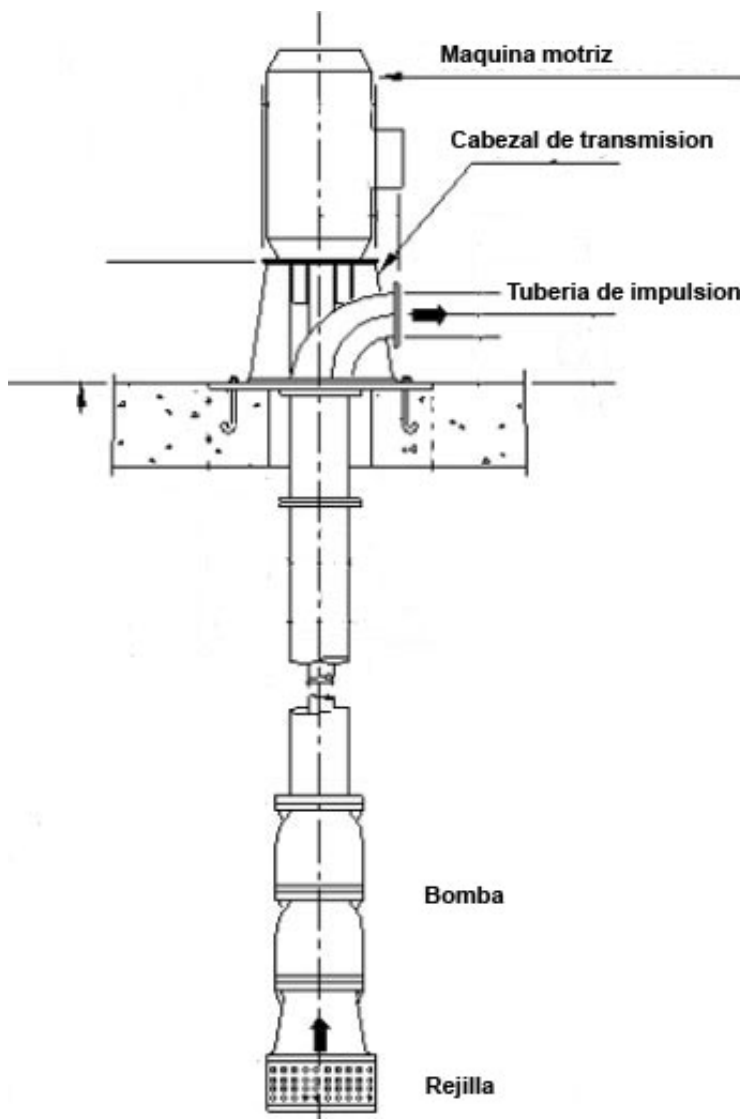
$$P_b = \frac{Q_b * H_b}{76 * \eta} \quad \text{Ecuación ( 58 )}$$

Donde:  $P_b$  es la potencia de la bomba medida en HP,  $Q_b$  es el caudal de bombeo medido en litros por segundo,  $H_b$  es la altura manométrica medida en metros y  $\eta$  es la eficiencia del sistema de bombeo.

**Bomba centrífuga de eje vertical**, se trataba de dispositivos con el eje de transmisión de la bomba dispuesto de manera vertical, sosteniendo varios impulsores que elevaban el agua en periodos, lubricándose con el mismo líquido que bombea. Estos equipos debían situarse directamente sobre el punto de captación, limitando su aplicación principalmente a pozos de gran profundidad.

**Figura 47.**

*Bomba vertical*



Fuente: (OMS & UNATSABAR, 2005)

La elección del diámetro de la tubería de impulsión se realizará utilizando las fórmulas de Bresse según se detalla a continuación:

$$D_{max.} = 1.3 * \left(\frac{N}{24}\right)^{\frac{1}{4}} * (\sqrt{Q_b}) \quad \text{Ecuación ( 59)}$$

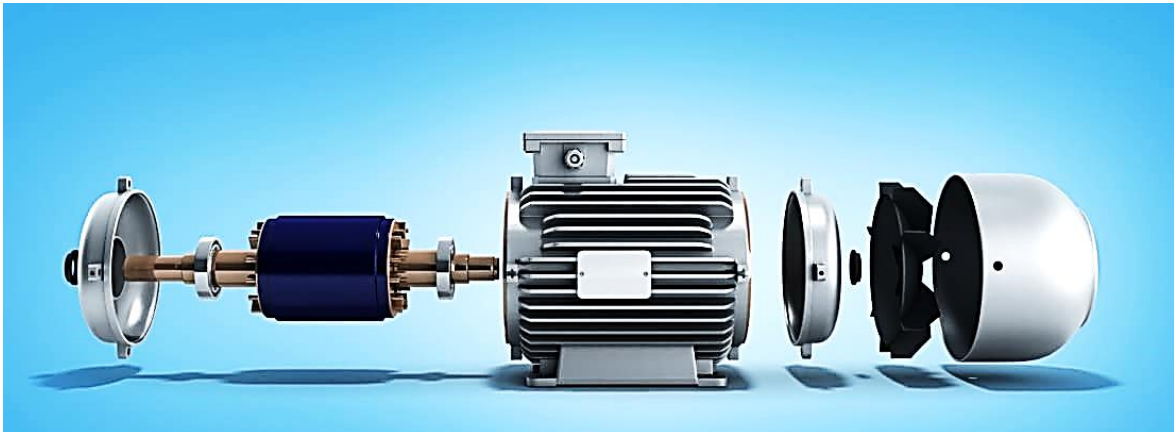
$$D_{econ.} = 0.96 * \left(\frac{N}{24}\right)^{\frac{1}{4}} * (Q_b)^{0.45} \quad \text{Ecuación ( 60)}$$

Donde: “N” expresa el número de horas de bombeo, “ $Q_b$ ” indica el caudal de bombeo, “ $D_{max.}$ ” representa el diámetro teórico máximo y “ $D_{econ.}$ ” representa el diámetro teórico económico.

**Motor eléctrico**, en la implementación de sistemas de abastecimiento de agua subterránea, los motores desempeñan un papel crucial al emplear la corriente eléctrica como su fuente primaria de energía externa. Considerándose exclusivamente dos categorías específicas de motores, los sincrónicos (Velocidad de manera absolutamente constante) y los asíncronos (Inducción (patentado por *Nikola Tesla*)).

Los motores asíncronos con rotor bobinado, específicamente los que presentan un diseño de rotor en armazón, ya sea convencional o de alto par de arranque, se destaca como la principal máquina motriz utilizada actualmente. Estos motores ganaron prominencia gracias a su sencillez, confiabilidad y eficiencia económica. Indicar también que la practicidad de estos motores asíncronos se resalta en su acoplamiento para su utilización con un variador de frecuencias, con el objetivo de graduar el caudal extraído.

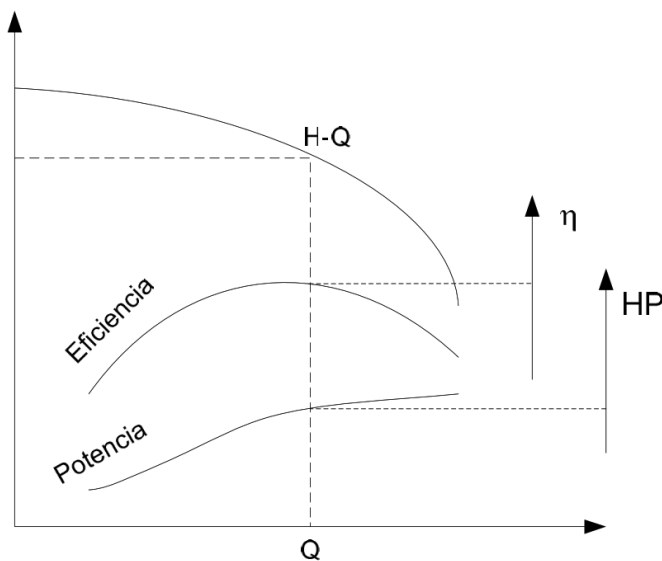
**Figura 48.**  
*Motor asíncrono*



Fuente: <https://www.motor.mapfre.es/>

Durante el proceso de selección de la bomba centrífuga de eje vertical (multietapas), se necesitaban diversos datos esenciales. Estos incluían el caudal, las propiedades del líquido a ser bombeado (como temperatura, gravedad específica y pH), la altura manométrica total, el material de construcción, la longitud del pozo, el diámetro de la tubería de succión, el tipo de tablero de control, entre otros aspectos relevantes. La recopilación precisa de esta información era crucial para garantizar una elección acertada y eficiente del equipo de bombeo. La representación de la curva característica de la bomba se lleva a cabo mediante la creación de una serie de curvas trazadas en un gráfico de coordenadas que vinculaba el caudal con la altura (m.c.a. – por ejemplo 14 psi=10 m.c.a.).

**Figura 49.**  
*Curvas que describen el comportamiento operativo específico de una bomba centrífuga.*





Fuente: (OMS & UNATSABAR, 2005)

Desde una perspectiva teórica, la altura máxima de succión se calculaba en 10,33 metros al nivel del mar, equivalente a una atmósfera. Sin embargo, en la aplicación práctica, era poco común alcanzar los 7,50 metros. Para la gran mayoría de las bombas centrífugas, se establecía que la altura de succión debía mantenerse por debajo de los 5 metros, con el fin de prevenir problemas de cavitación.

**Tabla 13.**

*Máximas alturas referenciales desde las cuales se extrae el líquido.*

m.s.n.m.	PRESIÓN ATMOSFÉRICA (m.c.a.)	LÍMITE PRÁCTICO DE EXTRACCIÓN
0	10.33	7.60
300	10.00	7.40
600	9.64	7.10
900	9.30	6.80
1200	8.96	6.50
1500	8.62	6.25
1800	8.27	6.00
2100	8.00	5.70
2400	7.75	5.50
2700	7.50	5.40
3000	7.24	5.20

Fuente: (Azevedo Netto et al., 2005).

Del mismo modo, se estableció que el diámetro de la tubería de succión debía ser dimensionado de manera que la velocidad en su interior no excediera los valores recomendados y especificados a continuación:

**Tabla 14.**

*Dimensión del diámetro de la tubería de succión según la velocidad.*

DIÁMETRO	VELOCIDAD
50	0,75
75	1,10
100	1,30
150	1,45
200	1,60
250	1,60
300	1,70
mayor a 400	1,80

Fuente: (Azevedo Netto et al., 2005).

Se determinó el diámetro interno de la tubería de succión mediante la aplicación de la expresión siguiente.

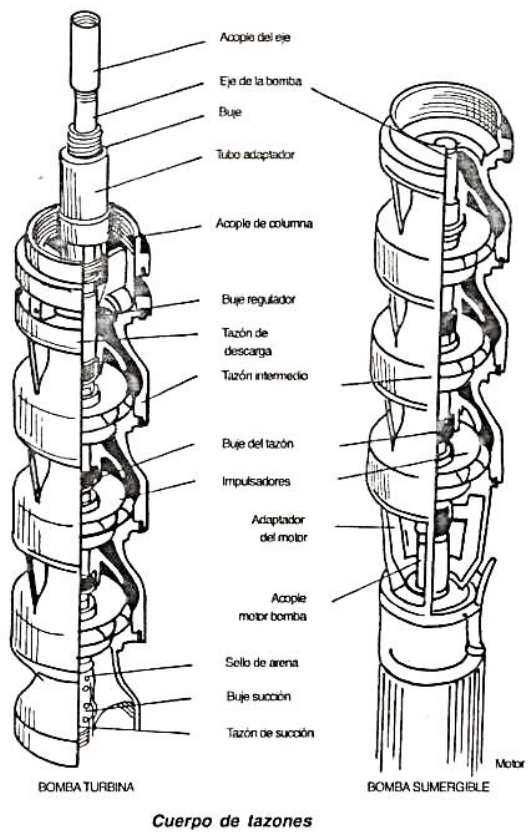
$$d = 1.1284 \sqrt{\frac{Q}{V}} \quad \text{Ecuación ( 61 )}$$

Donde:  $d$  es el diámetro interno de la tubería de succión medido en metros,  $Q$  es el caudal de bombeo medido en metros cúbicos por segundo y  $V$  es la velocidad media de succión medida en metros por segundo.

Se identificaron dos atributos distintivos de los impulsores o tazones, el volumen de fluido que pueden propulsar y la presión que pueden suministrar a dicho volumen.

**Figura 50.**

*Cuerpo de tazones o etapas*



Fuente: (Azevedo Netto et al., 2005).

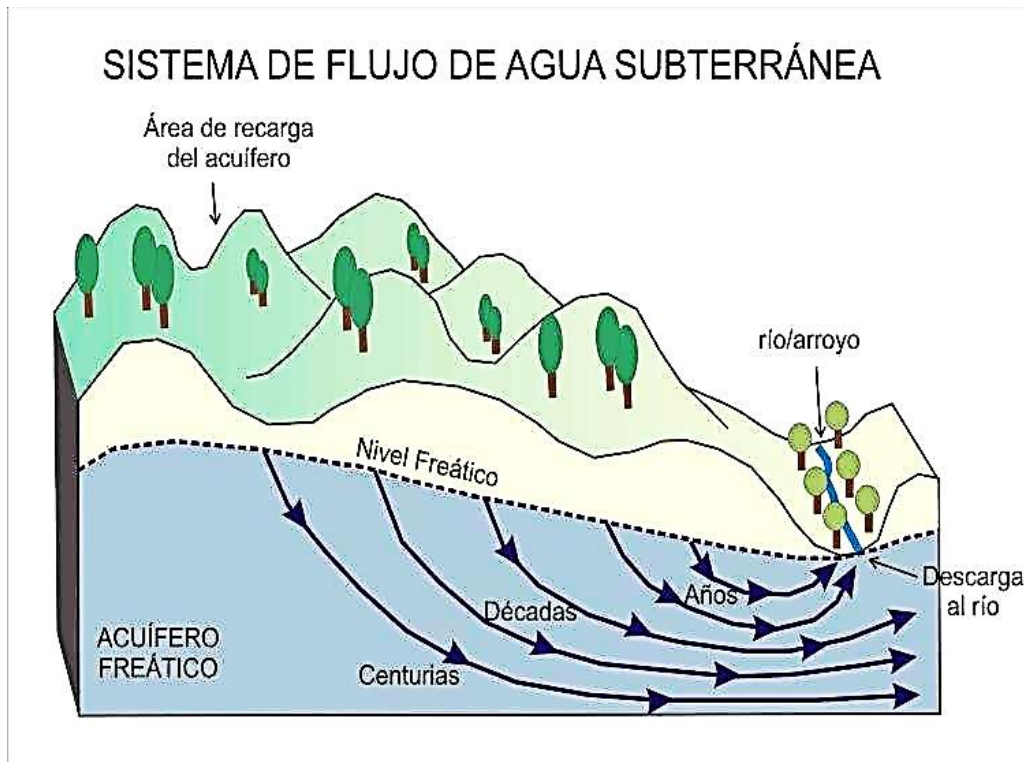
**Nivel de pureza del agua y presencia de sustancias contaminantes,** la evaluación de los pozos mediante la medición de los indicadores de calidad del recurso hídrico subterráneo posibilita identificar los impactos físicos, químicos y

microbiológicos que inciden en el rendimiento del sistema de pozos (Misstear et al., 2017). Llevar a cabo mediciones y análisis de diversos parámetros químicos fundamentales, entre ellos se encuentran el nivel de acidez (pH), la conductividad eléctrica (CE), el potencial redox (Eh), la presencia de hierro en su forma reducida ( $\text{Fe}^{2+}$ ), así como la concentración de gases como dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), oxígeno disuelto y sulfuro de hidrógeno; Los cuales proporcionan información crucial para comprender la dinámica y las características del sistema hidrogeológico estudiado (Misstear et al., 2017).

En el marco de la investigación hidrogeológica, se ha examinado detalladamente la susceptibilidad a la contaminación tanto del agua superficial como del agua subterránea. Se hace hincapié en una distinción significativa entre ambas. La contaminación en las aguas superficiales se caracteriza por su naturaleza temporal, manifestándose durante períodos que abarcan semanas o días. Contrariamente, la contaminación en el agua subterránea presenta una persistencia notable, extendiéndose a lo largo de décadas e incluso siglos (Moss Roscoe, 1990). Este análisis es esencial para comprender las complejidades asociadas con cada tipo de recurso hídrico, proporcionando una base sólida para la formulación de estrategias de gestión y conservación efectivas.

### Figura 51.

Períodos de renovación o permanencia del agua subterránea.



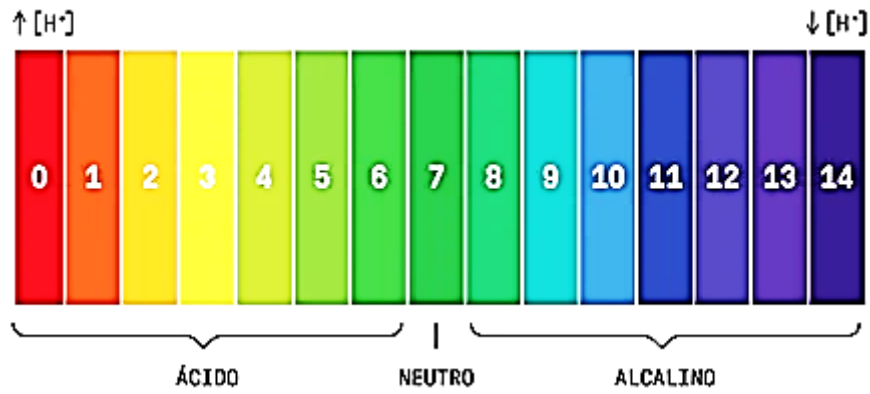
Fuente: (Cabrera et al., 2014).

**Factor para la elección de tubería (ademe),** En la elección del material de construcción para la tubería de un pozo, se requiere una atención especial, especialmente cuando se trata de aguas subterráneas con propiedades incrustantes o corrosivas. Las aguas con tendencia a la incrustación pueden propiciar la acumulación de depósitos en las paredes de la tubería del pozo, especialmente en las rejillas, lo cual complica e incluso llega a obstruir el flujo de agua hacia el interior de la captación. Por otro lado, las aguas corrosivas tienen el potencial de deteriorar el material y provocar la disolución de secciones de la tubería (Martos Rosillo et al., 2022).

Las aguas corrosivas se caracterizan por su bajo pH, indicativo de acidez, mientras que las aguas incrustantes (depositar minerales como magnesio y calcio) exhiben valores de pH superiores a 7, indicando alcalinidad.

**Figura 52.**

Concentración de iones de hidrogeno (pH).



Fuente: <https://www.thechemistlook.com/>

**Figura 53.**

Ademe corroído.



*Condición de un conducto de acero común afectado por la corrosión después de unos años de haber sido colocado en un acuífero con presencia de agua salada. Fuente: (Martos Rosillo et al., 2022).*

Con el fin de evaluar la corrosión y la tendencia a la incrustación en un cuerpo de agua, para así determinar el material óptimo para revestir un pozo, se puede emplear el índice de Ryznar (IR).

$$IR = 2pH_e - pH \quad \text{Ecuación ( 62 )}$$

$$pH_e = 7 - \left[ \frac{\log 3}{0.61 * \left( \frac{CO_2 libre_{ppm}}{TAC_{ppmCaCO_3}} \right)} \right] \quad \text{Ecuación ( 63 )}$$

Donde:  $pH$  corresponde al nivel de pH presente en la muestra de agua recolectada,  $pH_e$  se trata del pH en equilibrio con la calcita,  $CO_2 libre_{ppm}$  es la concentración libre de dióxido de carbono en partes por millón,  $TAC_{ppmCaCO_3}$  es la alcalinidad total.

**Tabla 15.**

*Categorías de agua según el índice de Ryznar.*

ÍNDICE RYZNAR (IR)	TIPO DE AGUA
4 a 5	Alta incrustación
5 a 6	Ligera incrustación, incluye corrosión
6 a 7	Baja propensión a la incrustación o corrosión.
7 a 7,5	Corrosiva
7,5 a 9	Notablemente propensa a la corrosión
>9	Alta corrosión.

*Fuente: (Bayó, 1996).*

**Tabla 16.**

*Material sugerido según el índice de Ryznar.*

ÍNDICE RYZNAR (IR)	MATERIAL DE ENTUBADO ADECUADO
7 a 8	Acero normal
6,5 a 8	Hierro puro al 99.85% (Armco)
6 a 8,5	Bronce rojo al silicio
< 9	Aleación de cobre y zinc (Everdur)
< 9,5	Aleación de níquel y cobre (Monel 400)
<10	Acero inoxidable 405
<12	Acero inoxidable 304
<15	Acero inoxidable 304, bajo en carbono
<16	Acero inoxidable 316
<18	Acero inoxidable 316, bajo en carbono
7 a 18	ABS, PVC, plásticos, madera con resina o epoxy

*Diferentes categorías de materiales aconsejados para revestir un pozo profundo, considerando el índice de Ryznar del agua subterránea. Fuente: (Bayó, 1996).*

Asimismo, una manera de analizar el nivel de corrosión o incrustación de un cuerpo de agua consiste en emplear el índice de Langelier o de saturación (IL).

$$IL = pH + TC + CF + AF - 12.1$$

Ecuación ( 64 )

Donde: *pH* corresponde al nivel de pH presente en la muestra de agua recolectada, TC corresponde al coeficiente térmico, CF corresponde al coeficiente de dureza, AF corresponde al coeficiente de alcalinidad total (TAC).

**Tabla 17.**

*Coeficiente de los parámetros según Langelier.*

Temperatura		Dureza		Alcalinidad total	
°C	TC	Ppm	CF	Ppm	AF
0	0	5	0.5	5	0.7
3	0.1	25	1	25	1.4
8	0.2	50	1.3	50	1.7
12	0.3	75	1.5	100	1.9
15	0.4	100	1.6	150	1.8
19	0.5	150	1.8	200	2.2
24	0.6	200	1.9	250	2.4
29	0.7	400	2.1	300	2.5
34	0.8	800	2.2	400	2.6

*Los coeficientes de los parámetros TC, CF y AF de la formulación de Langelier varían de acuerdo a la temperatura del agua, la dureza y la alcalinidad total, respectivamente. Fuente: (Martos Rosillo et al., 2022).*

**Tabla 18.**

*Categorías de agua según el índice de Langelier.*

ÍNDICE LANGELIER (IL)	TIPO DE AGUA
+0.5 a más	Alta incrustación
0.0 a +0.5	Ligera incrustación, incluye corrosión
0.0	Baja propensión a la incrustación o corrosión.
0.0 a -0.5	Ligera corrosión.
-0.5 a menos	Alta corrosión.

*Fuente: <https://www.carbotecnica.info/>.*

Si el potencial de precipitación de carbonato cálcico alcanza niveles excesivos, las tuberías y los filtros experimentarán obstrucciones con dicho carbonato. La precipitación ocurre predominantemente en áreas de mayor velocidad, ya que la turbulencia facilita la entrega acelerada de iones. Durante la extracción de agua de un pozo, el descenso del nivel freático genera el gradiente de presión necesario en

la formación acuífera para el flujo hacia el pozo. En las partes más profundas de la formación acuífera, la presión hidrostática disminuye, siendo el pozo el lugar donde se registra el cambio más significativo. La reducción de presión provoca la liberación de dióxido de carbono del agua. En estas condiciones, el agua a menudo no puede transportar toda su carga de carbonato cálcico en solución, lo que resulta en la disolución parcial y precipitación de parte de este carbonato en la arena cercana a la pantalla del pozo (Rossum, 2021).

**Tabla 19.**

*Índice de resistencia frente a la corrosión, según material.*

CLASE DE METAL.	DISMINUCIÓN DEL MATERIAL (MEDIDA EN MILÉSIMAS DE PULGADA POR AÑO).	ÍNDICE DE RESISTENCIA FRENTE A LA CORROSIÓN.
Acero al Carbono	2.8794	1x
Acero al Cobre	0.7438	4x
Acero de Alta Resistencia y Baja Aleación (HSLA)	0.3131	9x
Acero inoxidable clase 304L	0.0118	244x
Acero inoxidable clase 316L	0.0061	472x

*La implementación de revestimientos y filtros en la perforación de un pozo de agua implica una inversión significativa. En diversos escenarios, los desembolsos iniciales de capital para erigir un pozo pueden llevar a algunos a optar por el acero al carbono como la opción material. No obstante, esta elección puede volverse perjudicial con el tiempo, ya que los gastos operativos y de sustitución aumentan debido a la baja calidad del acero. Una alternativa orientada a largo plazo consistiría en la construcción del pozo utilizando un tipo de acero que garantice una resistencia superior y una vida útil más prolongada (Moss Roscoe, 1999).*

Como concluyó (McLaughlan, 2014), con base en las proyecciones de corrosión, se observó que el acero inoxidable experimentó una mínima disminución en su resistencia, en contraste con las aleaciones menos resistentes a la corrosión, cuya capacidad de resistencia al colapso disminuyó aproximadamente entre un 45% y un 53% respecto a la resistencia original al colapso después de un periodo de 30 años.

**Resistencia mecánica**, se clasificó los esfuerzos según la orientación de las fuerzas aplicadas. Se distinguieron dos categorías principales: **a)** Fuerzas radiales, las cuales, al dirigirse hacia el eje del pozo, podían ocasionar el colapso de la tubería o la rejilla; no obstante, si la dirección era hacia fuera, generaban cargas



explosivas (columna de agua, formación geológica y sismo); **b)** Fuerzas axiales, que se desglosaron en compresión, ejercida en dirección a la tubería con el riesgo de aplastamiento por la formación geológica, y tensión, que actuaba en sentido de separación entre la tubería y la rejilla, influenciada por el peso propio del sistema (Martos Rosillo et al., 2022).

$$P_e = \gamma_{med} * h * k_e \quad \text{Ecuación ( 65 )}$$

Donde:  $P_e$  es la fuerza centrípeta ejercida por el terreno en dirección radial,  $\gamma_{med}$  es la densidad promedio del suelo (2 a 2.3 Tn/m<sup>3</sup>),  $h$  es la medida de la profundidad del pozo expresada en metros, y  $k_e$  es un factor empírico que se sitúa en el rango de 0 a 1.

**Tabla 20.**

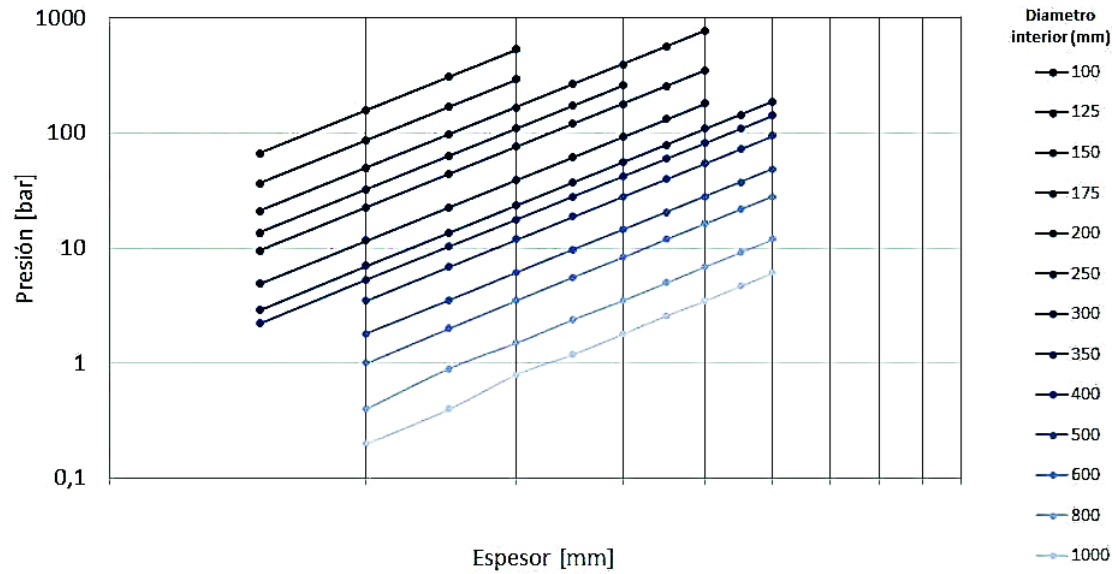
*Valores de  $k_e$  para fuerza centrípeta ejercida por el terreno en dirección radial.*

MATERIAL	$k_e$
Consolidado (pozo < 300 metros)	0.1
Consolidado (pozo > 300 metros)	0.1 – 0.2
No consolidado o sedimento.	0.1 – 0.7
Expuestos a presión geológica compactadora	0.5 – 1.0

*Fuente:* (Martos Rosillo et al., 2022)

**Figura 54.**

Capacidad para resistir la presión externa en tuberías de acero.



La capacidad de las tuberías ciegas de acero, empleadas en la construcción de pozos, para resistir la presión externa. Fuente: Pesa Well Engineering, S.L.

Durante la introducción de la grava desde la superficie hacia el interior del pozo, se observó que la densidad de la columna de agua que contenía la grava suspendida en el espacio anular entre el tubo y la pared del sondeo superaba la densidad del agua dentro del tubo. Esta situación generó una sobrepresión durante la ejecución de dicha operación.

**Figura 55.**

Diagrama de presión al introducir el filtro de grava.

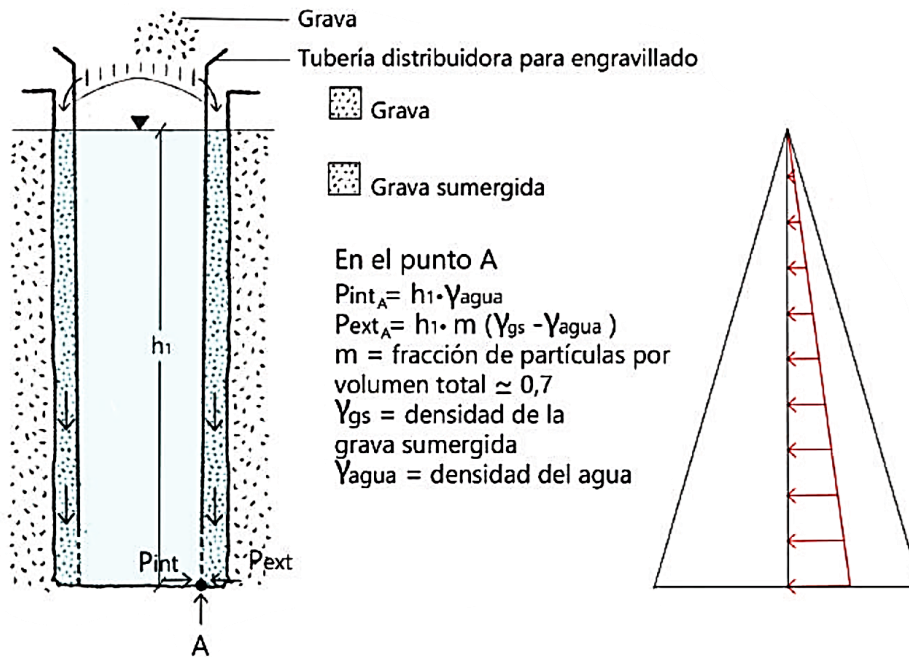


Diagrama de presión en un pozo donde se estaba colocando una masa de grava desde la superficie mediante una tubería auxiliar que contaba con aberturas para facilitar la distribución de la grava a lo largo del espacio anular. En la que,  $\gamma_{agua}$  es la densidad del agua equivalente a  $1 \text{ tn/m}^3$ ,  $\gamma_{gs}$  es la densidad de la grava sumergida equivalente a  $1.1 \text{ tn/m}^3$ .

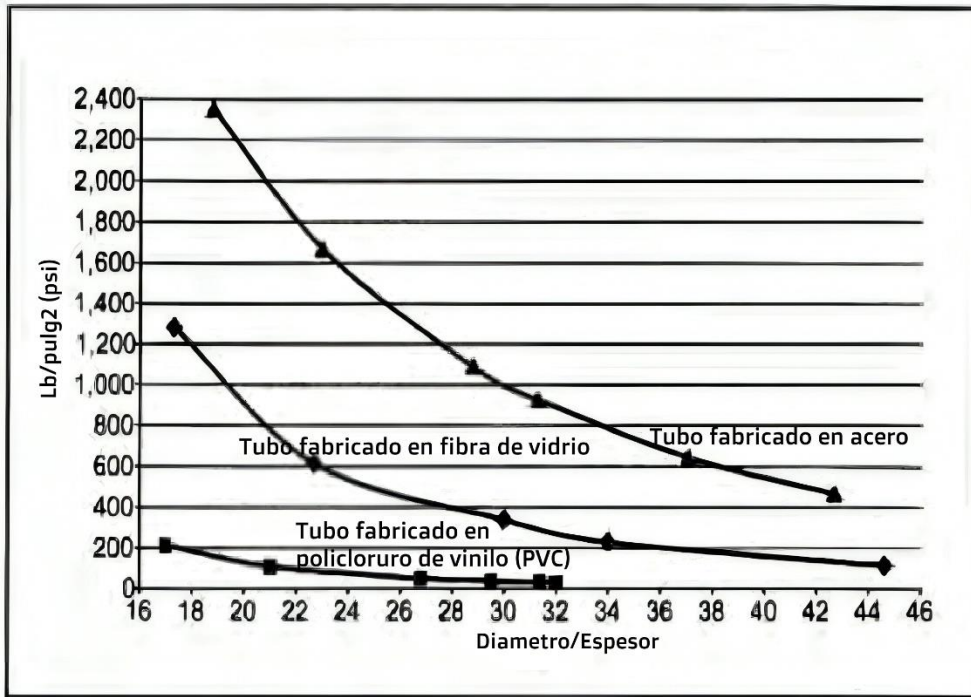
Allievi L. desarrollo la fórmula para calcular la capacidad de resistencia al aplastamiento de la tubería utilizada como ademe en el pozo profundo:

$$P = \frac{2E}{K} * \left(\frac{e}{d}\right)^3 \quad \text{Ecuación ( 66 )}$$

Donde:  $P$  es la presión máxima permitida en condiciones de aplastamiento medido en  $\text{kg/cm}^2$ ,  $e$  indica el grosor de la tubería medido en centímetros,  $d$  expresa el diámetro interior de la tubería medido en centímetros,  $K$  es el factor de seguridad,  $E$  representa el módulo de elasticidad del acero expresado en  $\text{kg/cm}^2$ .

**Figura 56.**

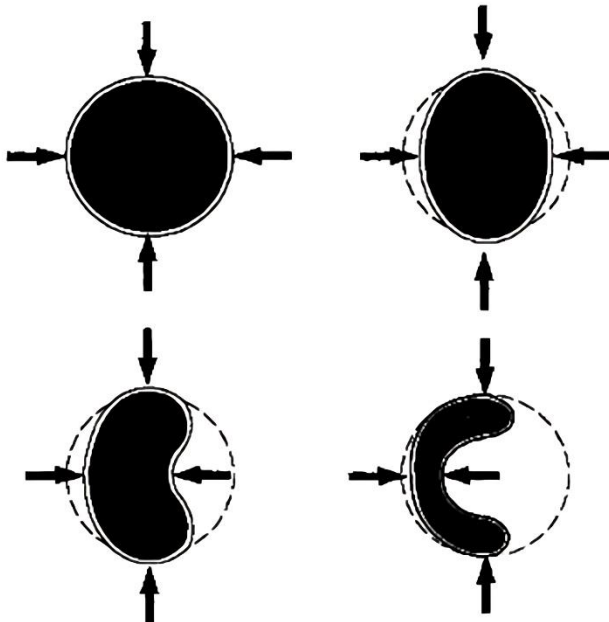
*Análisis comparativo de la capacidad de resistencia al colapso*



Fuente: (Sterrett, 2007).

**Figura 57.**

*Fractura debido al colapso de la tubería.*



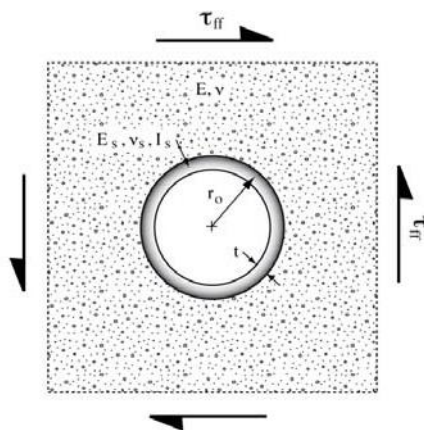
Fuente: (Moss Roscoe, 1990).

**Diseño debido a la aplicación de fuerzas de colapso en la tubería (radial)**, se cuenta con evidencia de campo considerable que indica que las estructuras subterráneas son propensas a sufrir los impactos sísmicos, por lo tanto, es imperativo concebir su diseño con la capacidad de resistir las deformaciones del suelo durante un evento sísmico (Bobet, 2011).

Hasta hace poco tiempo, dentro del ámbito de la ingeniería, existía la creencia de que las estructuras subterráneas no requerían ser diseñadas para resistir fuerzas sísmicas. Se sostenía que estas estructuras se desplazaban con el terreno debido a su menor masa en comparación con el suelo circundante, y, por ende, no experimentaban esfuerzos significativos. Sin embargo, esta perspectiva cambió de manera drástica a raíz de los eventos ocurridos en la estación de metro de Daikai, ubicada en Kobe, Japón, durante el terremoto de Kobe el 17 de enero de 1995.

**Figura 58.**

*Estructura circular profunda enterrada.*

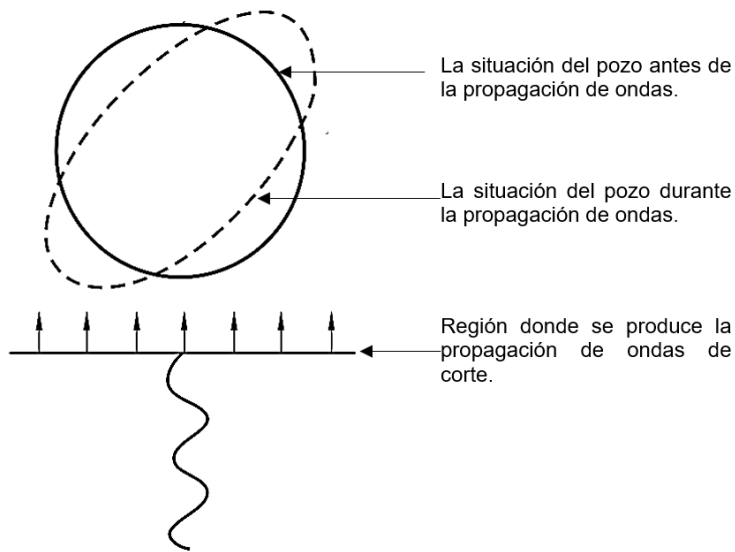


*Una estructura de forma circular con un radio  $r_0$  y características elásticas, junto con un momento de inercia, se encuentra expuesta a un esfuerzo cortante, denotado como  $\tau_{ff}$ . Este último representa el cortante generado en el suelo durante la deformación en campo libre o "free-field" (Bobet, 2011).*

Se emplearon técnicas de evaluación que incluyeron el análisis de deformación en condiciones de campo abierto y el análisis de la interacción suelo estructura. Estos métodos permitieron calcular las deformaciones máximas en dirección axial y de flexión (curvatura) generadas por distintos tipos de ondas (Avilés & Pérez Rocha, 2014).

**Figura 59.**

*Distorsión de la forma ovalada en la sección circular del pozo.*

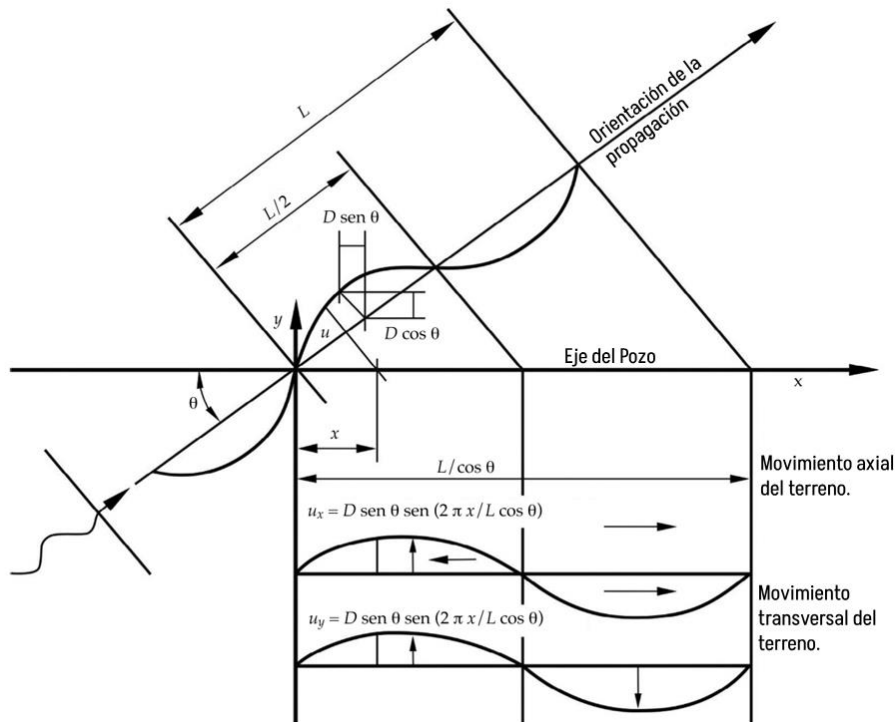


Fuente: (Avilés & Pérez Rocha, 2014).

La deformación en campo abierto, hace referencia a los cambios en la configuración del terreno ocasionados por la incidencia de ondas sísmicas cuando no hay presencia de pozos o excavaciones.

**Figura 60.**

*Propagación de onda sísmica en el eje del pozo.*



*Impacto generado por la propagación de ondas cortantes a lo largo del eje del pozo (Avilés & Pérez Rocha, 2014).*

Se observa que las variaciones laterales están influenciadas por el ángulo de incidencia " $\theta$ ", la amplitud de desplazamiento "D" y la longitud de onda "L", de acuerdo con los principios de la teoría de la propagación de ondas.

(S) Ondas cortantes:

$$\varepsilon = \frac{V_s}{C_s} \sin \theta \cos \theta \quad \text{Ecuación ( 67 )}$$

$$\kappa = \frac{A_s}{C_s^2} \cos^3 \theta \quad \text{Ecuación ( 68 )}$$

(P) Ondas de compresión:

$$\varepsilon = \frac{V_p}{C_p} \cos^2 \theta \quad \text{Ecuación ( 69 )}$$

$$\kappa = \frac{A_p}{C_p^2} \sin \theta \cos^2 \theta \quad \text{Ecuación ( 70 )}$$

(R) Ondas Rayleigh:

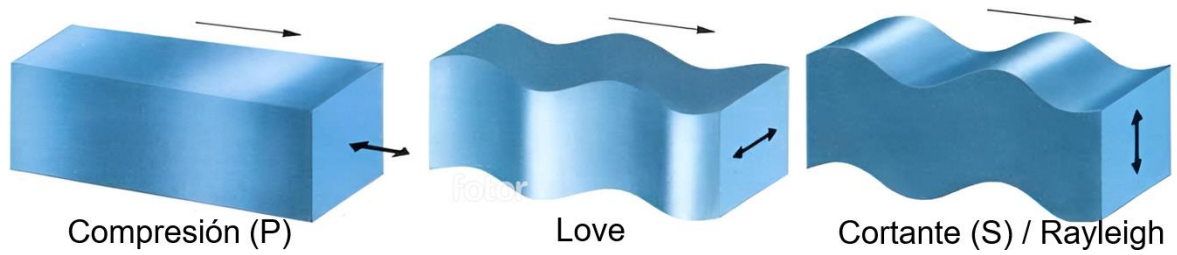
$$\varepsilon = \frac{V_R}{C_R} \cos^2 \theta \quad \text{Ecuación ( 71 )}$$

$$\kappa = \frac{A_R}{C_R^2} \cos^2 \theta + \frac{A_R}{C_R^2} \sin \theta \cos^2 \theta \quad \text{Ecuación ( 72 )}$$

Donde: bien "V" es la máxima velocidad de partículas para las ondas, "A" es la máxima aceleración de partículas para las ondas, "C" es la velocidad efectiva de transmisión de ondas, "ε" es la distorsión en dirección axial, "κ" es la deformación de curvatura, en un medio elástico.

**Figura 61.**

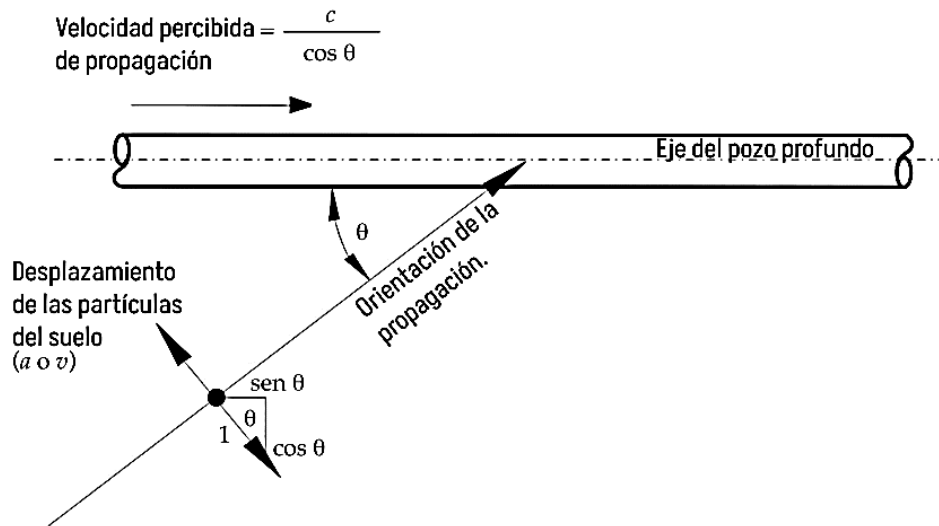
*Propagación de ondas.*



*Fuente: (Manilla Aceves, 2003).*

**Figura 62.**

*Impacto de las ondas de corte en pozo.*



*Fuente: (Avilés & Pérez Rocha, 2014).*

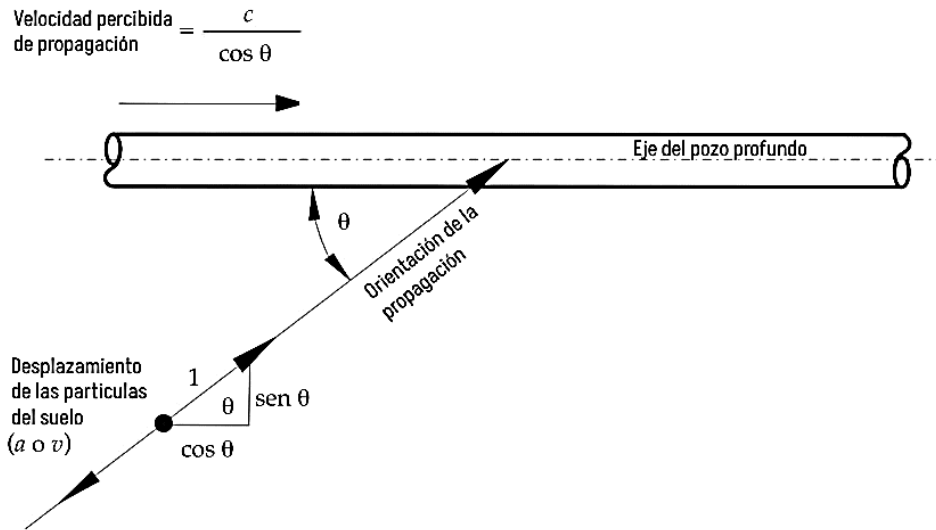
$$\varepsilon = \frac{v \sin \theta}{\frac{c}{\cos \theta}} = \frac{v}{c} \sin \theta \cos \theta \quad \text{Ecuación ( 73 )}$$

$$\kappa = \frac{a \cos \theta}{\frac{c^2}{\cos^2 \theta}} = \frac{a}{c^2} \cos^3 \theta \quad \text{Ecuación ( 74 )}$$



**Figura 63.**

*Impacto de las sondas de compresión en pozo.*



Fuente: (Avilés & Pérez Rocha, 2014).

$$\varepsilon = \frac{v \cos \theta}{\frac{c}{\cos \theta}} = \frac{v}{c} \cos^2 \theta \quad \text{Ecuación ( 75 )}$$

$$\kappa = \frac{a \sin \theta}{\frac{c^2}{\cos^2 \theta}} = \frac{a}{c^2} \sin \theta \cos^2 \theta \quad \text{Ecuación ( 76 )}$$

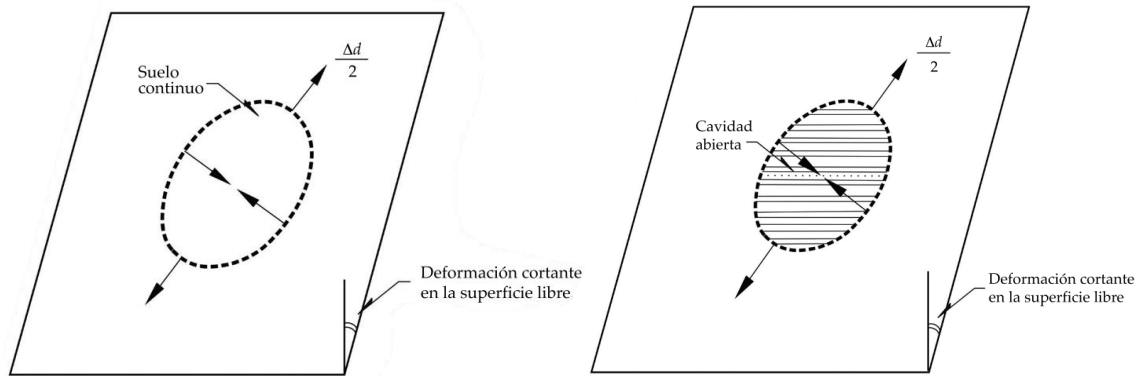
La interacción suelo estructura, al considerar la existencia del pozo, este altera las deformaciones del terreno sin restricciones, particularmente en suelos de baja consistencia. La evaluación de la interacción suelo/estructura tiene en cuenta la rigidez tanto del terreno como del pozo.

$$Q_{m\acute{a}x} = \frac{\frac{K_a L_s}{2\pi}}{1 + 2 \frac{K_a}{E_c A_c} \left(\frac{L_s}{2\pi}\right)^2} D_s \quad \text{Ecuación ( 77 )}$$

Donde:  $Q_{m\acute{a}x}$  es la máxima fuerza axial resultante de ondas de corte que se alcanza cuando el ángulo " $\theta$ " es igual a 45 grados, " $K_a$ " es la rigidez axial del terreno adyacente, medida por cada unidad de longitud del pozo, " $L_s$ " es la longitud de onda principal, " $D_s$ " es la magnitud máxima de movimiento del suelo, " $E_c$ " es el módulo de elasticidad del revestimiento, " $A_c$ " es la superficie de la sección transversal del pozo.

### Figura 64.

Distorsiones de campo, debido a fuerzas cortante.



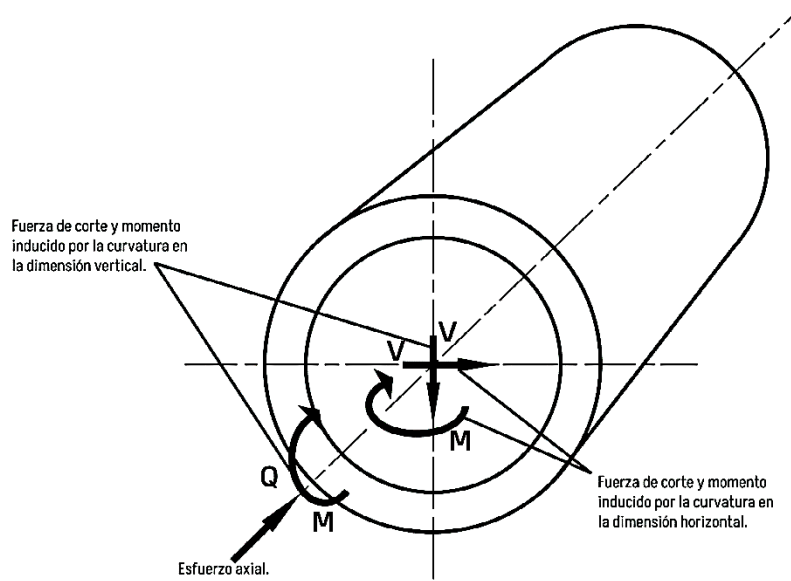
Distorsiones de campo abierto debido a fuerzas cortantes en un entorno tanto sin como con excavación (Avilés & Pérez Rocha, 2014).

$$M_{m\acute{a}x} = \frac{K_l \left(\frac{L_s}{2\pi}\right)^2}{1 + \frac{K_l}{E_c I_c} \left(\frac{L_s}{2\pi}\right)^4} D_s \quad \text{Ecuación ( 78 )}$$

Donde:  $M_{m\acute{a}x}$  es el máximo momento resultante de ondas de corte que se alcanza cuando el ángulo " $\theta$ " es igual a 0 (cero) grados, " $K_l$ " es la rigidez lateral del terreno adyacente, medida por cada unidad de longitud del pozo, " $L_s$ " es la longitud de onda principal, " $D_s$ " es la magnitud máxima de movimiento del suelo, " $E_c$ " es el módulo de elasticidad del revestimiento, " $I_c$ " es el momento de inercia de la sección transversal del pozo (M es el momento torsional que resulta de las ondas de corte aplicados en un ángulo torsional  $\theta$ ).

**Figura 65.**

*Fuerzas y momentos en el eje del pozo profundo.*



*Fuerzas y momentos a lo largo del eje del pozo profundo generados por la propagación de ondas (Avilés & Pérez Rocha, 2014).*

La fuerza cortante máxima se logra a través de:

$$V_{m\acute{a}x} = \frac{2\pi}{L_s} M_{m\acute{a}x} \quad \text{Ecuación ( 79 )}$$

La relación de la rigidez entre el pozo profundo y el terreno se expone mediante los coeficientes de compresibilidad "C" y flexibilidad "F", los cuales se expresan a través de:

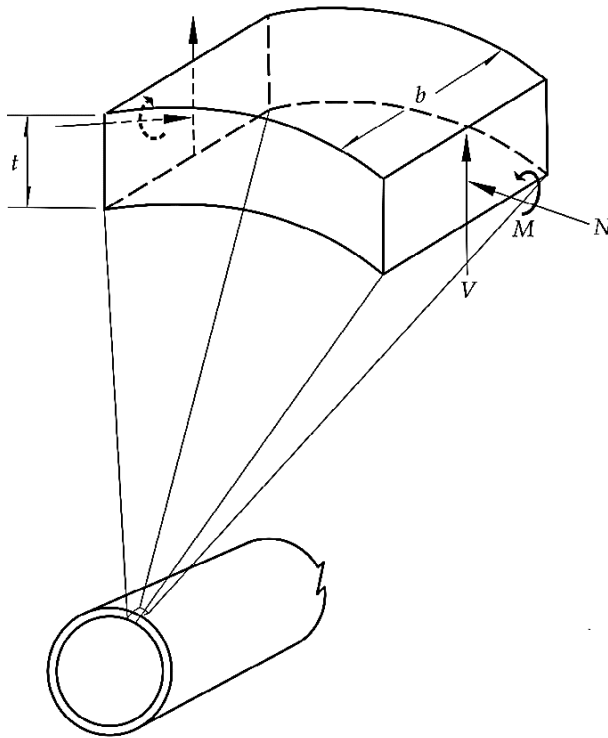
$$C = \frac{E_s(1 - v_c^2)r}{E_c t(1 + v_s)(1 - 2v_s)} \quad \text{Ecuación ( 80 )}$$

$$F = \frac{E_s(1 - v_c^2)r^3}{6E_c I'_c(1 + v_s)} \quad \text{Ecuación ( 81 )}$$

Donde: " $E_c$ " es el módulo de elasticidad del revestimiento, " $I'_c$ " es el momento de inercia del revestimiento dividido por unidad de ancho, " $E_s$ " es el módulo elástico del terreno, " $v_s$ " es el coeficiente de Poisson del terreno, " $v_c$ " es el coeficiente de Poisson del ademe o recubrimiento, " $t$ " es el grosor del ademe o recubrimiento, " $r$ " es el radio del pozo.

### Figura 66.

Fuerzas y momentos alrededor del pozo profundo.



Fuerzas y momentos alrededor de la circunferencia ocasionados por la propagación de ondas en dirección perpendicular al eje del pozo (Chapman, 2004).

**Diseño debido a la aplicación de fuerzas de compresión sobre la tubería (axial)**, la fuerza axial, cuando actúa en tensión, tiene el efecto de generar separación entre la tubería y la rejilla; sin embargo, tiende a comprimirse cuando se trata de fuerza compresiva (Moss Roscoe, 1990). Es relevante destacar que la deformación de la tubería se iniciará, en una primera instancia, adoptando una configuración elíptica para posteriormente experimentar un doblez sobre su propio eje. El inicio de la deformación tanto por encima como por debajo del punto donde se inicia el doblez ocasiona una expansión constante de la región afectada por la deformación (Sterrett, 2007). En la investigación realizada, se determinó la presión crítica para una tubería sin excentricidad, cuya longitud supera ocho veces el diámetro; Este análisis se basó en la siguiente ecuación (enfoque de Timoshenko) que considera las condiciones mencionadas (Sterrett, 2007).

$$P_{cr} = \frac{2E}{(1 - \nu^2) \left(\frac{D}{t} - 1\right)^3} \quad \text{Ecuación ( 82 )}$$

Donde: “ $P_{cr}$ ” es la presión crítica para una tubería sin desviación de su eje central medido en libras sobre pulgada al cuadrado (Psi), “E” representa al módulo de elasticidad o Young medido en Psi, “ $\nu$ ” indica el modulo de Poisson, “D” representa el diámetro exterior de la tubería medido en pulgadas y “t” es el grosos de la tubería.

**Tabla 21.**

*Características de los materiales utilizados en la construcción de tuberías para pozo.*

PROPIEDAD		ACERO CARBÓN	ACERO INOXIDABLE	PVC	FIBRA DE VIDRIO
Gravedad Específica		7.8	8	1.4	1.9
Fluencia de material	lb/in <sup>2</sup> (Psi)	35000	30000	7000	12000
	Mpa	240	210	50	80
Módulo de Elasticidad	lb/in <sup>2</sup> (Psi)	30000000	28000000	400000	2000000
	Mpa	206900	193100	2800	13800
Módulo de Poisson		0.28	0.3	0.4	0.6

*Fuente: (Sterrett, 2007).*

Durante el estudio de un cilindro con desviación de su eje central, el método de Timoshenko abordó la determinación de la presión crítica a través de una ecuación cuadrática específica, tal como se presenta en la siguiente formulación:

$$Pd^2 - \left\{ \frac{2Yp}{\frac{D}{t} - 1} + \left[ 1 + 3 \left( \frac{D}{t} - 1 \right) e \right] P_{cr} \right\} Pd + \frac{2Yp * P_{cr}}{\frac{D}{t} - 1} = 0 \quad \text{Ecuación ( 83 )}$$

Donde: “Pd” es la presión de diseño medido en libras sobre pulgada al cuadrado (Psi), “Pcr” representa la presión critica para un cilindro ideal (Psi), Yp indica el Limite elástico (fluencia) del material (Psi), “e” indica la Desviación del eje central o excentricidad (se considera 0.01 pero se asume 0.015 en ciertos casos estándar).

Las fuerzas de tensión ejercidas en la tubería durante la instalación se originan a partir del peso de la tubería y el filtro suspendido, junto con las fuerzas de arrastre adicionales que podían transmitirse al revestimiento durante la colocación de la grava filtrante (Sterrett, 2007).

$$W_t = (k * t * (D - t)) * L \quad \text{Ecuación ( 84 )}$$

Donde: “ $W_t$ ” representa el peso total del ademe (kilogramo o libra), “ $t$ ” es el grosor de la tubería (centímetros o pulgadas), “ $D$ ” es el diámetro exterior de la tubería (centímetros o pulgadas), “ $L$ ” representa la longitud completa de la tubería (metros o pies), “ $k$ ” indica el coeficiente de material, el cual se detalla a continuación:

**Tabla 22.**  
Coeficiente “ $k$ ” según material.

MATERIAL	SISTEMA	K
Aceros que presentan bajos niveles de carbono	Anglosajón (U.S.) (in, lb, gal)	10.68
	Internacional (S.I.) (m, kg, s)	0.229
Acero inoxidable	Anglosajón (U.S.) (in, lb, gal)	10.78
	Internacional (S.I.) (m, kg, s)	0.231
Policloruro de vinilo (PVC)	Anglosajón (U.S.) (in, lb, gal)	2.1
	Internacional (S.I.) (m, kg, s)	0.15
Fibra de vidrio	Anglosajón (U.S.) (in, lb, gal)	2.7
	Internacional (S.I.) (m, kg, s)	0.62

Fuente: (Sterrett, 2007).

Además, la ecuación que determina la resistencia a la tracción de la tubería es la siguiente (American Water Works Association (ANSI/AWWA) A100-97, 1998):

$$C_{ts} = \frac{\pi * t * S_t (D_o - t)}{2000} \quad \text{Ecuación ( 85 )}$$

Donde: “ $C_{ts}$ ” representa la resistencia a la tracción de la tubería medida en kilos o toneladas, “ $D_o$ ” señala el diámetro externo de la tubería medido en pulgadas o milímetros, “ $S_t$ ” representa la capacidad del material para resistir la tracción (según cuadro de características de los materiales utilizados en la construcción de tuberías para pozo), “ $t$ ” indica el grosor de la tubería medida en pulgadas o milímetros.

El esfuerzo a la compresión experimentadas por la tubería surge como resultado de las características geológicas presentes y las deficiencias en las prácticas de

construcción. La compresión aplicada conduce al pandeo de la tubería, siendo el factor primordial la colocación inadecuada de largas secciones de la estructura en un pozo sin el respaldo lateral necesario (Sterrett, 2007). Debido a la pequeña área de sección transversal, la integridad estructural de la pantalla del pozo se ve comprometida aún más, resultando en una mayor susceptibilidad al pandeo (Moss Roscoe, 1990).

La capacidad de resistencia a la compresión de la tubería guarda una relación directa con las tensiones inherentes al material empleado en su manufactura. Tanto la resistencia a la compresión como a la tensión están determinadas por la superficie transversal de la pared (Sterrett, 2007). El cálculo de la resistencia a la compresión axial de la tubería se lleva a cabo mediante la aplicación de la ecuación que se presenta a continuación (American Water Works Association (ANSI/AWWA) A100-97, 1998).

$$C_{as} = \frac{\pi * t * S_{yp}(D_o - t)}{2000} \quad \text{Ecuación ( 86 )}$$

Donde: “ $C_{as}$ ” representa la capacidad de resistir fuerzas de compresión en dirección axial de la tubería medida en kilos o toneladas, “ $D_o$ ” señala el diámetro externo de la tubería medido en pulgadas o milímetros, “ $S_{yp}$ ” representa el límite elástico de la tubería medido en PSI o Mpa, “ $t$ ” indica el grosor de la tubería medida en milímetros.

**Diámetro del pozo**, el cual se diseña teniendo en cuenta el caudal requerido para el pozo, con la adición de un margen de seguridad para abordar posibles reducciones en la eficiencia del pozo, interferencias eventuales o bombeo continuo. En este proceso, se estableció la profundidad máxima de la bomba que debía ser instalada.

**Tabla 23.**

*Diámetros sugeridos para pozos*

CAUDAL PROYECTADO DEL POZO (L/S)	DIÁMETRO NOMINAL DE LA BOMBA (PULGADA)	DIÁMETRO MÍNIMO DE LA TUBERÍA (PULGADA)	DIÁMETRO IDEAL DE LA TUBERÍA. (PULGADA)
----------------------------------	--	---	---

Menos de 6	4	5DI	6DI
5 a 11	5	6DI	8DI
10 a 25	6	8DI	10DI
22 a 41	8	10DI	12DI
40 a 57	10	12DI	14DI
53 a 82	12	14DE	16DI
75 a 114	14	16DE	20DI
100 a 190	16	20DE	24DI

*DI = Diámetro Interior, DE = Diámetro Exterior; Fuente: (Johnson, 1966).*

Valga precisar que, según el numeral 6.1.2 de la Norma Técnica Peruana NTP 360.100, establece que, en el proceso de perforación, resulta imperativo considerar la dimensión de los tubos y filtros que se colocarán, recomendándose la provisión de un espacio anular no menor a 75 mm (INACAL NTP 360.100, 2017).

**Tabla 24.**

*Procedimientos de perforación de pozos y sus usos prácticos, según diámetros.*

Método	Material	Diámetro (cm)	Profundidad (m)	Caudal (m <sup>3</sup> /d)
Impacto por la aplicación de fuerza (golpes repetidos)	Suelo blando, formaciones no compactadas (arena, limo).	3 – 10	15	15 – 200
Presión de agua	Suelo suelto, formaciones menos consolidadas (arena, limo).	4 – 8	15	15 – 150
Rotación de broca o trépano.	Suelos más duros (no consolidado) o formaciones rocosas.	5 – 90	10 – 25	15 – 500
Rotación directa de broca o trépano (constante).	Suelos blandos y rocas menos consolidadas (todos).	8 – 45	450	15 – 15,000
Impactos repetitivos de trepano y broca, se levanta y deja caer (percusión).	Suelos más duros o rocosos. (todos).	8 – 60	450	15 – 15,000
Rotación de una broca o trépano por aire comprimido.	Suelos más duros y rocas (consolidados).	15 – 45	250	2,500 – 15,000
Rotación inversa de broca o trépano.	Suelos más duros (no consolidado) o formaciones rocosas.	40 – 120	60	2,500 – 20,000

*Fuente: (Delleur, 2007).*



**Diseño de tubería ciega**, la determinación de este diámetro estuvo vinculada a la producción necesaria y a la tipología de la bomba utilizada. Esta tubería se emplea durante el proceso de perforación con el propósito de proporcionar soporte a las paredes del pozo en formaciones inestables y no consolidadas; Su función principal radica en preservar la integridad estructural, preservar la hermeticidad, impedir la filtración en estratos no deseados, y facilitar la explotación de las capas productivas (INACAL NTP 360.100, 2017).

**Tabla 25.**

*Diámetro mínimo nominal y real de la tubería ciega.*

DIÁMETRO NOMINAL DE LA TUBERÍA (in)	VELOCIDAD DE FUNCIONAMIENTO DE LA BOMBA (rpm)	PROPORCIÓN DE DESCARGA (l/s)	DIÁMETRO REAL DE LA TUBERÍA (in)
8	3500	12 - 76	10
	1800	6 - 38	
	1200	9 - 10	
10	1800	12 - 95	12
	1200	23 - 42	
12	1800	25 - 145	14
	1200	16 - 95	
14	1800	63 - 284	16
	1200	44 - 189	
16	1800	126 - 328	18
	1200	82 - 215	
18	1800	202 - 259	20
	1200	139 - 252	
	900	177 - 189	
20	1200	196 - 278	24
	900	145 - 227	
22	1200	473	24
	900	353	

*Fuente:* (Moss Roscoe, 1990).

Asimismo, es necesario que el diámetro interior de los conductos sea acorde con las dimensiones de los filtros, la dimensión de la bomba y los utensilios de operación (INACAL NTP 360.100, 2017).

La profundidad de la tubería estaba condicionada por diversos factores, tales como la ubicación planificada de la bomba, las características específicas del pozo y la capacidad de descarga deseada (Moss Roscoe, 1990). Además, este parámetro se veía influenciado por las propiedades del acuífero a explotar, siendo común que en acuíferos con material no consolidado se perforara hasta alcanzar su rendimiento máximo. En situaciones donde se presupone la abundancia de un acuífero, la estimación de la columna de agua explotable (Misstear et al., 2017), para un caudal determinado, puede calcularse mediante una fórmula de equilibrio específica a continuación:

$$b = \frac{2Q}{S_w K} \quad \text{Ecuación ( 87 )}$$

Donde:  $b$  es el espesor del acuífero saturado,  $K$  es la permeabilidad o conductividad hidráulica,  $Q$  es el caudal,  $S_w$  se refiere a la disminución del nivel freático del agua (abatimiento).

El diseño del espesor de la tubería tiene como objetivo la capacidad de resistir fuerzas de compresión, tensión y corte, tomando en cuenta el periodo de servicio previsto desde su instalación, comúnmente, con una duración estimada entre 20 y 40 años (Michael et al., 2013). De manera general, el grosor de la tubería se determinaba considerando principalmente el diámetro y, en algunas instancias, también se tomaba en cuenta la profundidad. En circunstancias habituales, era común emplear información proveniente de tablas, como las sugeridas por (American Water Works Association (ANSI/AWWA) A100-97, 1998), las cuales se presentan a continuación:

**Tabla 26.**

*Espesor mínimo requerido para tuberías de acero.*

PROFUNDIDAD DE TUBERÍA	DIÁMETRO NOMINAL DE TUBERÍA									
	in									
	(mm)									
ft (m)	8 (203)	10 (254)	12 (305)	14 (356)	16 (406)	18 (457)	20 (508)	22 (559)	24 (610)	30 (762)
0-100	¼	¼	¼	¼	¼	¼	¼	5/16	5/16	5/16
100-200	(6.35)	(6.35)	(6.35)	(6.35)	(6.35)	(6.35)	(6.35)	(7.94)	(7.94)	(7.94)
(0-30)	¼	¼	¼	¼	¼	¼	¼	5/16	5/16	5/16
(30-60)	(6.35)	(6.35)	(6.35)	(6.35)	(6.35)	(6.35)	(6.35)	(7.94)	(7.94)	(7.94)

200-300	¼	¼	¼	¼	¼	5/16	5/16	5/16	5/16	3/8
300-400	(6.35)	(6.35)	(6.35)	(6.35)	(6.35)	(7.94)	(7.94)	(7.94)	(7.94)	(9.52)
(60-90)	¼	¼	¼	¼	5/16	5/16	5/16	5/16	3/8	3/8
(90-120)	(6.35)	(6.35)	(6.35)	(6.35)	(7.94)	(7.94)	(7.94)	(7.94)	(9.52)	(9.52)
400-600	¼	¼	¼	¼	5/16	5/16	5/16	3/8	3/8	7/16
(120-180)	(6.35)	(6.35)	(6.35)	(6.35)	(7.94)	(7.94)	(7.94)	(9.52)	(9.52)	(11.11)
600-800	¼	¼	¼	5/16	5/16	5/16	3/8	3/8	3/8	7/16
(180-240)	(6.35)	(6.35)	(6.35)	(7.94)	(7.94)	(7.94)	(9.52)	(9.52)	(9.52)	(11.11)
800-1000	¼	¼	¼	5/16	5/16	5/16	3/8	7/16	7/16	½
1000-1500	¼	5/16	5/16	5/16	3/8	3/8	3/8	7/16	*	(12.70)
(300-450)	(6.35)	(7.94)	(7.94)	(7.94)	(9.52)	(9.52)	(9.52)	(11.11)	--	*
(240-300)	(6.35)	(6.35)	(6.35)	(7.94)	(7.94)	(7.94)	(9.52)	(11.11)	(11.11)	--
1500-2000	¼	5/16	5/16	5/16	3/8	3/8	7/16	7/16	*	*
(450-600)	(6.35)	(7.94)	(7.94)	(7.94)	(9.52)	(9.52)	(11.11)	(11.11)	--	--

Fuente: (American Water Works Association (ANSI/AWWA) A100-97, 1998).

**Diseño de rejilla o ademe filtrante**, se aborda la selección de parámetros fundamentales, como la longitud, diámetro, tamaño de abertura, y las consideraciones pertinentes sobre el material metálico a emplear. La determinación de la longitud de la rejilla se basa en factores como el grosor del acuífero, su estratificación y la posible variación dinámica del nivel del agua. En términos generales, se busca maximizar la longitud de la rejilla siempre que sea posible. En acuíferos libres homogéneos de considerable espesor, se recomienda que la longitud de la rejilla represente entre la mitad y un tercio del grosor del acuífero, instalándola a partir de la base impermeable. En acuíferos homogéneos confinados, la longitud óptima de la rejilla varía entre el 70% y el 80% del espesor del acuífero, colocándola en posición central. Para acuíferos estratificados, se aconseja situar la rejilla frente a los estratos más permeables, ajustando su ubicación de acuerdo con la estratificación identificada. Este enfoque metodológico garantiza una adaptación precisa a las condiciones específicas del acuífero, maximizando la eficiencia del sistema de filtrado en la captación de agua subterránea.

$$L = \frac{Q}{A_0 * A_p} \quad \text{Ecuación ( 88 )}$$

Donde:  $L$  es la longitud ideal de la rejilla,  $Q$  expresa el caudal medido en  $m^3/s$ ,  $A_0$  indica la superficie abierta en  $m^2$  por metro de longitud de la rejilla,  $A_p$  velocidad ideal de ingreso en metros por segundo.

**Tabla 27.**

*Velocidades ideales para el flujo de agua a través de la rejilla.*

<b>K (m/día)</b>	<b>V (cm/s)</b>
>240	6
240	5.5
200	5
160	4.5
120	4
100	3.5
80	3
60	2.5
40	2
20	1.5
<20	1

*Conductividad hidráulica (K) y velocidades ideales para el flujo de agua a través de la rejilla (V). Fuente: (Johnson, 1966).*

La dimensión de la ranura del filtro se determinaba considerando la distribución de tamaños de diámetro del prefiltro. En el caso de pozos equipados con un paquete de grava filtrante, el diseño de la apertura del filtro se ajustaba de acuerdo con la granulometría mínima del prefiltro. Cuando el coeficiente de uniformidad es mayor a 3 y menor igual que 6, se trata de un acuífero de grano uniforme, si el coeficiente de uniformidad es mayor a 6, se trata de un acuífero de grano no uniforme.

**Tabla 28.**

*Posicionamiento del filtro (rejilla) en diferentes categorías de acuíferos.*

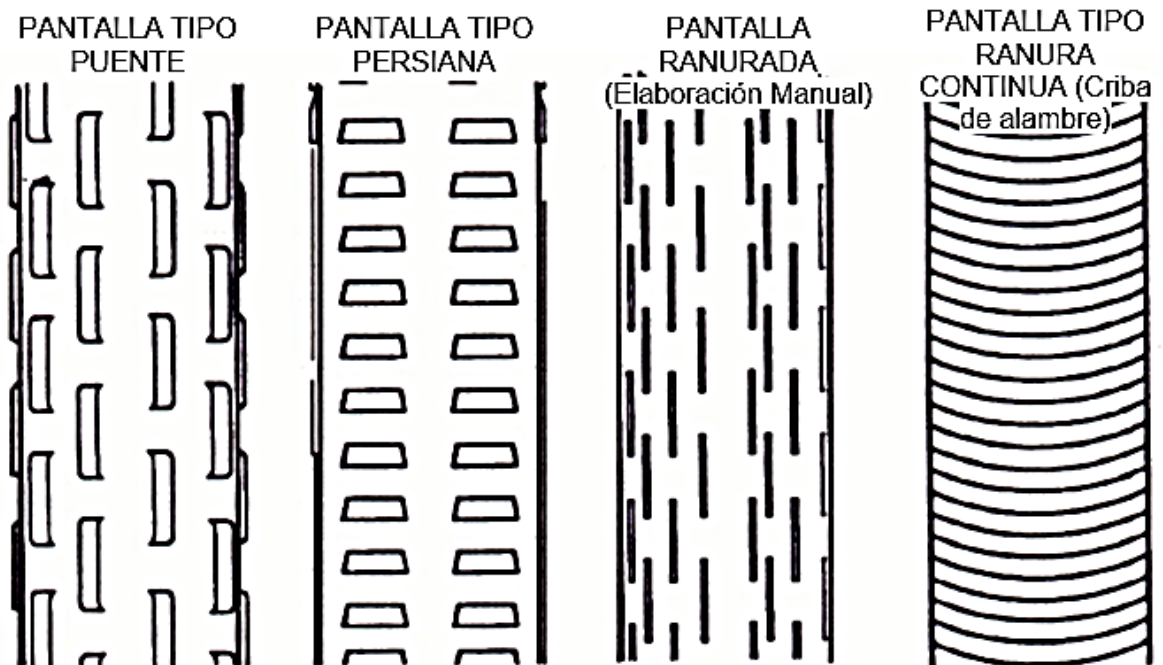
<b>CATEGORÍAS DE FORMACIONES ACUÍFERAS</b>	<b>PROPORCIÓN DE FILTRACIÓN EN RELACIÓN CON EL GROSOR DEL ACUÍFERO</b>	<b>POSICIONAMIENTO DEL FILTRO DENTRO DEL ACUÍFERO.</b>
Libre o confinado (uniforme)	33%	La parte inferior en tercios del acuífero

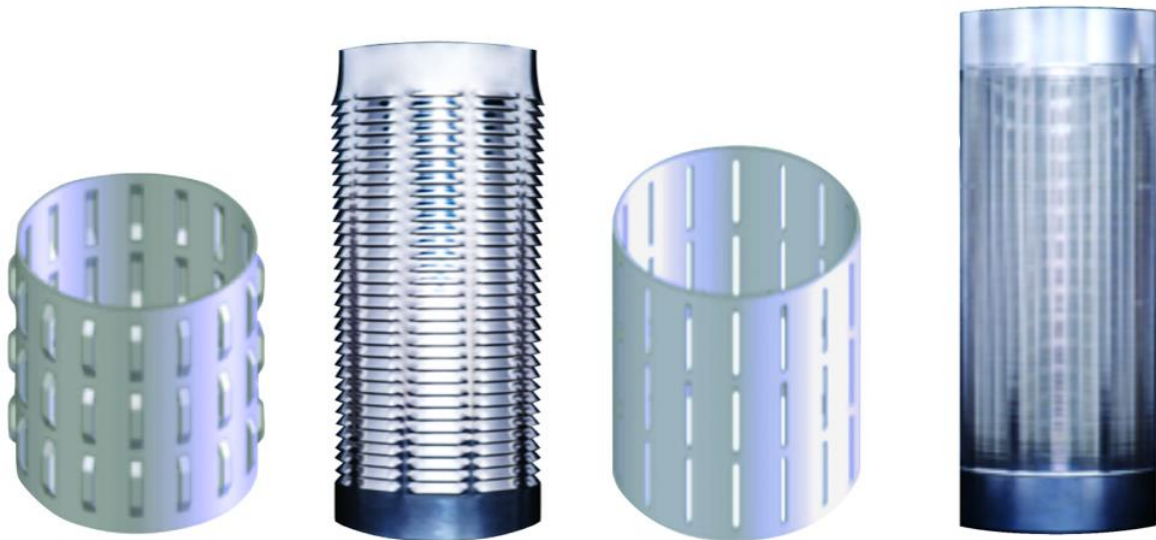
Libre o no confinado (no uniforme)	33 – 55 %	Región inferior de la capa con mayor permeabilidad
Confinando artesiano (uniforme)	60 – 80 % Un menor porcentaje en grosores de 4 a 8 metros y un mayor porcentaje en grosores superiores a 20 metros	Centro del Acuífero
Confinando artesiano (no uniforme)		Centro de la capa con mayor permeabilidad

Fuente: (Johnson, 1966).

**Figura 67.**

*Tipos de rejillas*





*Fuente:* (Johnson, 1966).

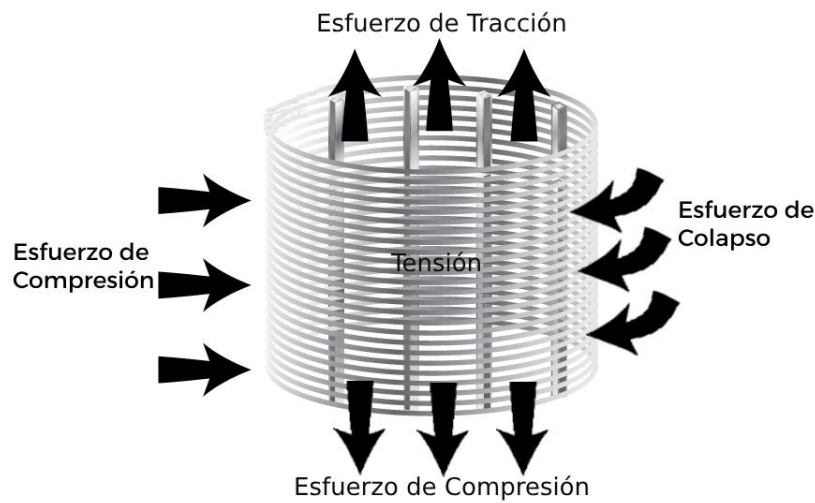
Enfatizando que la resistencia del material del filtro estaba expuesta a la corrosión, condición que disminuía su eficacia hasta llegar eventualmente a un punto de fallo, se estableció como criterio para la elección del material del filtro la realización de un análisis químico del agua subterránea. De acuerdo con las directrices, los materiales más frecuentemente empleados en la confección de filtros y tuberías fueron el acero inoxidable y el acero al carbono. El acero inoxidable se prefería para aguas con un pH entre 5 y 8, mientras que el acero al carbono se utilizaba en aguas con un pH entre 6 y 8. Esta elección se fundamentaba en la compatibilidad química de los materiales con las características particulares del agua subterránea, asegurando así la resistencia y eficiencia a largo plazo del sistema de filtración (Moss Roscoe, 1999).

En la situación específica de Perú, las directrices indican que la elección del filtro debe determinarse posterior a la comprensión de las características litológicas del acuífero, tales como el grosor de las capas saturadas, las presiones y la productividad (INACAL NTP 360.101, 2018).

La capacidad del filtro para resistir tanto la compresión como la tracción se encuentra relacionada de manera directa con el límite elástico del material empleado en la confección de la malla. Asimismo, la resistencia al colapso está en proporción al módulo de elasticidad (E) del material utilizado (Sterrett, 2007).

### Figura 68.

*Esfuerzos aplicados al filtro.*



*Fuente:* ((Moss Roscoe, 2021a)).

Respecto a las dimensiones de la abertura, el criterio utilizado para elegir el tamaño de la abertura del filtro se basa en el coeficiente de uniformidad ( $C_u$ ). Este coeficiente representa la relación entre el 60% del material fino y el 10% del material fino, y se determina mediante un análisis de tamizado (American Water Works Association (AWWA), 2014).

La dimensión de la abertura del filtro estará condicionada por la aplicación específica, ya sea en el contexto de una envoltura de grava o en pozos desarrollados de manera natural. En el caso de la envoltura de grava, se aconseja que únicamente un porcentaje entre el 10% y el 20% del material acceda al pozo, estableciendo así pautas para garantizar un rendimiento óptimo en la operación hidrogeológica (Moss Roscoe, 2021a).

Además, (American Water Works Association (ANSI/AWWA) A100-06, 2006), propone que las aberturas deben ser calculadas de manera que retengan al menos el 85% del material contenido en el paquete de grava. Además, se sugiere que el diseño de las aberturas debe ir acompañado de un adecuado desarrollo del paquete de grava para garantizar una producción óptima.

Cabe señalar que la sobredimensión de las aberturas ocasiona complicaciones con el acarreo continuo de finos, dificultando la obtención de agua de calidad. De manera inversa, un subdimensión conlleva una mayor resistencia al flujo,

resultando en pérdidas de carga y corrosión en la zona. En términos generales, las dimensiones de las aberturas oscilan entre 0.2 mm y 5 mm, debiendo ser posteriormente contrastadas con la granulometría del acuífero (Michael et al., 2013).

En relación al porcentaje de apertura de la rejilla o filtro, este guarda una conexión directa con su velocidad de ingreso. El área de apertura debe situarse en un rango del 3% al 5%, logrando de esta manera alcanzar velocidades comprendidas entre 60 y 120 centímetros por segundo. En el caso de pozos desarrollados de manera natural, es posible determinar el porcentaje de área mediante la aplicación de la siguiente ecuación:

$$O_A \% = \left( \frac{s}{s + w} * 100 \right) \quad \text{Ecuación ( 89 )}$$

Donde: “ $O_A$  %” señala el porcentaje de apertura de área, “s” es la dimensión de la abertura medido en milímetros, “w” indica el ancho de la cara del alambre medido en milímetros.

En el caso de pozos que cuentan con envoltura de grava, se aplica la ecuación siguiente:

$$O_A \% = \left( \frac{w * n * sl}{kD} * 100 \right) \quad \text{Ecuación ( 90 )}$$

Donde: “ $O_A$  %” señala el porcentaje de apertura de área, “sl” es la longitud de la abertura medido en milímetros, “w” indica el tamaño de la abertura medido en milímetros, “n” representa la cantidad de aberturas por unidad de longitud, “D” indica el diámetro externo del filtro medido en milímetros y el coeficiente “k” tiene un valor de 37.7 en el sistema U.S. y de 957.5 en el sistema internacional (S.I.).

En contraste la (American Water Works Association (ANSI/AWWA) A100-97, 1998) especifica que la proporción de área abierta debía asegurar que la velocidad no superara los 3.05 centímetros por segundo (0.0305 m/s ó 0.1 ft/s). Mediante esta velocidad, se aseguraba un flujo laminar con el propósito de prevenir pérdidas por fricción en el interior del filtro. La determinación de esta velocidad se realizaba mediante el uso de la ecuación detallada a continuación (Sterrett, 2007):



$$V = \frac{Q}{235 * r * b * P}$$

Ecuación ( 91 )

Donde: “V” representa la velocidad de ingreso al filtro medido en pies por segundo, “Q” es el caudal medido en galones por minuto, “r” indica el radio del filtro medido en pulgadas, “b” representa la longitud del filtro medido en pies y “P” indica la proporción de superficie abierta del filtro medido en porcentaje.

En lo que respecta a la disposición del filtro, este podría ser posicionado en la parte inferior del acuífero, alcanzando incluso la mitad de este, dependiendo de las condiciones específicas del entorno local. Esta estrategia se adoptaba con el objetivo de optimizar la capacidad de producción del acuífero durante la investigación hidrogeológica (Michael et al., 2013). Y en el contexto de acuíferos constituidos por materiales heterogéneos, se observa que la disposición de los filtros en las áreas de mayor permeabilidad requiere una consideración detallada de la litología del acuífero (US Army Corps of Engineers, 2012).

La determinación de una longitud mínima conlleva la necesidad de evaluar la velocidad de entrada a través de las aberturas, asegurándose de que esta sea inferior al umbral permisible (Michael et al., 2013).

En la tarea de establecer las dimensiones apropiadas para la longitud del filtro, se procedió siguiendo las directrices de la (American Water Works Association (ANSI/AWWA) A100-97, 1998). La determinación de esta longitud se llevó a cabo mediante la aplicación de la fórmula expresada en la ecuación siguiente, según lo especificado en el proceso de investigación hidrogeológica.

$$L = \frac{Q}{7.48 * V_e * A_e}$$

Ecuación ( 92 )

Donde: “L” hace referencia a la longitud del filtro expresado en pulgadas o pies, “Q” denota el caudal medido en galones por minuto, “Ae” representa el área abierta efectiva por cada pie de filtro, y “Ve” representa la velocidad de entrada medida en pies por segundo.

No obstante, los esfuerzos significativos del filtro están condicionados por factores como su diámetro, el espesor de la pared y las dimensiones de las ranuras. El filtro

experimenta su resistencia ante los esfuerzos actuantes a través de la influencia de factores como el módulo de elasticidad del material, el momento de inercia de la envoltura, así como el diámetro y las dimensiones de la ranura (Sterrett, 2007).

$$C_{lp} = \frac{24EI}{(1 - \nu^2)(w + s)D^3} \quad \text{Ecuación ( 93 )}$$

$$I = \frac{WT^3}{12} \quad \text{Ecuación ( 94 )}$$

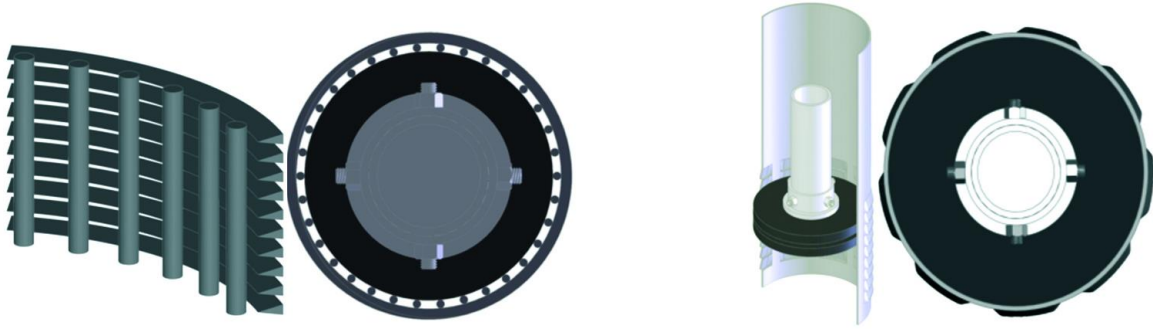
Donde: “*I*” denota el momento de inercia (mm<sup>4</sup> o in<sup>4</sup>), “*E*” indica el módulo de elasticidad (lb/pulg<sup>2</sup> o PSI), “*C<sub>lp</sub>*” indica la resistencia de la rejilla expresada en PSI o kPa, “*ν*” indica el coeficiente de Poisson, “*w*” indica el ancho de la cara del alambre, “*s*” expresa la amplitud de la abertura (mm o in) y “*D*” indica el diámetro exterior del filtro (mm o in).

Valga indicar que, la rejilla estilo persiana (Louver), caracterizada por sus aberturas con forma de persianas horizontales, se distingue por su densidad en la dirección vertical, otorgando así una resistencia más robusta, ante los esfuerzos actuantes. La rejilla persiana (Louver) exhibe un aumento del 60% en su resistencia en aquellas configuraciones que ofrecen una mayor apertura por unidad de superficie (Moss Roscoe, 2021b). La capacidad de resistencia de la rejilla tipo persiana (Louver) puede ser determinada utilizando el enfoque de Timoshenko, de manera similar a la aplicada en tuberías ciegas (Sterrett, 2007).

Durante la ejecución del pozo, para lograr un desarrollo eficiente, era esencial contar con una superficie interna completamente circular y lisa que facilitara el desplazamiento del pistón, asegurando así un efecto de émbolo efectivo y eficiente (List, 1983). Es importante señalar que, en filtros con soporte estructural formado por varillas longitudinales, conocidas como filtros de ranura continua CWW (Continuous Wire Wrap), se observaba una notable reducción en el efecto del pistón. En contraste, la rejilla o filtro tipo persiana (Louver), al presentar un interior liso, permitía un sellado óptimo entre el pistón y la tubería, posibilitando la expulsión total del 100% de la energía a través de las aberturas. Esto facilitaba alcanzar plenamente la grava y las paredes de perforación, generando así una estimulación completa del acuífero (Moss Roscoe, 2021b).

### Figura 69.

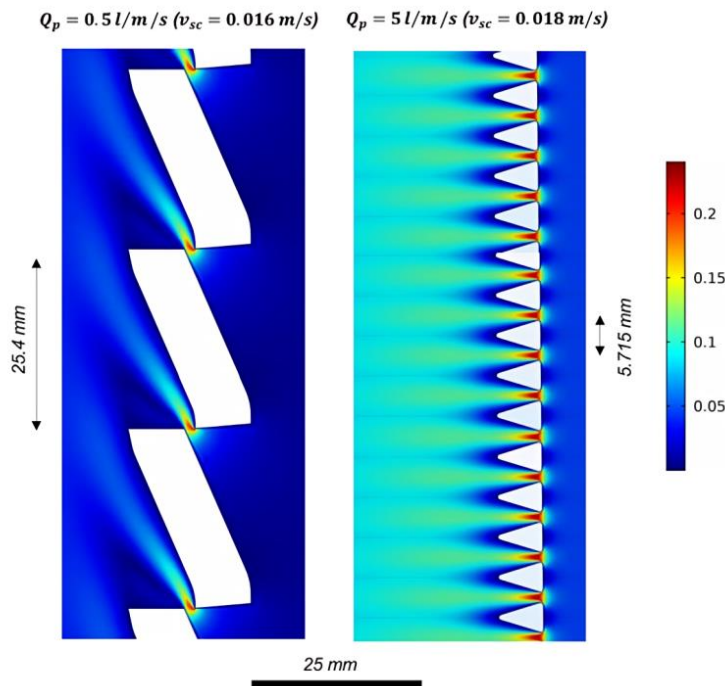
Influencia del pistón (embolo) en función del tipo de filtro.



En la imagen izquierda se muestra el filtro de ranura continua, donde las varillas disipan la presión del pistón, mientras que en la imagen derecha se observa el filtro tipo persiana (Louver), caracterizado por facilitar un sellado efectivo entre el embolo y la tubería (Moss Roscoe, 2021b).

### Figura 70.

Comparación de las fuerzas generadas por turbulencia entre una rejilla tipo persiana y una rejilla metálica horizontal (ranura continua).



Se observa claramente la intensidad de la turbulencia en la rejilla metálica, donde el cambio del flujo de dirección horizontal a vertical ocasiona un nivel considerablemente más elevado de turbulencia en contraste con la dirección ascendente del flujo en la trama de la rejilla (Mcgillicuddy & Moss Roscoe Company, 2019).

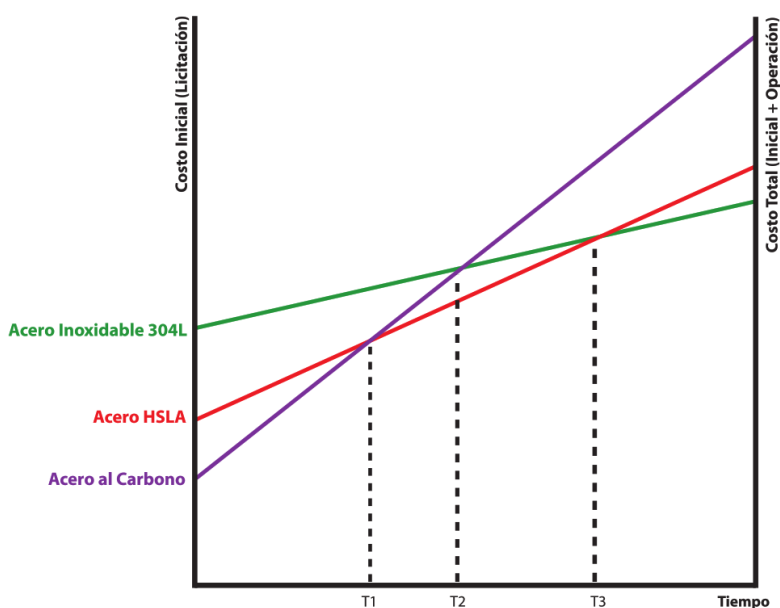
Las tuberías de acero producidas de acuerdo con la norma ASTM A139, específicamente diseñada para aplicaciones en pozos de agua profundos e incluyendo un factor de elipticidad, han sido subestimadas en cuanto a la importancia de este factor para la resistencia al fallo (colapsar). No obstante,

gracias a esta normativa de elaboración y a la geometría particular de la rejilla tipo persiana (Louver), la cual induce corrugaciones en el tubo, se logra un sustancial aumento en la resistencia al colapso. Esto posiciona a la rejilla Louver como líder en PSI en el mercado actual (Moss Roscoe, 2021b).

En lo que respecta al desembolso inicial por la rejilla, resulta imperativo considerar la repercusión de los gastos adicionales en relación con el costo global del pozo, su montaje y, especialmente, los costos asociados a su operación y mantenimiento. Aunque el filtro tipo persiana (Louver) podría presentar uno de los precios iniciales más elevados al comparar materiales similares, la disparidad en costos se ve ampliamente compensada por los ahorros generados en la operación, mantenimiento y la considerablemente mayor vida útil del pozo (Moss Roscoe, 2021b).

### Figura 71.

*Comparativo costo inicial vs. Tiempo según material de rejilla o filtro.*



*Fuente:* (Moss Roscoe, 2021b)

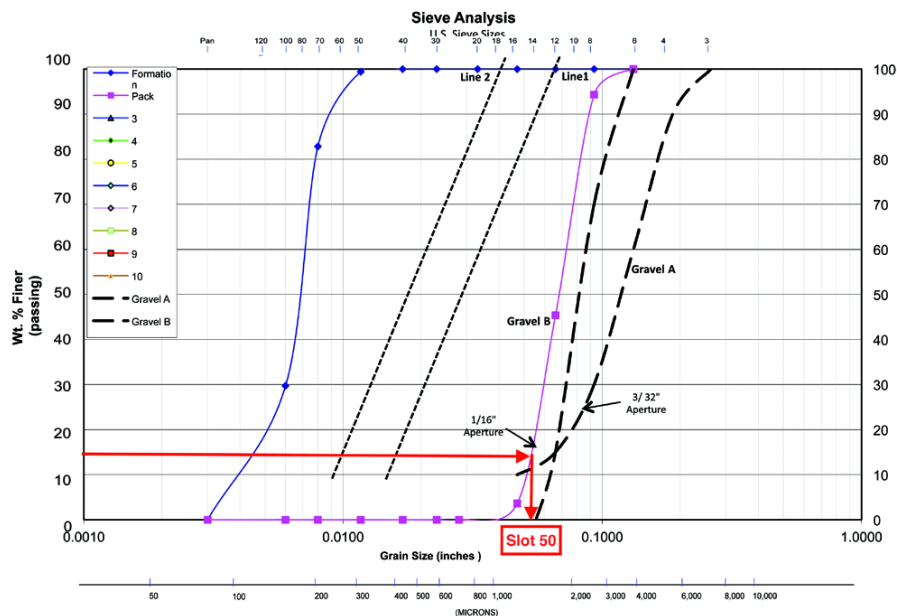
Se pueden clasificar las rejillas en dos categorías principales: aquellas fabricadas de manera artesanal con niveles de calidad de manufactura más bajos, como las de ranura abierta con máquina o soplete y tipo puente; Y las rejillas diseñadas de manera ingenieril, como las del tipo persiana (Louver) y espiral continua. De este último, se espera que los pozos tengan una extensa vida operativa. Para asegurar

este prolongado rendimiento, es necesario emplear una rejilla de pozo que sea resistente y eficiente desde el punto de vista hidráulico.

Para tal efecto, se debía seguir una serie de procedimientos específicos: a) Tomar muestras que reflejen de manera precisa el estado del agujero cada 3 metros de profundidad en la perforación; b) Realizar un análisis granulométrico adecuado a partir de las muestras obtenidas para identificar las características inherentes de las formaciones acuíferas; c) Elegir el pre filtro (conjunto de grava) apropiado para estabilizar la formación acuífera basándose en la curva granulométrica; d) Seleccionar la abertura de la rejilla adecuada para detener la grava del pre filtro.

**Figura 72.**

Gráfica de granulometría comúnmente utilizada para determinar la apertura requerida de la rejilla.



Fuente: (Moss Roscoe, 2021b).

**Tabla 29.**

Elección de la rejilla conforme a los requisitos específicos.

TIPO	USO PARTICULAR	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Rejilla continua	<ul style="list-style-type: none"> <li>Elaborada para su implementación en pozos de poca profundidad, donde se extrae un acuífero estrecho, pero de alta productividad.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Reducida obstrucción de las aberturas.</li> <li>Proporciona aberturas inferiores a 1,00 mm, diseñadas para acuíferos arenosos excepcionalmente finos y altamente productivos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Reducida susceptibilidad al colapso.</li> <li>La estructura es susceptible a la corrosión anticipada o a la incrustación debido a su elevada superficie expuesta.</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Perfecta para acuíferos con granularidad fina (inferior a 1,00 mm de apertura).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Máxima superficie descubierta por cada metro lineal.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ La configuración interna no posibilita el desarrollo mediante pistón.</li> <li>▪ Mantenimiento, limpieza y desarrollo complicados.</li> </ul>
Rejilla puente	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Concebida para su implementación en pozos poco profundos donde se utilizará un empaque de grava (prefiltro).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Menor costo en comparación con la Rejilla Continua y la Rejilla tipo persiana.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ No está concebido para pozos que carecen de prefiltro.</li> <li>▪ Escasa susceptibilidad al colapso.</li> <li>▪ Complicada gestión de partículas finas y entrada de arena al pozo.</li> <li>▪ Fragilidad de la estructura que conforma la abertura.</li> </ul>
Rejilla persiana	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Adecuado para pozos profundos de amplio diámetro donde se colocará el pre filtro seleccionado.</li> <li>▪ Dada la diversidad de aceros disponibles, se evalúa en la planificación de pozos donde se busca una prolongada durabilidad.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Optimiza la gestión del prefiltro y reduce al mínimo la penetración de arena y partículas finas en el pozo.</li> <li>▪ Escasa tendencia a la obstrucción de las aberturas.</li> <li>▪ Resistencia máxima al colapso.</li> <li>▪ La superficie interna suave posibilita la limpieza mediante el método de pistón, simplificando el desarrollo inicial.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ No se encuentran disponibles aberturas inferiores a 1,00 mm.</li> </ul>
Rejilla ranurada	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Empleados en pozos donde las piezas se introducen mediante impacto o golpes.</li> <li>▪ Utilizados en pozos donde se anticipa un caudal muy reducido.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Las aberturas pueden ser realizadas en tubos de considerable grosor (puesto que serán hincados).</li> <li>▪ El costo de producción es reducido al mínimo.</li> <li>▪ Es posible fabricarlo en cualquier ubicación.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Pronunciada tendencia a la obstrucción.</li> <li>▪ Limitada capacidad para soportar colapsos.</li> <li>▪ Complicado manejo de partículas finas y prevención de la entrada de arena al pozo.</li> </ul>

Fuente:(Moss Roscoe, 2021b).

Los pozos que incorporaban un sistema de empaque de grava eran, y siguen siendo, comúnmente identificados como eficientes y exentos de problemas de arena. A pesar de esta percepción, es crucial aclarar cinco conceptos erróneos asociados con esta práctica: **1) “Dado su incremento en área abierta, se necesita una cantidad menor de rejilla para lograr el mismo caudal de agua”**, Aunque la premisa podría parecer válida, resulta incorrecta al aplicarse a condiciones hidrogeológicas presentes en áreas con depósitos extensos de relleno aluvial. En estos acuíferos, el área abierta no es un factor determinante para la producción. En tales circunstancias, lo crucial es instalar la mayor cantidad posible de rejilla dentro de las zonas saturadas del acuífero. **2) “La velocidad de entrada**

**a través de las ranuras no debe superar los 3.05 centímetros por segundo”,** la selección de dicho valor fue arbitraria y con el tiempo ha sido completamente desacreditada. Basándose en un estudio exhaustivo, la (American Water Works Association (ANSI/AWWA) A100-97, 1998) determinó que la velocidad puede oscilar entre 3.05 y 45.72 centímetros por segundo (0.1 a 1.5 ft/s). En un pozo diseñado y construido adecuadamente, la velocidad de entrada a través de las rejillas no es un aspecto crítico para la eficiencia, siempre y cuando no supere los 0.6 a 1.2 metros por segundo (4 a 6 ft/s). Para alcanzar eficiencias superiores al 90%, era esencial contar con una superficie abierta en la rejilla de solo un 3% a 5%, o mantener una velocidad de ingreso inferior a 1,2 metros por segundo. **3) “Un incremento en el área abierta de la rejilla resultará en una mayor producción de agua”,** Es verdad que la rejilla de ranura continua posee una mayor área abierta en comparación con la rejilla persiana (Louver). No obstante, es igualmente cierto que ambas rejillas tienen una capacidad hidráulica equiparable. Con mayor área abierta, no se traduce automáticamente en una mayor disponibilidad de agua. La capacidad productiva de un pozo se encuentra intrínsecamente ligada a las particularidades del acuífero, así como al diseño y desarrollo apropiado del mismo.

### **Figura 73.**

*Detalle de abertura en rejilla tipo persiana.*



*A la izquierda se tiene una abertura de 1 milímetro, y a la derecha se tiene una abertura de 3.8 milímetros. Fuente: (Moss Roscoe, 2021b).*

Ciertamente, un pozo optimiza su eficiencia de bombeo al incorporar una rejilla con un área abierta que oscile entre el 3% y el 5%. Investigaciones especializadas han demostrado que cualquier aumento en el área abierta más allá del 5% no aporta

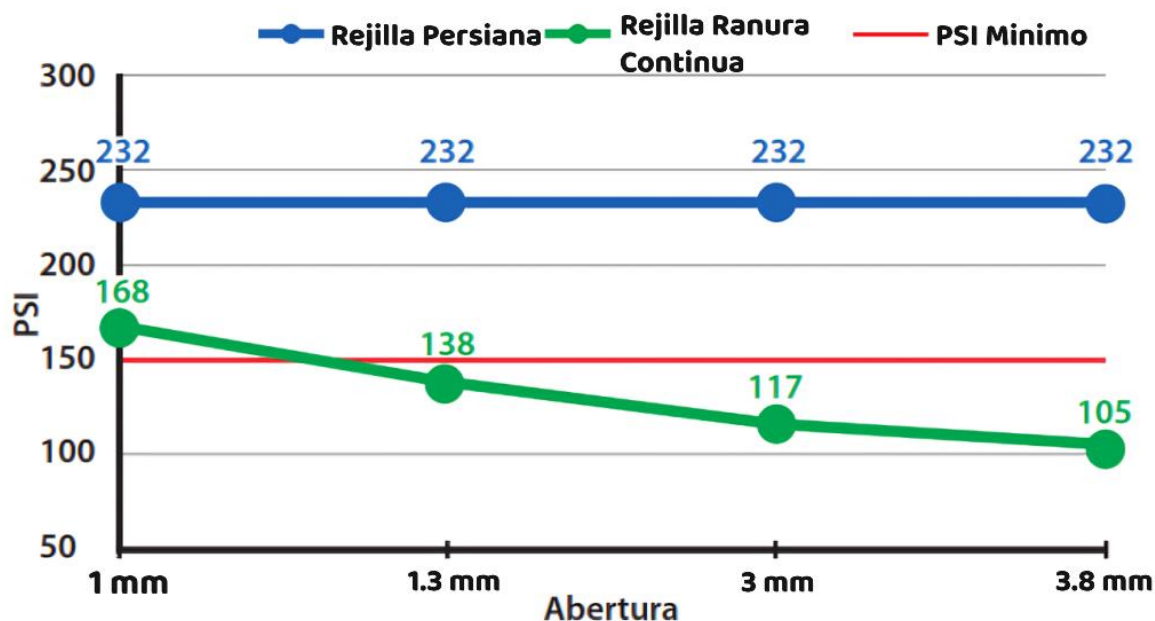
mejoras significativas en la eficacia ni en la capacidad hidráulica de un pozo. La eficacia de un pozo se encuentra determinada principalmente por: a) La calidad de la grava utilizada durante la instalación y por la proporción entre el tamaño de la grava y las características del acuífero, b) La calidad del lodo empleado, debiendo preservar su viscosidad durante el proceso de perforación, así como en la instalación y disposición de la grava, c) El adecuado desarrollo hasta su etapa final, destinado a fracturar la barrera de lodo endurecido, realizar la limpieza de la grava, eliminar los sedimentos finos y restablecer la conductividad hidráulica del acuífero.

**4) “Una reducción en la apertura de la rejilla se encarga de gestionar eficazmente la presencia de arena y los inconvenientes asociados a su ingreso en el pozo”**, La verdadera regulación de la presencia de arena se logra mediante el empaque de grava dispuesto alrededor de la rejilla, a tal efecto, a) Las dimensiones adecuadas del empaque de grava deben ajustarse proporcionalmente a las del acuífero. Es esencial que la grava presente una forma redondeada, uniformidad en su tamaño y un contenido elevado de sílice. b) Disponer la grava de manera homogénea alrededor de toda la circunferencia de la rejilla. c) La abertura de la rejilla debe ajustarse de manera que permita el 20% recomendado de partículas que atraviesan la misma. **5) “Las disparidades en la estructura de la rejilla carecen de relevancia”**, una rejilla de tipo persiana, fabricada a partir de una lámina sólida de acero, resistirá de manera efectiva los procesos de desarrollo y rehabilitación a lo largo del tiempo. Por otro lado, una rejilla de tipo ranura continua, compuesta por alambre unido parcialmente a varillas, podría sufrir daños durante procesos vigorosos de desarrollo y rehabilitación, comprometiendo la integridad del pozo. Adicionalmente, en la rejilla de tipo persiana (Louver), la ampliación de la abertura no implica pérdida de material durante la perforación, preservando así su resistencia y coste. Por otro lado, en la rejilla de ranura continua, a medida que aumenta el tamaño de la abertura, se reduce la cantidad de acero en su estructura, generando un impacto directo y negativo en su resistencia al colapso o PSI (Moss Roscoe, 2021b).



**Figura 74.**

*Correlación entre la resistencia y las dimensiones de la abertura.*



*Fuente:* (Moss Roscoe, 2021b).

En el contexto de las rejillas de ranura continua, se tomaba en cuenta una velocidad máxima de ingreso de agua a través de las ranuras de 0.03 m/s, una cifra respaldada y mantenida por la mayoría de las empresas especializadas cuyo producto principal o único eran este tipo de rejillas. En el caso de la rejilla tipo persiana (Louver), se tenía en cuenta una velocidad máxima de entrada de agua de 0.45 m/s, una recomendación respaldada por Roscoe Moss Company y también adoptada por la (American Water Works Association (ANSI/AWWA) A100-97, 1998).

Es importante señalar que investigaciones realizadas por destacados estudiosos como (Williams & Moss Roscoe, 1985), junto con la experiencia práctica, han evidenciado que, a velocidades considerablemente superiores, específicamente a 1,2 m/s, la eficacia del pozo alcanza un 97% (Moss Roscoe, 2021b).

Respecto a la **tensión aplicada en la rejilla**, la resistencia mínima a la tracción de la rejilla debe ser suficiente para soportar las cargas de material que se generaron durante el proceso de desarrollo (Sterrett, 2007). Comúnmente, se instala la rejilla en el estrato con permeabilidad en el acuífero, por lo que en los estratos donde la permeabilidad es baja, se utiliza una tubería ciega en su lugar (Moss Roscoe, 1990).

En el contexto de la rejilla de ranura continua, la evaluación de la resistencia a la tracción se lleva a cabo mediante la consideración de la superficie transversal de las varillas longitudinales, como se expone en la ecuación que se detalla a continuación (Sterrett, 2007).

$$T_s = N_f * E_w * Y * (0.7854 * dr^2) \quad \text{Ecuación ( 95 )}$$

Donde: “ $T_s$ ” expresa la tensión del filtro cuya unidad de medida es la libra o kilogramo, “ $N_f$ ” indica la cantidad de varillas de apoyo, “ $E_w$ ” expresa el coeficiente de protección con unidad de medida en porcentaje (generalmente del 85%), “ $Y$ ” indica la resistencia a la fluencia del material y “ $dr$ ” indica el diámetro de la varilla de apoyo medido en pulgadas o milímetros según corresponda.

En el ámbito de las rejillas, específicamente en las variantes tipo persiana (Louver) y tipo puente, la resistencia a la tracción se expresa mediante la siguiente ecuación (Sterrett, 2007):

$$T = \pi(D - t) * t * Y * \left( \frac{\pi * (D - t) - (l * n)}{\pi * (D - t)} \right) \quad \text{Ecuación ( 96 )}$$

Donde: “ $T$ ” Expresa la tensión del filtro cuya unidad de medida es la libra o kilogramo, “ $D$ ” indica el diámetro exterior medido en pulgadas o centímetros, “ $t$ ” representa el grosor de la pared medido en pulgadas o centímetros, “ $Y$ ” expresa el límite elástico (fluencia) según composición del material, “ $l$ ” indica la extensión de la apertura medido en pulgadas o centímetros y “ $n$ ” indica la cantidad de aberturas por fila.

**Análisis granulométrico**, es la granulometría y distribución del tamaño de partículas de los materiales encontrados durante la etapa de perforación. Este análisis resultó crucial para identificar el tipo de material acuífero presente y para planificar la colocación del material adecuado alrededor del pozo, conocido como paquete de grava o filtro de grava (Johnson, 1966).

**Tabla 30.**

*Dimensiones de las aberturas empleadas en el análisis de granulometría*

NUMERO DE MALLA	ABERTURA
-----------------	----------

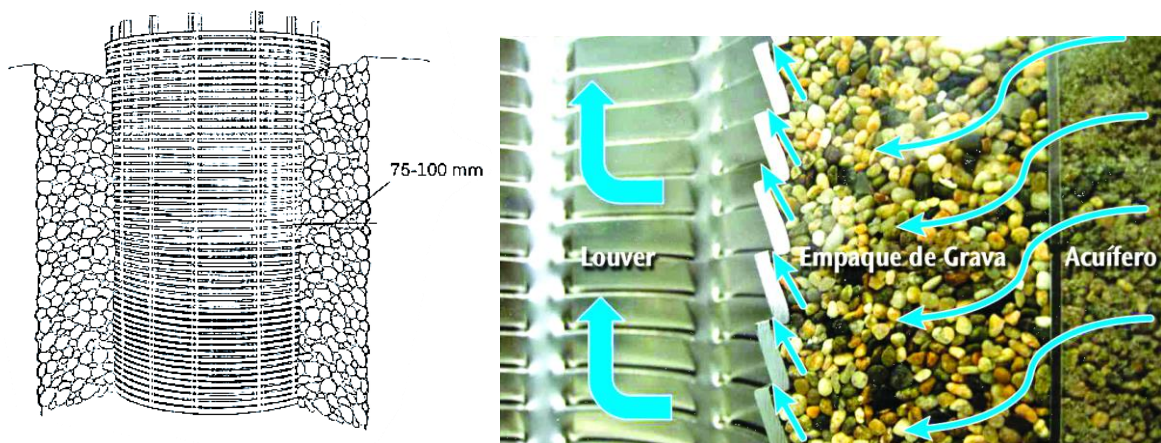
	pulgadas	mm
3 in	3.0000	76.200
2 in	2.0000	50.800
1 1/2 in	1.5000	38.100
1 in	1.0000	25.400
3/4 in	0.7500	19.050
1/2 in	0.5000	12.700
3/8 in	0.3750	9.525
#04	0.1875	4.760
#10	0.0787	2.000
#20	0.0331	0.841
#30	0.0234	0.595
#40	0.0165	0.420
#60	0.0098	0.250
#100	0.0059	0.149
#200	0.0029	0.074

Fuente: (Johnson, 1966).

**Filtro de grava**, es un prefiltro conformado por una granulometría de grava seleccionada y dispuesta en el espacio anular, ubicado entre la rejilla y la pared del pozo.

### Figura 75.

Sección transversal del filtro de grava



Corte transversal de la porción de un pozo que presenta una rejilla con el filtro de grava. Fuente: Roscoe Moss Company.

Se clasifica en dos categorías: (a) Estabilizador de formación, que tiene como objetivo llenar el espacio anular entre la perforación y la tubería en estratos que

presenten inestabilidad, con el fin de prevenir desprendimientos; y (b) Paquete de filtro, utilizado cuando las características del acuífero sugieren la posible presencia de arena durante el proceso de descarga. En este caso, se seleccionará la grava de manera que permita el ingreso mínimo al pozo (Moss Roscoe, 1990).

La propuesta de Terzhagi (1996), expresada mediante la siguiente ecuación, consistió en incorporar en la base de la presa un lecho filtrante compuesto por granulados que tenía la capacidad de retener los finos a la vez que permitía la filtración. Este enfoque, que se basa en el comportamiento similar de la grava en los pozos, se utiliza como criterio en el diseño de la envoltura.

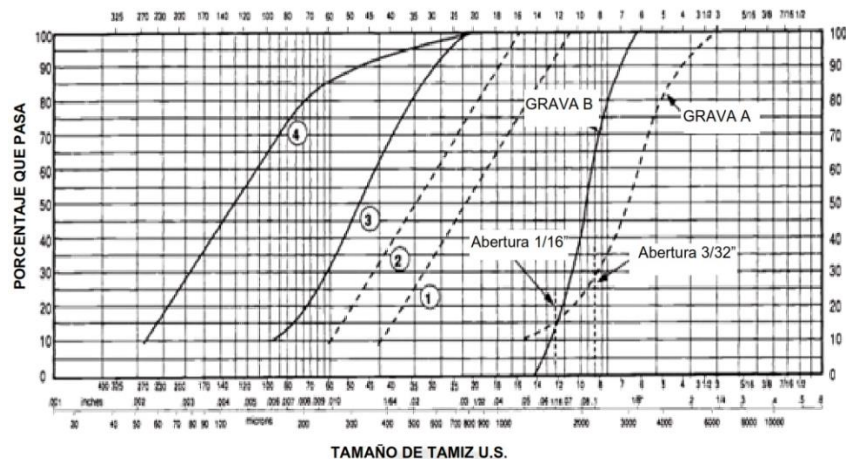
$$\frac{d_{15}(grava)}{d_{85}(formación)} < 4 < \frac{d_{15}(grava)}{d_{15}(formación)} \quad \text{Ecuación ( 97 )}$$

(Sterrett, 2007) delineó una serie de procedimientos para la concepción de la envoltura de grava, los cuales se detallan a continuación: **1)** Seleccionar los estratos sujetos a filtración y llevar a cabo evaluaciones de tamizado para las formaciones. **2)** Establecer la distribución granulométrica del lecho filtrante con base en los análisis de la capa que contiene material fino. **3)** Se realiza el producto del 70% del tamaño de sedimento retenido por un factor que varía entre 3 y 8, dependiendo del tipo de formación geológica en consideración, en el caso de arenas no consolidadas, se recomienda emplear un factor que oscile entre 4 y 6, en el caso de que la formación sea homogénea y el 40% del tamaño de sedimento retenido sea de 0.254 milímetros, se aconseja aplicar un factor que varíe entre 3 y 6, si el acuífero es de naturaleza semi consolidada o no consolidada y contiene limos y arcillas, se recomienda utilizar un multiplicador que oscile entre 6 y 8, en el caso de que se presentaran problemas de producción de arenas durante la operación de bombeo, se recomienda tener en cuenta un factor de 8 o superior. **4)** Colocar el resultado obtenido en el análisis granulométrico como el punto inicial en la curva granulométrica, ya que este será el primer punto que debe cumplir la distribución granulométrica del prefiltro. **5)** mediante el punto de partida, se lleva a cabo la representación gráfica de las curvas granulométricas del material, procurando que el coeficiente de uniformidad se sitúe alrededor de 2.5 o menos. **6)** En el paso final del proceso, se elige la dimensión de la ranura de manera que

asegure la retención del 90% o más de las partículas presentes en el prefiltro (grava) (Sterrett, 2007).

**Figura 76.**

*Curva granulométrica típica del acuífero y pre filtro.*



*Fuente:* (Moss Roscoe, 1990).

El material preferido para el prefiltro es la roca silíceá redondeada, que debe estar limpia y exenta de arcillas, limos y material orgánico para garantizar su durabilidad y eficacia (Sterrett, 2007). El (American Water Works Association (ANSI/AWWA) A100-06, 2006), definió un coeficiente de uniformidad estándar para el prefiltro, el cual no debe superar el valor de 2.5.

**Tabla 31.**

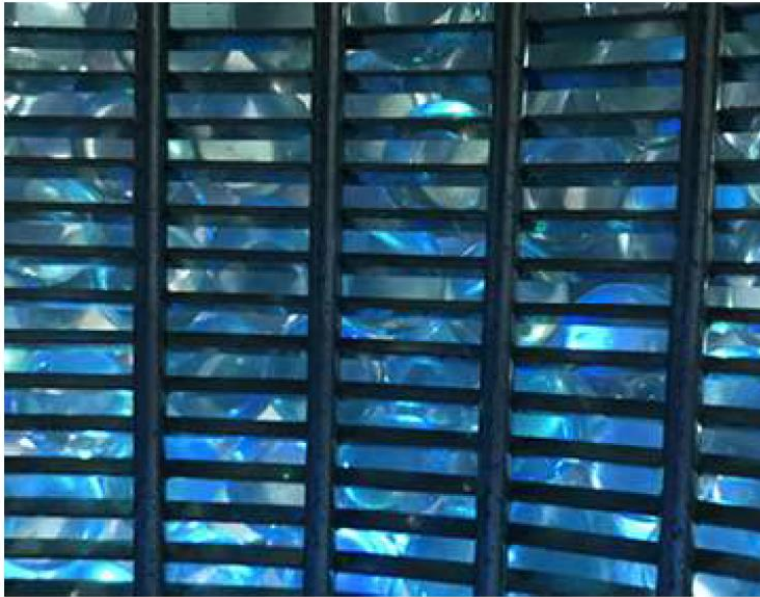
*Propiedades del material requerido para el prefiltro.*

PROPIEDAD	DESCRIPCIÓN
Limpieza	Escasas pérdidas de material en el transcurso del desarrollo. Tiempo de desarrollo reducido.
Granos perfectamente redondos	Elevada porosidad y conductividad hidráulica. Abatimiento mínimo. Rendimiento superior. Eficiente Desarrollo.
90% a 95% partículas de cuarzo	Sin reducción de volumen ocasionada por la desintegración de minerales.
Coeficiente de Uniformidad menor a 2.5	Reduce la distancia entre elementos durante la instalación y minimiza la pérdida de carga.

*Fuente:* (Sterrett, 2007).

### Figura 77.

*Esfera de vidrio para pre filtro.*



*Superficie completamente redonda y homogénea, elevada capacidad para resistir la abrasión y compresión, óptima capacidad de permeabilidad, una superficie limpia y suave que reduce al mínimo la acumulación biológica. Fuente: Pesa Well Engineering, S.L. (2020), <https://www.grupo-pwe.com/esferas-filtrantes-de-vidrio>.*

**Sello anular**, su objetivo es salvaguardar el acuífero y evitar la contaminación del pozo, compuesto por dos capas y una placa de concreto: **a)** capa de bentonita: Debe colocarse en el espacio anular sobre la capa de grava. Se considera un grosor mínimo de 3 metros; **b)** capa de lechada (grout): Se aplica sobre la capa de bentonita y su espesor mínimo es de 2 metros. La lechada es una combinación de agua, cemento y bentonita, con una proporción específica de 6.6/1/0.4; **c)** placa de concreto: es necesario proteger los bordes del pozo con una cobertura de al menos 60 centímetros en ambos lados. (US Army Corps of Engineers, 2012).

Con el fin de asegurar un sellado eficiente del espacio anular, se recurre actualmente a polímeros granulares altamente expansivos. La notable capacidad de hincharse de estos polímeros garantiza una conexión efectiva del material sellante entre la pared de la perforación y la tubería, eliminando la necesidad de un sellado adicional desde el exterior y sustituyendo así a la tradicional capa de bentonita.

**Tabla 32.***Características de los polímeros granulares.*

DESCRIPCIÓN	CARACTERÍSTICA
Material	Combinación de bentonitas activadas con contenido de calcio.
Color	Marrón, gris, verde, negro
Tamaño	Ø ±8mm - 10 mm, largo 7-14 mm
Velocidad de sedimentación en agua	> 20 m/min
Peso específico	1.0 - 1.8 tn/m <sup>3</sup>
Capacidad de expansión	> 50%
Conductividad hidráulica	< 10 <sup>-11</sup> m/s

*Fuente: Pesa Well Engineering, S.L.*

En cuanto al estabilizador de la formación, el cual va entre la grava filtrante y el sello del vacío anular (a nivel de la tubería ciega), se precisa que el material utilizado con este propósito no requería una distribución granulométrica específica. Se consideró apropiada una combinación de arena con tamaño similar o ligeramente superior al de la arena natural presente en la formación del acuífero. (US Army Corps of Engineers, 2012).

**Prueba de bombeo,** Una vez completada la construcción, se llevó a cabo un ensayo de caudal variable para evaluar el rendimiento del pozo y analizar la relación entre el caudal, el nivel dinámico, la presencia de finos y diversos parámetros físico-químicos (INACAL NTP 360.101, 2018). Terminada la evaluación del rendimiento, se llevó a cabo el ensayo del acuífero con el fin de determinar los parámetros hidrogeológicos en las proximidades del pozo. En la cuantificación del caudal extraído, se utilizaron dispositivos que garantizaran la facilidad y precisión en la medición. Para flujos hasta 5,5 L/s, se emplearon recipientes de volumen conocido junto con un cronómetro. Cuando los caudales superaban los 5,5 L/s, se determinaron mediante sistemas de medición continuos, como aliviaderos, orificios calibrados, tubos Venturi, caudalímetros mecánicos o electromagnéticos, entre otros (INACAL NTP 360.101, 2018). Durante la extracción de agua, se llevaron a cabo mediciones del nivel hídrico en el pozo, siguiendo las frecuencias de tiempo establecidas según lo indicado en la siguiente tabla:

**Tabla 33.***Intervalos de tiempo referencial durante la prueba de bombeo (abatimiento).*

INTERVALO DE TIEMPO (min.)	PERIODO DE LECTURA (min.)
0 – 10	1
10 – 20	2
20 – 60	5
60 – 120	10
120 – 600	30
600 – 900	60
A partir de 900.	120

*Fuente:* (INACAL NTP 360.101, 2018).

Una vez completada la prueba de bombeo, es necesario llevar a cabo el ensayo de recuperación de nivel, el cual se extiende hasta alcanzar al menos el 80 % de la disminución observada. Este proceso se realiza siguiendo los intervalos de tiempo establecidos en la siguiente tabla:

**Tabla 34.***Intervalos de tiempo referencial durante la prueba de bombeo (recuperación).*

INTERVALO DE TIEMPO (min.)	PERIODO DE LECTURA (min.)
0 – 10	1
10 – 20	2
20 – 60	5
60 – 120	10
120 – 240	20
240 – 480	30
A partir de 480.	60

*Fuente:* (INACAL NTP 360.101, 2018).

Es relevante señalar que, de acuerdo con (Moss Roscoe, 1990), durante esta evaluación se dispone de un conjunto de lapsos de tiempo establecidos para la medición de los pozos sometidos a bombeo.

**Tabla 35.***Intervalos temporales destinados a la evaluación de bombeo en pozos.*

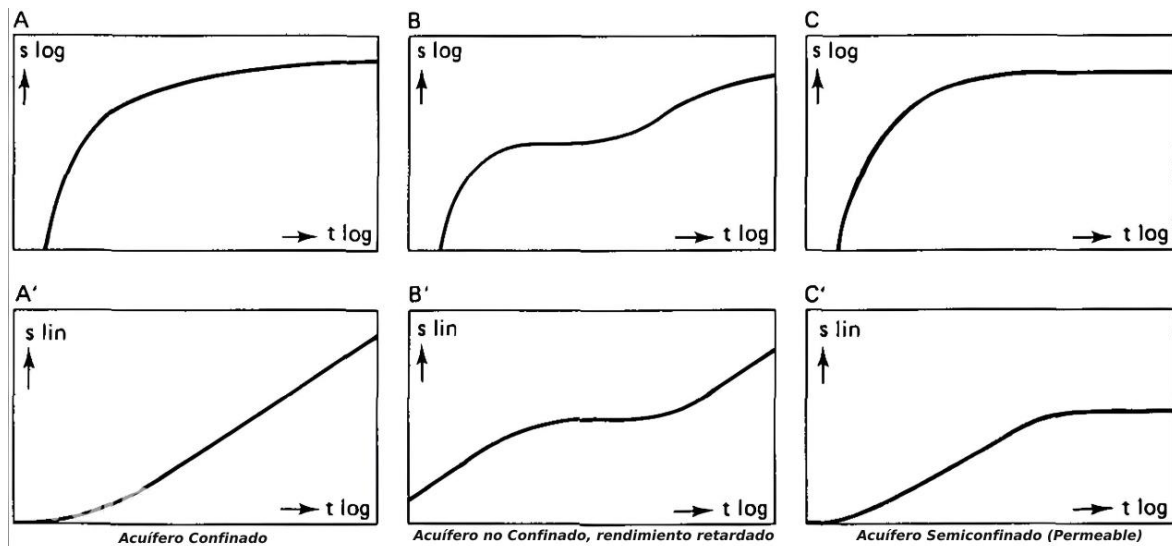
INTERVALO DE TIEMPO (min.)	PERIODO DE LECTURA (min.)
0 – 5	1
5 – 60	5
60 – 120	15
120 – 360 (6 h)	60



Fuente: (Moss Roscoe, 1990).

### Figura 78.

Gráficos teóricos utilizados en ensayos de bombeo en acuíferos

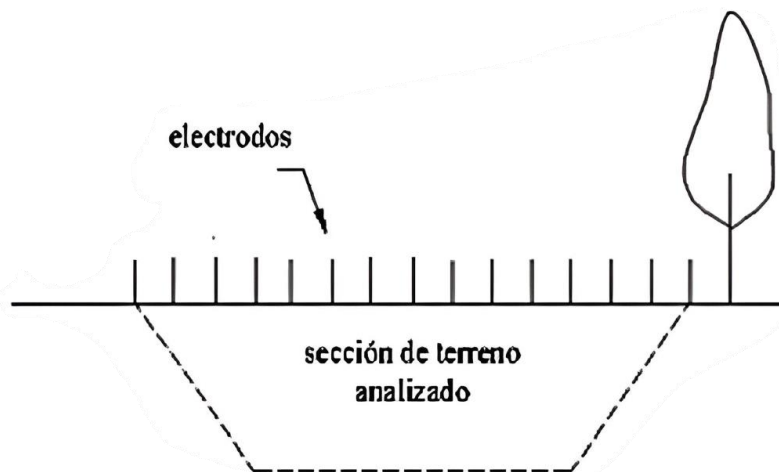


Gráficas teóricas empleadas en pruebas de extracción de agua en acuíferos compuestos por material granular. Referencia: (Kruseman & Ridder, 1990).

**Tomografía de resistividad eléctrica** (prospección geofísica indirecta), La Tomografía eléctrica, siendo un procedimiento multielectrónico de resistividad, se fundamenta en la modelización bidimensional de la resistividad del suelo a través del uso de técnicas numéricas como elementos finitos o diferencias finitas. Es importante señalar que en la actualidad se está progresando en la modelización tridimensional de este método. Es relevante mencionar que en algunos documentos especializados sobre la tomografía de resistividad eléctrica se encuentran dos terminologías asociadas a la disposición de los electrodos en el terreno: se hace referencia a "imágenes eléctricas" o al método convencional cuando los electrodos se ubican en la superficie, como es común, y a "tomografía cruzada" cuando se sitúan dentro de sondeos mecánicos verticales (Rodríguez, 2015).

### Figura 79.

Representación gráfica de la técnica de Tomografía de Resistividad Eléctrica.

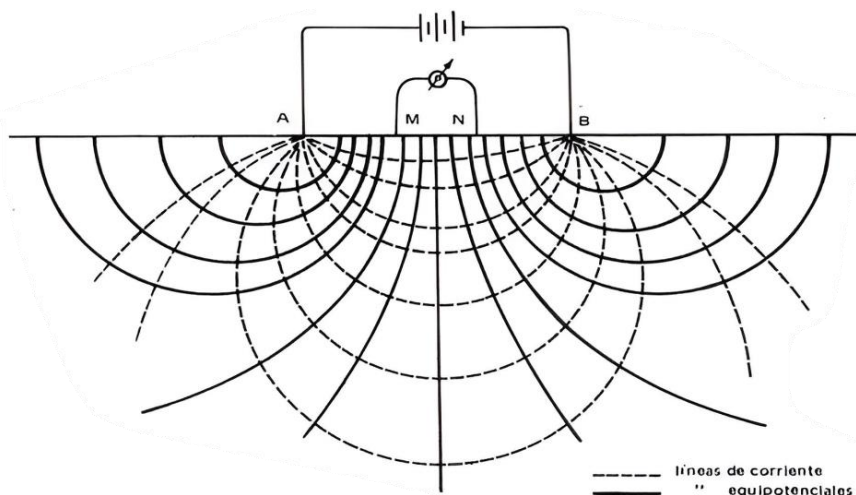


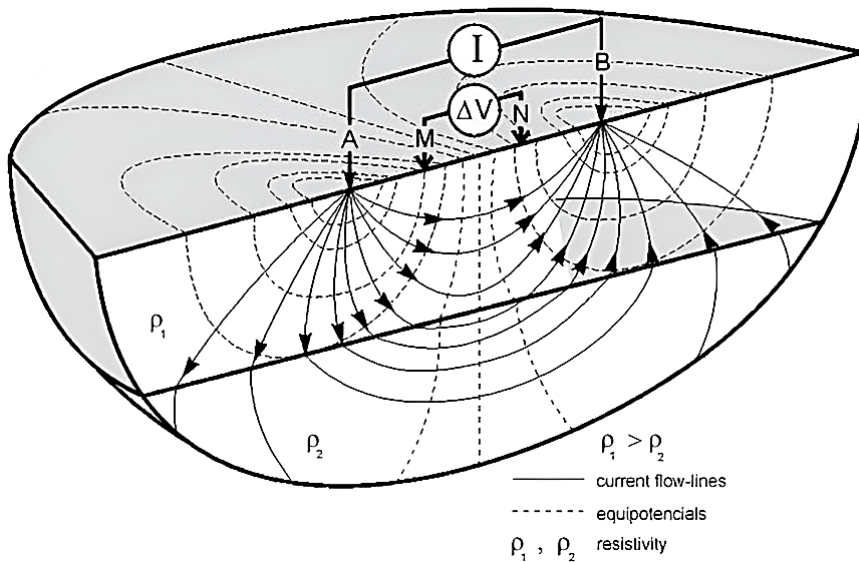
Fuente: (Rodríguez, 2015).

La metodología implicaba la instalación de múltiples electrodos a lo largo del perfil de estudio, con una distancia específica que se ajustaba según la necesidad de resolución y la profundidad requerida para la investigación. La técnica de resistividades no solo facilita la investigación de estratos horizontales como los acuíferos o la identificación de diversas litologías, sino que también posibilita una comprensión más abarcadora y global del subsuelo en una extensa área (Manilla Aceves, 2003). A pesar de la naturaleza multielectródica de la Tomografía Eléctrica, su principio teórico de operación guarda similitud con los métodos de resistividad convencionales.

### Figura 80.

Representación elemental del método de resistividad.



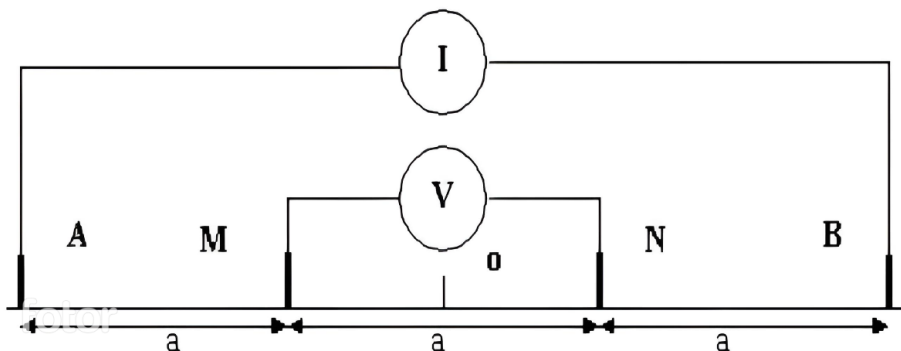


*Aunque se emplean varios electrodos en la Tomografía Eléctrica, su fundamento teórico comparte semejanza con los métodos convencionales de resistividad. Fuente: (Rodríguez, 2015).*

Los enfoques tradicionales requieren solamente 4 electrodos, involucrando la creación de un campo eléctrico de corriente continua en el subsuelo mediante dos electrodos de corriente (A, B) conectados a un miliamperímetro. Simultáneamente, con los otros dos electrodos (M, N) conectados a un milivoltímetro, se evaluaba la diferencia de potencial eléctrica  $\Delta V$  entre esos puntos, permitiendo el cálculo de la resistividad en el punto medio del dispositivo y a una profundidad específica. En la disposición de los 4 electrodos para mediciones geofísicas, se emplean diversas configuraciones, entre las más comunes se encuentran Wenner y Schlumberger. Además, existe una combinación conocida como configuración Wenner-Schlumberger. No obstante, indicar que para la tomografía eléctrica, que emplea varios electrodos, se crea todas las combinaciones posibles de 4 electrodos.

**Figura 81.**

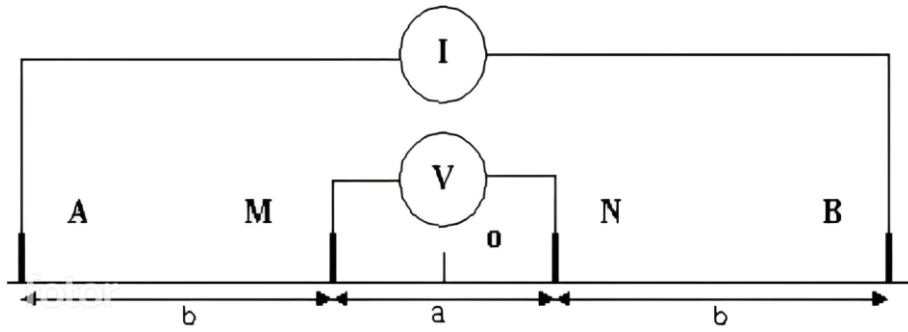
*Representación gráfica de la disposición de electrodos, método Wenner  $\alpha$ .*



*Fuente: (Rodríguez, 2015).*

**Figura 82.**

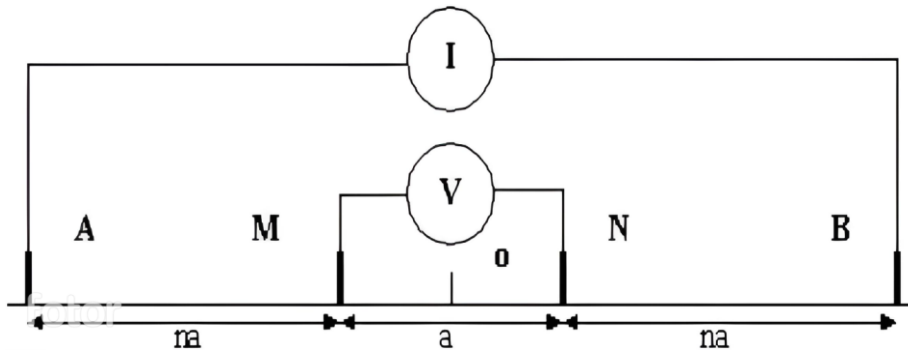
Representación gráfica de la disposición de electrodos, método Schlumberger.



Fuente: (Rodríguez, 2015).

**Figura 83.**

Representación gráfica de la disposición de electrodos, método Wenner-Schlumberger.



Fuente: (Rodríguez, 2015).

Al llevar corriente eléctrica al subsuelo, esta puede propagarse de 3 maneras distintas: mediante conducción dieléctrica, que está relacionada con materiales altamente no conductivos o aislantes; conducción electrónica, vinculada a materiales con electrones libres, como los metales; y conducción electrolítica, asociada al desplazamiento de los iones presentes en el fluido intersticial del subsuelo.

$$\rho_a = \frac{\Delta V}{I} K \quad \text{Ecuación ( 98 )}$$

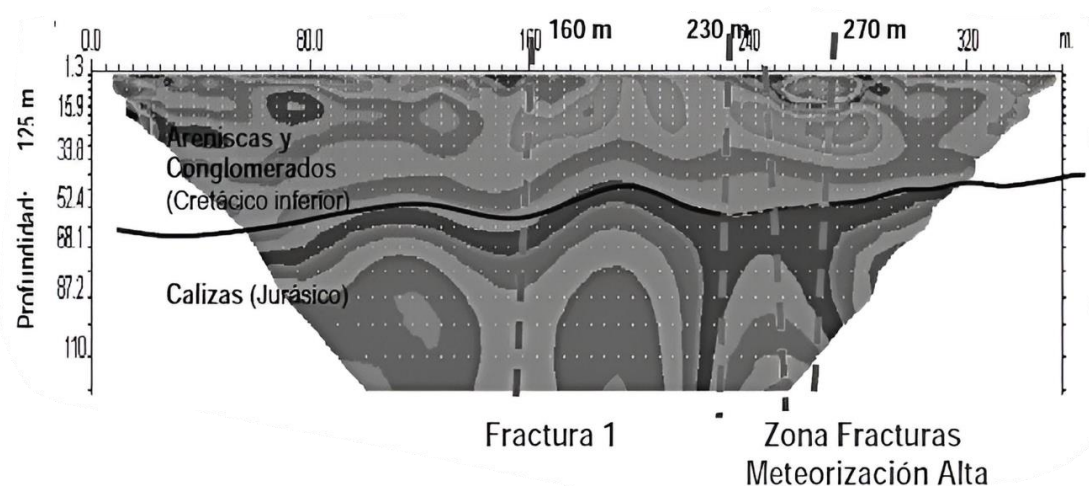
$$K = \frac{2\pi}{\left[ \frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN} \right]} \quad \text{Ecuación ( 99 )}$$

Donde: “ $\rho_a$ ” representa la resistividad medida en ohmios metro, “ $\Delta V$ ” expresa la variación del potencial medida en voltios, “ $I$ ” indica la intensidad el cual es medido en amperios, “ $K$ ” representa el coeficiente de penetración.

La resistividad eléctrica del suelo está sujeta a cambios según las particularidades del terreno; Variados factores ejercen influencia sobre este parámetro: Como, el nivel de saturación del suelo, la  $T^\circ$ , la concentración salina del líquido, la porosidad y la configuración de los poros, la naturaleza de la formación rocosa, la existencia de arcillas con una elevada capacidad de transferencia catiónica y los fenómenos geológicos que inciden en los materiales.

**Figura 84.**

*Caso ilustrativo de distribución efectiva de resistividades.*



*Un ejemplo de interpretación geológica de cómo se distribuyen realmente las resistividades. Fuente: (Rodríguez, 2015).*

**Tabla 36.**

*Cambios en la resistividad según naturaleza del agua.*

CATEGORÍAS DE AGUAS Y ROCAS	RESISTENCIA ELÉCTRICA (OHM-M)
Agua proveniente de fenómenos meteorológicos.	30 - 1000
Aguas superficiales en regiones con formaciones de rocas sedimentarias.	10 - 100
Aguas superficiales en áreas con formaciones de rocas ígneas.	30 - 500
Agua subterránea en zonas con formaciones de rocas ígneas.	30 - 150
Agua salada del océano.	= 0.20
Agua subterránea en áreas con presencia de rocas sedimentarias.	> 1

Riego y almacenamiento con un contenido máximo del 0.7% de sólidos totales disueltos.	> 0.70
Agua apta para el consumo humano con un máximo del 0.25% de sólidos totales disueltos.	> 1.80

Fuente: (Manilla Aceves, 2003).

**Tabla 37.**

*Resistividad según material.*

MATERIAL	RESISTIVIDAD (OHM-M)
Arcilla plástica	50
Área con suelo pantanoso.	30
Arena	1000 - 10000
Arena arcillosa	30 - 40
Arena silíceas	50 - 500
Calizas agrietadas	1000 - 5000
Calizas blandas	1500 - 3000
Calizas compactadas	100 - 300
Granito	25000
Granito y gneis derivados de procesos de alteración.	1500 - 10000
Granito y gneis muy alterados	100 - 600
Humus	10 - 150
Limo	20 - 100
Pizarras	500 - 1000
Rocas de mica y cuarzo	800
Sedimentos de margas y arcilla densa.	100 - 200
Suelo con piedra redondeada	300 - 500
Terreno con piedras redondeadas y vegetación de césped.	200 - 3000
Turba	5 - 100

Fuente: Institute for Human and Machine Cognition (IHMC).

**Proyección de vida útil**, se lleva a cabo la planificación mediante la estimación de la duración operativa del pozo profundo, medida en años. La disminución global del nivel freático al momento de poner en funcionamiento el pozo proyectado quedó determinada mediante la aplicación de la ecuación siguiente.

$$ND = NE + \Delta H_T + NU$$

Ecuación ( 100 )

$$\Delta H_T = BQ + CQ^2 \quad \text{Ecuación ( 101 )}$$

$$BQ = \frac{0.183}{T} Q \log \frac{2.25 * T * t}{r_p^2 * S} \quad \text{Ecuación ( 102 )}$$

Donde: “ND” expresa el descenso total previsto (Nivel Dinámico), “NE” indica el nivel estático en relación con la superficie del suelo, “ $\Delta H_T$ ” indica el descenso (abatimiento) del nivel del agua debido a la acción de bombeo, “NU” indica la disminución del nivel freático, para el período proyectado (debido a la extracción del agua), “Q” expresa el caudal de producción previsto, “T” indica el Promedio de la Transmisividad, “S” indica el coeficiente de almacenamiento, “t” nos indica el número de horas de bombeo, “ $r_p$ ” expresa el radio del pozo profundo y “C” nos indica la constante de pérdida.

No obstante, la variable “ $CQ^2$ ” que nos indica la pérdida del pozo, puede ser aproximadamente modelada utilizando la ecuación que se presenta a continuación (Jacob, 1946):

$$S_w = CQ^2 \quad \text{Ecuación ( 103 )}$$

$$C = \frac{\left(\frac{\Delta S^i}{\Delta Q_i}\right) - \left(\frac{\Delta S^{i-1}}{\Delta Q_{i-1}}\right)}{\Delta Q_{i-1} + \Delta Q_i} \quad \text{Ecuación ( 104 )}$$

Donde, en el ámbito de la investigación hidrogeológica, se analizan las variaciones del abatimiento ( $\Delta s$ ) que indican los cambios producidos por cada variación ( $\Delta Q$ ) en el caudal. La determinación de estos incrementos de detracción implica calcular la diferencia entre el nivel de agua observado y la extensión de la curva de nivel de agua anterior en cada caso particular. Es posible emplear pasos temporales de diversas longitudes, siempre y cuando los valores  $\Delta s$  seleccionados correspondan a la misma duración temporal en cada paso de la investigación. Este enfoque metodológico busca cuantificar las variaciones en la reducción en función de la variabilidad en la tasa de bombeo, proporcionando así una comprensión más detallada de las interacciones hidráulicas en el sistema (Walton, 1962).

Con frecuencia, las técnicas de perforación generan obstrucciones en las aperturas de fracturas en el frente y la pared del pozo, así como en las aberturas del filtro del

mismo. El rendimiento de los pozos tiende a decrecer durante operaciones intensivas de bombeo, ya que las ranuras o perforaciones del filtro, junto con los huecos del acuífero cercanos al filtro del pozo, se obstruyen. Para evaluar el deterioro del pozo, se recurre a la prueba de descenso gradual. Es esencial realizar un desarrollo adecuado para eliminar los materiales finos y alcanzar un rendimiento óptimo por metro de profundidad. La efectividad del desarrollo se mide mediante los resultados obtenidos en una prueba de descenso progresivo. La constante de pérdida (C) de un pozo bien diseñado y desarrollado generalmente se sitúa por debajo de 5. Valores entre 5 y 10 exteriorizan un deterioro leve, mientras que se considera una obstrucción grave cuando C supera los 10. Restablecer la capacidad original es complicado, a veces imposible, si la constante de pérdida del pozo supera el umbral de 40. No obstante, los pozos con capacidad mermada a menudo pueden recuperar su rendimiento original a través de diferentes enfoques de restauración (Walton, 1962).

**Tabla 38.**

*Tiempo referencial de diseño.*

INFRAESTRUCTURA	TIEMPO DE DISEÑO
Fuente de suministro hídrico	20 años
Estructura de captación	20 años
Pozos	20 años
Planta de tratamiento de agua potable	20 años
Reservorio	20 años
Línea de aducción, conducción y distribución.	20 años
Estación de bombeo	20 años
Equipamiento de bombeo	10 años
Elemento fundamental de saneamiento (compostera).	10 años
Elemento fundamental de saneamiento (Pozo seco con ventilación).	5 años

*Fuente: Resolución Ministerial N° 192-2018-VIVIENDA, Capitulo III, tabla N° 03.01 de la (NORMA TÉCNICA DE DISEÑO: OPCIONES TECNOLÓGICAS PARA SISTEMAS DE SANEAMIENTO EN EL ÁMBITO RURAL – MINISTERIO DE VIVIENDA CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO, 2018).*



Ahora bien, en cuanto al **MARCO CONCEPTUAL**, previamente se tiene los siguientes enfoques conceptuales vinculantes al tema en estudio:

**Análisis Hidrogeológico:** Antes de abordar el diseño hidráulico de pozos profundos, es crucial realizar un análisis hidrogeológico exhaustivo. Este análisis implica la evaluación de las características del acuífero, como la transmisividad, conductividad hidráulica y el coeficiente de almacenamiento. Estos parámetros de diseño son fundamentales para determinar la viabilidad de un pozo profundo y su capacidad para suministrar agua en cantidades adecuadas y en el plazo prudente.

El Perú, al igual que muchas otras regiones del mundo, se enfrenta a un déficit hídrico que afecta a diversas actividades, especialmente al uso agrícola. El análisis hidrogeológico detallado permite identificar las áreas donde la construcción de pozos profundos puede contrarrestar este déficit, aprovechando las reservas de agua subterránea disponibles. Además, este análisis ayuda a comprender las características específicas del acuífero, como la recarga y descarga, la dirección y velocidad del flujo de agua subterránea, entre otros factores.

**Diseño Hidráulico por Colapso:** Una vez completado el análisis hidrogeológico, se deben considerar diferentes enfoques de diseño hidráulico para la construcción de pozos profundos. El diseño hidráulico por colapso es uno de los métodos utilizados para garantizar la durabilidad y vida útil del pozo profundo. Este enfoque se basa en contrarrestar las fuerzas dinámicas de gran magnitud que pueden ocurrir durante el proceso de perforación y extracción del recurso hídrico subterráneo.

El diseño hidráulico por colapso implica una cuidadosa selección de materiales para el revestimiento del pozo y un análisis detallado de las propiedades mecánicas de los suelos circundantes. Al elegir materiales de revestimiento adecuados, como tuberías de acero, acero inoxidable, fibra de vidrio de alta resistencia o PVC de alta resistencia, se puede evitar el colapso del pozo durante su vida útil. Además, mediante el estudio de las propiedades de los suelos, se pueden determinar las presiones y fuerzas externas que actúan sobre el pozo, permitiendo un diseño estructural adecuado.

**Diseño Hidráulico por Compresión al Pozo:** Otro enfoque utilizado en el diseño hidráulico de pozos profundos es el diseño del pozo profundo para resistir los esfuerzos axiales de compresión sobre la tubería del pozo profundo, el cual es un aspecto crucial en el análisis hidrogeológico y diseño hidráulico de pozos profundos. En este informe de investigación, exploraremos detalladamente este tema y examinaremos su importancia en la construcción de pozos profundos. El objetivo es comprender cómo el esfuerzo de compresión afecta la resistencia y durabilidad de la tubería, así como identificar las malas prácticas de construcción que pueden llevar al colapso de la misma. El análisis hidrogeológico es esencial para determinar las características del acuífero y garantizar un diseño hidráulico adecuado para los pozos profundos. Sin embargo, el espesor del ademe y su resistencia al esfuerzo de compresión son factores igualmente importantes a considerar. La tubería debe ser capaz de soportar las fuerzas dinámicas de gran magnitud a las que estará expuesta, evitando el colapso y asegurando una vida útil prolongada (Moss Roscoe, 1990).

Uno de los inconvenientes más comunes relacionados con el esfuerzo de compresión sobre la tubería de pozo profundo es el pandeo. Cuando la tubería no cuenta con el adecuado soporte lateral, es vulnerable al pandeo, lo que compromete su resistencia y estabilidad. El descanso de largas longitudes de la grilla en un agujero abierto sin soporte lateral puede llevar al pandeo de la tubería, lo que resulta en un diseño ineficiente y poco confiable. La resistencia al pandeo es un parámetro crucial en el diseño hidráulico por compresión al pozo. La tubería debe poder soportar los esfuerzos de compresión provocados por la columna de agua y las cargas adicionales, como sedimentos o material circundante. El diseño adecuado de la tubería, considerando el área de sección transversal y el esfuerzo del material, es esencial para evitar el colapso y garantizar la resistencia a largo plazo. Es importante tener en cuenta que el fallo de la tubería por compresión también puede conducir a un colapso posterior. Si la tubería no cuenta con la resistencia a la compresión axial necesaria, es probable que falle bajo cargas adicionales, lo que resultará en una disminución en la producción y un deterioro de la calidad del recurso hídrico subterráneo extraído. Para contrarrestar estos problemas y optimizar la construcción de pozos profundos, es esencial adoptar

prácticas de buena gestión. Esto implica realizar un análisis hidrogeológico exhaustivo de la formación geológica para comprender las condiciones locales específicas del acuífero. Además, se deben considerar los parámetros de diseño, como la transmisividad, conductividad hidráulica, coeficiente de almacenamiento y espesor de la tubería, para garantizar un diseño hidráulico efectivo y duradero.

Por lo tanto, el esfuerzo de compresión sobre la tubería de pozo profundo es un factor crítico a considerar en el diseño hidráulico y análisis hidrogeológico. El pandeo de la tubería y el colapso pueden ser evitados mediante un diseño adecuado, teniendo en cuenta la resistencia al pandeo y a la compresión axial. El uso de buenas prácticas de construcción y la consideración de las condiciones locales del acuífero son fundamentales para garantizar la durabilidad y optimizar los niveles de producción agrícola en la zona donde se construyeron los pozos profundos y a contrarrestar el déficit hídrico de la región. Consecuentemente, poder comprender y abordar el esfuerzo de compresión sobre la tubería de pozo profundo es esencial para garantizar un diseño hidráulico eficiente y sostenible a largo plazo. El análisis hidrogeológico, junto con la consideración del espesor de la tubería y la resistencia al pandeo, son aspectos clave para evitar el colapso y mejorar los niveles de producción agrícola. Al analizar, comparar, demostrar, relacionar e identificar estos factores, podemos optimizar la construcción de pozos profundos y garantizar su durabilidad en beneficio del abastecimiento de agua dulce en el Perú y en todo el mundo.

**Comparación entre el Diseño Hidráulico por Colapso y el Diseño Hidráulico por Compresión al Pozo:** El diseño hidráulico de pozos profundos es un aspecto crucial para garantizar un abastecimiento de agua sostenible a largo plazo en zonas preparadas para enfrentar el déficit hídrico. En este sentido, se han desarrollado dos enfoques principales: el diseño hidráulico por colapso y el diseño hidráulico por compresión al pozo. Ambos enfoques tienen como objetivo optimizar la construcción de pozos profundos, garantizando la durabilidad y la vida útil de estos.

En el análisis hidrogeológico y diseño hidráulico de pozos profundos, dos enfoques comunes utilizados son el diseño hidráulico por colapso y el diseño hidráulico por compresión sobre la tubería del pozo. Ambos métodos tienen como objetivo

optimizar la construcción de pozos profundos para garantizar su durabilidad y vida útil. En este informe de investigación, realizaremos una comparación detallada entre estos dos enfoques, teniendo en cuenta las características del acuífero, las prácticas de buena gestión y las condiciones locales específicas del acuífero. El análisis hidrogeológico es una parte fundamental del diseño de pozos profundos. Implica el estudio de las características del acuífero, como la transmisividad, la conductividad hidráulica y el coeficiente de almacenamiento, para percibir el comportamiento del recurso hídrico subterráneo en la zona de interés. Estos parámetros de diseño son cruciales para determinar la ubicación geográfica y las dimensiones óptimas de los pozos profundos.

El diseño hidráulico por colapso se fundamenta en la idea de impedir el colapso de la tubería o ademe del pozo bajo fuerzas dinámicas de gran magnitud. En este enfoque, se analiza la excentricidad, es decir, la diferencia entre el radio y el diámetro del ademe, así como el grosor o espesor de la misma. Se evalúa la presión externa y la presión hidráulica desbalanceada para determinar el punto de máxima excentricidad donde puede ocurrir el colapso. Se implementan medidas de diseño para contrarrestar estas fuerzas y garantizar la durabilidad de los pozos profundos. Por otro lado, el diseño hidráulico por compresión sobre la tubería se centra en la resistencia al pandeo de la tubería. Se consideran factores como la verticalidad, el alineamiento y la resistencia al pandeo de la tubería. Además, se tiene en cuenta el descanso de largas longitudes de la grilla en un agujero abierto sin soporte lateral. La resistencia a la compresión axial del material de la tubería es un parámetro crítico para evitar el colapso y garantizar la vida útil del pozo profundo.

Ambos enfoques tienen como objetivo evitar el colapso de la tubería del pozo y garantizar la durabilidad de los pozos profundos. Sin embargo, difieren en la forma en que abordan las fuerzas que pueden llevar al colapso. En el diseño hidráulico por colapso, se enfoca en la intervención de las fuerzas dinámicas y fijas. Las fuerzas fijas incluyen la columna de agua y el peso de la formación geológica. Por otro lado, las fuerzas dinámicas son aquellas que se generan debido al sismo y al movimiento del paquete de grava. Se tiene en cuenta la propiedad física del material de la tubería, el radio, el diámetro y el grosor o espesor del ademe para calcular el punto de máxima excentricidad donde puede ocurrir el colapso. Se

implementan medidas para evitar el colapso en o debajo de este punto crítico. En el diseño hidráulico por compresión sobre la tubería, se prioriza la resistencia al pandeo de la tubería. Se consideran la resistencia a la compresión axial del material, el diseño de la tubería y la distribución de las fuerzas de compresión. Se busca optimizar el dimensionamiento y diseño del ademe para garantizar su resistencia al pandeo y evitar el colapso. La verticalidad y el alineamiento adecuado también son factores importantes para evitar problemas de colapso. En definitiva, tanto el diseño hidráulico por colapso como el diseño hidráulico por compresión sobre el pozo profundo, son enfoques válidos para optimizar la construcción de pozos profundos y garantizar su durabilidad. Ambos enfoques se basan en un análisis hidrogeológico completo y consideran las características del acuífero, las prácticas de buena gestión y las condiciones locales específicas del acuífero. El diseño hidráulico por colapso se enfoca en evitar el colapso de la tubería bajo fuerzas dinámicas de gran magnitud. Por otro lado, el diseño hidráulico por compresión sobre la tubería se centra en la resistencia al pandeo de la tubería. Ambos enfoques requieren un análisis detallado de los parámetros de diseño, como la transmisividad, la conductividad hidráulica y el coeficiente de almacenamiento.

En última instancia, la elección entre estos dos enfoques dependerá de las condiciones específicas del acuífero y de los requisitos del proyecto. Un diseño adecuado y bien implementado, independientemente del enfoque seleccionado, ayudará a contrarrestar el déficit hídrico y a optimizar la construcción de pozos profundos para mejorar los niveles de producción agrícola de manera sostenible a largo plazo en la zona.

**Importancia de las Prácticas de Buena Gestión en el Diseño y Mantenimiento de Pozos Profundos:** El análisis hidrogeológico y el diseño hidráulico de pozos profundos son fundamentales para garantizar el suministro de agua dulce y contrarrestar el déficit hídrico en muchas regiones del mundo, incluido el Perú. Sin embargo, para lograr un abastecimiento sostenible a largo plazo en la zona, es necesario implementar prácticas de buena gestión que optimicen la construcción y el mantenimiento de estos pozos. Las prácticas de buena gestión abarcan diversas áreas, desde la selección de sitios adecuados hasta la implementación de tecnologías y procesos eficientes. En primer lugar, es crucial realizar un análisis

hidrogeológico exhaustivo que permita comprender las características del acuífero, como su transmisividad, conductividad hidráulica y coeficiente de almacenamiento. Estos parámetros de diseño proporcionan información clave para el diseño hidráulico de los pozos profundos, ya que permiten identificar las condiciones locales específicas del acuífero y adaptar las estrategias de construcción (Sterrett, 2007).

Además, se deben considerar las fuerzas dinámicas de gran magnitud que actúan sobre los pozos profundos. Esto implica implementar diseños hidráulicos que eviten el colapso prematuro del pozo y mejoren su durabilidad. El uso de materiales de revestimiento resistentes, como tuberías de acero, acero inoxidable, fibra de vidrio de alta resistencia o PVC de alta resistencia, ayuda a contrarrestar estas fuerzas y garantizar la integridad estructural del pozo. Asimismo, es esencial tener en cuenta el uso agrícola del agua subterránea extraída de los pozos profundos. El diseño hidráulico debe permitir una extracción eficiente del agua para mejorar los niveles de producción agrícola. Esto implica la implementación de sistemas de bombeo adecuados, la distribución óptima de presiones en el sistema de tuberías y la consideración de las necesidades hídricas de la agricultura.

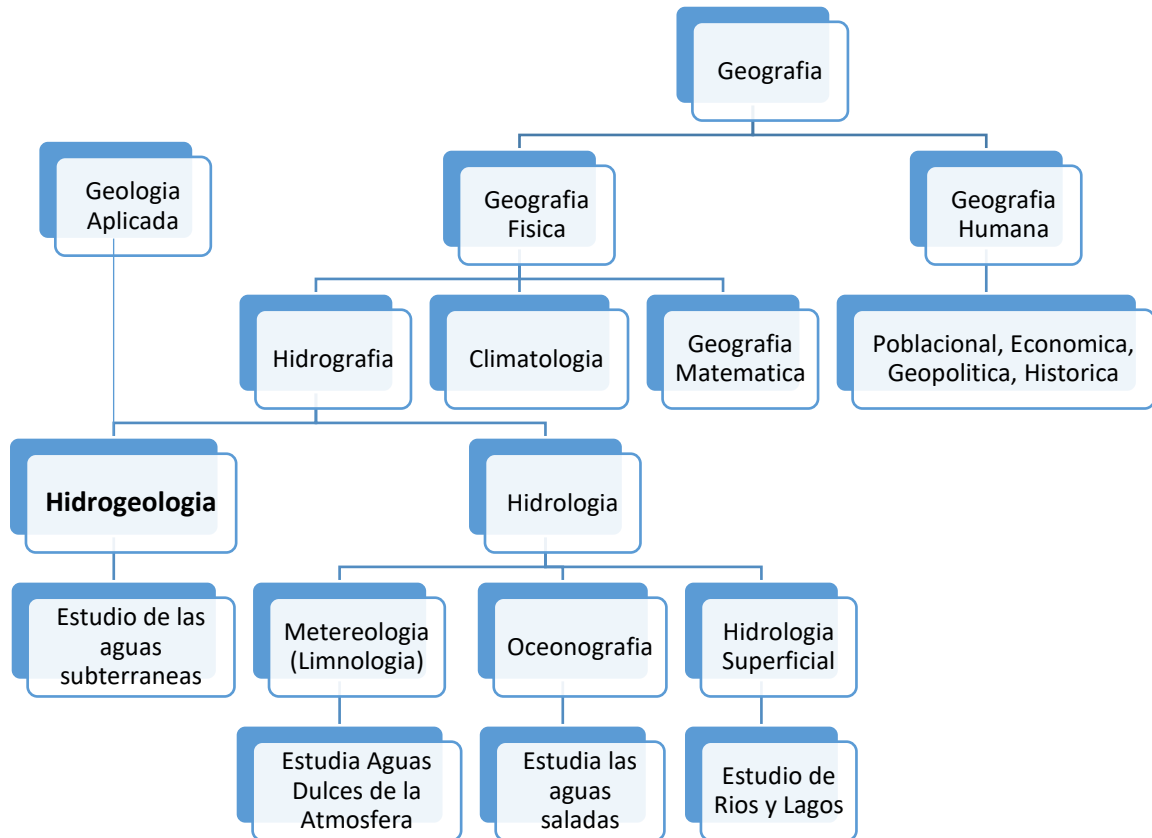
Por lo tanto, el análisis hidrogeológico y el diseño hidráulico de pozos profundos son aspectos cruciales para garantizar un abastecimiento sostenible de agua dulce. Sin embargo, su efectividad se ve potenciada por la implementación de prácticas de buena gestión en la construcción y el mantenimiento de estos pozos. La comprensión de las características del acuífero, la selección adecuada de materiales, el diseño hidráulico óptimo y la atención constante al pozo son factores clave para maximizar la durabilidad, la eficiencia y el periodo (vida útil) de producción óptima de los pozos profundos.

Ahora bien, se tiene las siguientes **DEFINICIONES TÉCNICAS: Hidrogeología:** La hidrogeología es una disciplina científica que se encarga del estudio de las aguas subterráneas y su interacción con el entorno geológico. A través del análisis hidrogeológico, se busca comprender la dinámica del agua subterránea, su calidad y su disponibilidad. Los pozos profundos y los acuíferos ejercen un rol primordial en el estudio de la hidrogeología, permitiendo el acceso al agua subterránea y su

análisis detallado. La hidrogeología es una herramienta clave en la gestión sostenible del agua subterránea y en la planificación adecuada de su uso (Vélez Otálvaro, 1999).

**Figura 85.**

*Posición de la Hidrogeología en el organigrama de las ciencias naturales.*

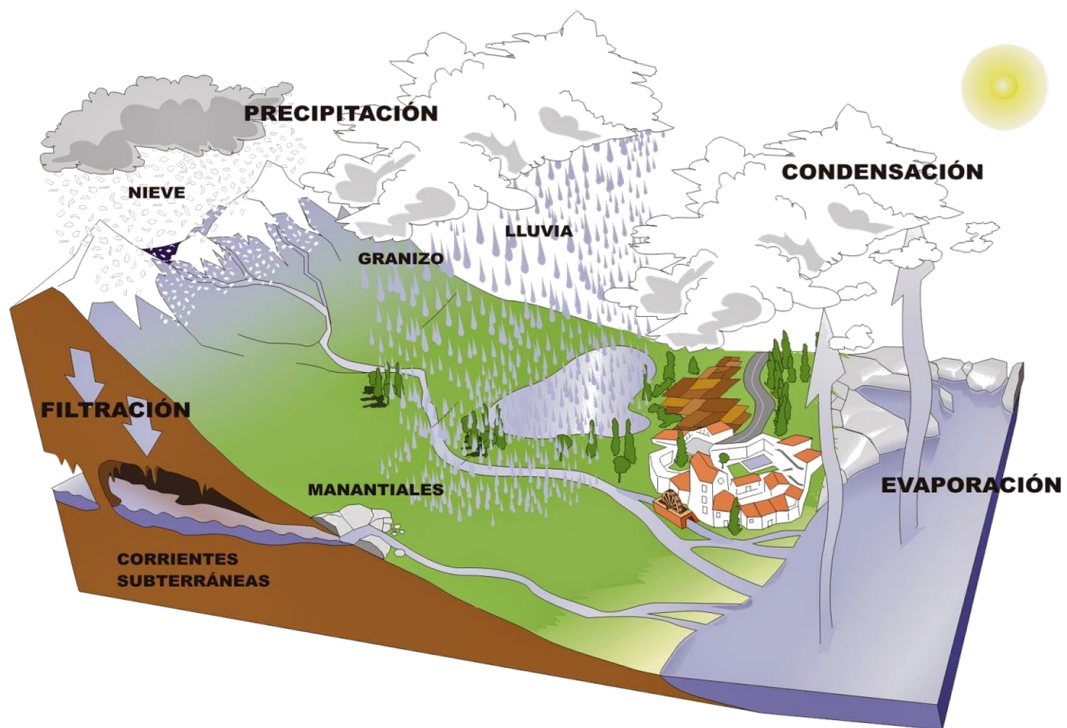


*(Fuente: Propia)*

**Ciclo hidrológico:** resultaba imperativo adentrarse en la comprensión exhaustiva de todos los aspectos que configuran el ciclo hidrológico. Las aguas subterráneas, piezas fundamentales de este complejo engranaje hídrico, representan solo una fracción del ciclo total del agua. El recurso hídrico, en su deambular constante por la naturaleza, experimenta transiciones entre estados sólido, líquido y gaseoso. El agua en su forma líquida, componente central de este estudio hidrogeológico, se despliega en diversos escenarios, ya sea en la atmósfera, lagos, mares, ríos, precipitaciones o en el suelo y subsuelo. Este último, el foco particular de atención, nos sumerge en la intrincada red de procesos subterráneos. En el suelo, el agua adopta una distribución específica: la franja superficial, próxima a la superficie,

constituye la denominada zona no saturada. Aquí, el agua se aloja en los vacíos o poros, coexistiendo con el aire y respondiendo predominantemente a fuerzas capilares. A medida que se profundiza, una vez traspasada cierta profundidad, el agua satura por completo los intersticios del suelo, dando lugar a la denominada zona saturada. En este estrato más profundo, las fuerzas gravitacionales y las resistencias viscosas se erigen como factores preponderantes que influyen en el comportamiento del agua subterránea (Vélez Otálvaro, 1999). Esta comprensión pormenorizada del ciclo hidrológico y de la distribución del agua en el suelo resulta esencial para abordar de manera integral los retos inherentes a la gestión hídrica en el valle de Moquegua.

**Figura 86.**  
*Ciclo del recurso hídrico.*



(Fuente: INTEF/ Ilustrador: J. A. Bermúdez)

**Tabla 39.**  
*Duración promedio de permanencia del agua.*

EMPLAZAMIENTO	DURACIÓN PROMEDIO DE RESIDENCIA
Casquetas polares y glaciares	Miles de años



Agua subterránea	Decenas a miles de años
Océano	3000 años
Lagos de agua salada	150 años
Lagos de agua dulce	10 años
Zona no-saturada del suelo	Semanas a años
Ríos	15-20 días
Atmósfera (vapor de agua)	8-10 días

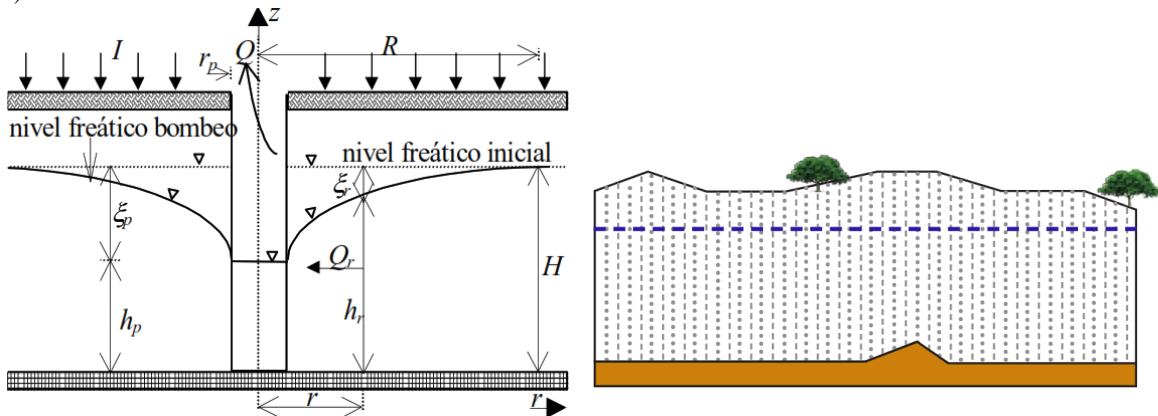
(Fuente: (Vélez Otálvaro, 1999))

**Acuífero:** El acuífero es el reservorio natural que alberga el agua subterránea. Puede ser confinado, donde está rodeado por capas impermeables, o semiconfinado, con capas parcialmente permeables, o confinado el cual está rodeado de capas impermeables (Keith Todd, 2005).

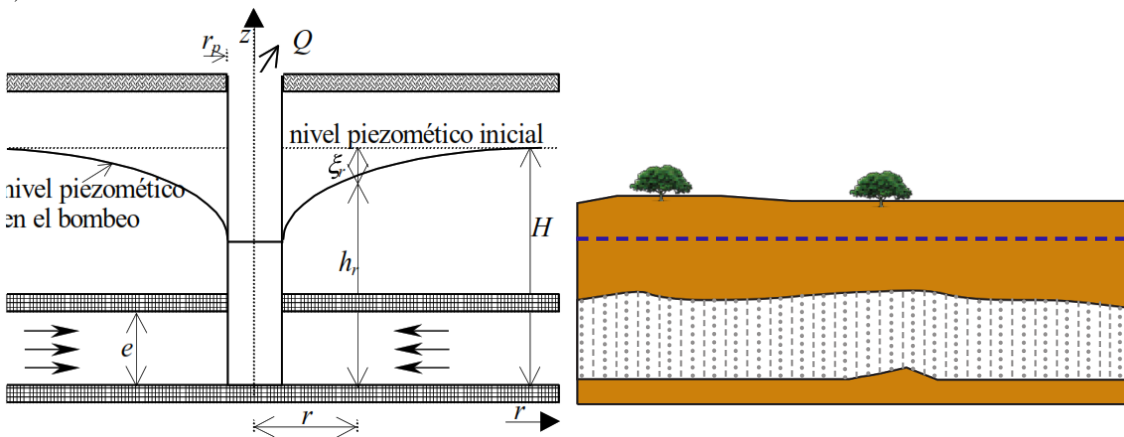
**Figura 87.**

*Pozo que perfora completamente el estrato acuífero*

1)



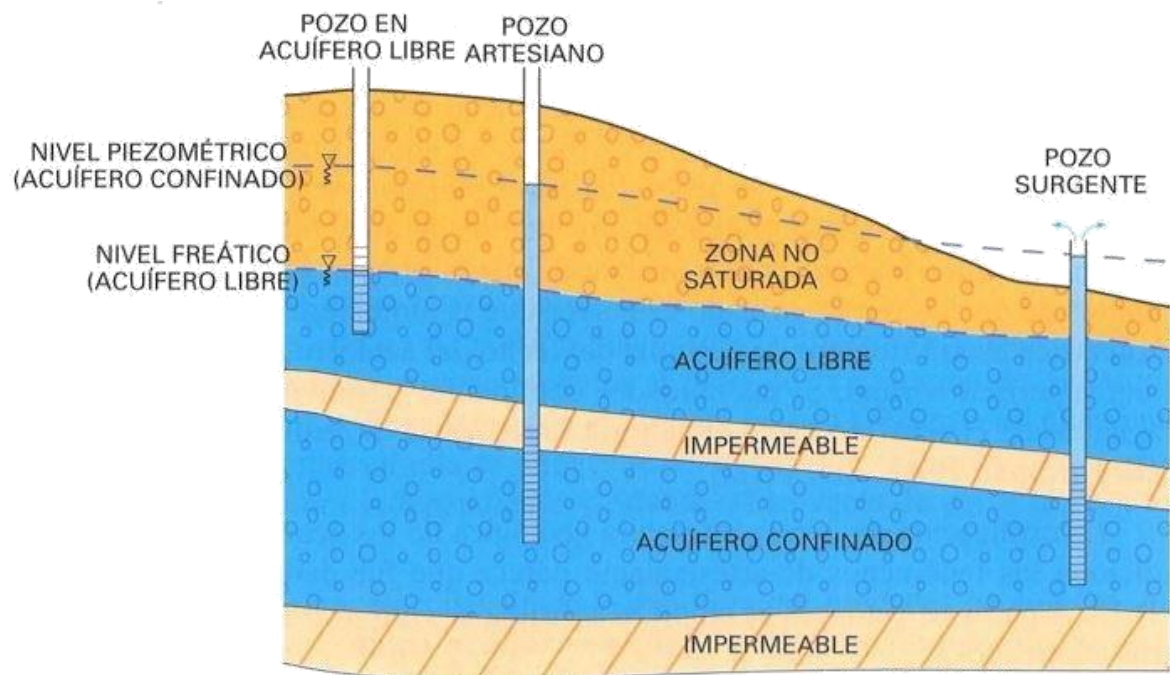
2)



1) Acuífero libre, 2) acuífero confinado. Fuente: (Maidment David R., 1993).

El estudio detallado de los acuíferos implica la realización de pruebas de bombeo, análisis de datos de pozos de observación y el modelado hidrogeológico (García Trisolini, 2009). Siendo efectivos depósitos y conductos de agua subterránea aquellos materiales con capacidad significativa tanto en términos de cantidad como velocidad de transmisión. A modo de ejemplo, se destacan formaciones como: a) gravas, arenas porosas, arenas no consolidadas y calizas fisuradas, b) formaciones consolidadas y semi consolidadas, como conglomerados y areniscas tanto primarias (intergranulares) como secundarias (fracturas y diaclasas), c) formaciones carbonatadas que presentaban tanto fisuras como fracturas, d) Formaciones rocosas ígneas y metamórficas que exhiben grietas y fracturas; Por su capacidad para almacenar y facilitar el movimiento eficiente del recurso hídrico bajo tierra (Vélez Otálvaro, 1999).

**Figura 88.**  
*Tipos de acuíferos.*



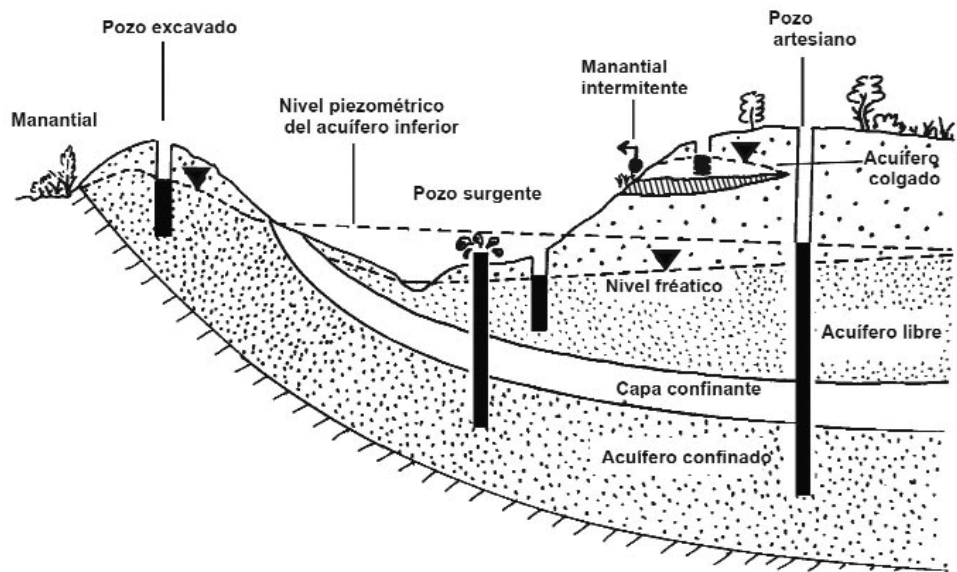
(Fuente: <https://www.researchgate.net>).

En cuanto a la clasificación de los acuíferos tenemos, **según el grado de compresión**: a) acuíferos libres, no confinados o freáticos, en estas condiciones,

la superficie del agua dentro del acuífero se encontraba a la presión atmosférica, y el nivel piezométrico del sondeo, que indicaba la elevación a la que se estabilizaba el nivel del agua, coincidía con el nivel del agua en el acuífero; **b)** acuíferos confinados, cautivos o a presión, en esta configuración, el tope del acuífero estaba restringido por una capa de terreno impermeable. El agua cuando ascendía en el acuífero hasta que la presión de la columna de agua alcanzaba equilibrio con la presión del acuífero. En consecuencia, el nivel piezométrico del sondeo se posicionaba por encima de la cota del terreno, dando lugar a un sondeo surgente o artesiano, donde el agua fluía de manera natural; **c)** acuíferos semi cautivos o semiconfinados, los cuales exhibían propiedades intermedias entre los tipos anteriores mencionados; **d)** acuíferos colgados, son aquellos que se formaban después de una recarga intensa, donde el nivel freático se elevaba y una cantidad de agua quedaba retenida por encima de una capa o nivel impermeable, **Según composición de materiales:** **a)** acuíferos porosos, los cuales estaban formados mayormente por materiales sueltos y no consolidados, siendo comunes las gravas y arenas en su composición; **b)** acuíferos fisurados, los cuales estaban compuestos por rocas consolidadas, como calizas y dolomitas. Este fenómeno específico se denominaba karstificación; **c)** acuíferos porosos y fisurados, los cuales estaban compuestos por materiales sueltos, como arena en el caso de las areniscas y grava en el caso de los conglomerados. **Según su naturaleza geológica:** **a)** acuíferos detríticos, son aquellos situados en materiales geológicos originados a partir de la erosión, como gravas, limos y arenas. Estos acuíferos almacenaban agua en los espacios porosos que quedaban entre las partículas del sedimento; **b)** acuíferos fisurados, son aquellos que se encontraban en rocas fracturadas o diaclasadas, abarcando rocas ígneas, metamórficas y detríticas bien consolidadas, la acumulación de agua tenía lugar en estas fisuras, especialmente en áreas de cuencas altas; **c)** acuíferos kársticos, son aquellos situados en rocas sedimentarias consolidadas y cementadas, especialmente en calizas y dolomías. En estas formaciones, el agua se almacenaba en conductos kársticos inherentes a estas rocas, que, aunque tenían una capacidad específica de almacenamiento, mostraban vulnerabilidad a la contaminación y tenían una capacidad limitada de autodepuración.

## Figura 89.

Acuíferos según el grado de compresión.



(Fuente: Brassington, 1995).

**Acuitardo:** Eficientes almacenes de agua subterránea aquellos materiales con capacidad sustancial en términos de cantidad, a pesar de presentar limitaciones en la velocidad de transmisión. Un ejemplo representativo serían los suelos limosos, que exhibían aptitudes destacadas para retener agua, pero mostraban restricciones en la velocidad de su desplazamiento subterráneo (Vélez Otálvaro, 1999).

**Acuicludo:** Eficientes almacenes de agua subterránea, aunque presentaban limitaciones significativas en términos de transmisión (prácticamente nula). Lo que las situaba como elementos menos propicios para el flujo eficiente del recurso subterráneo, se identificaban ciertos materiales, como las arcillas (Vélez Otálvaro, 1999).

**Acuífugo:** Se caracterizaban por su nula eficiencia tanto como almacenes como transmisores de agua subterránea. Por ejemplo, los formados por granitos o cuarcitas no fisuradas, estos materiales, al carecer de permeabilidad y presentar baja porosidad, mostraban limitaciones significativas para retener o facilitar el movimiento del recurso hídrico bajo tierra (Vélez Otálvaro, 1999).

## Figura 90.

Acuíferos



Fuente: (Palacio J., 2009).

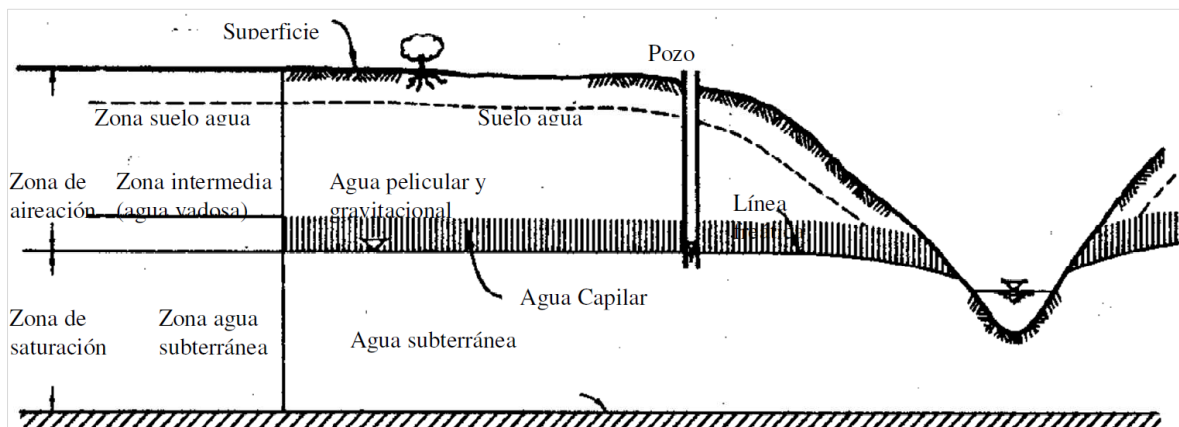
**Agua subterránea:** El líquido vital que reside bajo la superficie terrestre y que puede ser captado a través de la perforación de pozos es lo que denominamos agua subterránea (Reyna, 2010). El agua subterránea es un recurso valioso y estratégico, especialmente en territorios donde la disponibilidad de agua superficial es limitada. La hidrogeología desempeña un papel crucial en la evaluación y gestión de este recurso. A través del análisis de los acuíferos, se puede determinar la cantidad de agua almacenada, su recarga, el flujo subterráneo y la calidad del agua.

El agua subsuperficial se divide verticalmente en dos zonas, dependiendo de la proporción de los poros ocupados por agua: la zona comprendida desde la línea freática hasta la superficie del suelo se denomina zona de "**aireación**", y zona que se encuentra debajo de la zona de aireación (debajo de la línea freática) hasta el manto impermeable, se denomina zona de "**saturación**".

La región de **aireación** se divide en tres secciones distintas: la zona capilar, caracterizada por el ascenso del nivel freático debido a la capilaridad; la zona vadosa, donde las fuerzas higroscópicas y capilares regulan el movimiento del agua, resultando en su inmovilidad; y la zona de agua suelo, que alberga material orgánico y raíces vegetales. En relación con la zona de **saturación**, esta se caracteriza por la completa ocupación de los poros con agua.

**Figura 91.**

*Zona de saturación y aireación.*

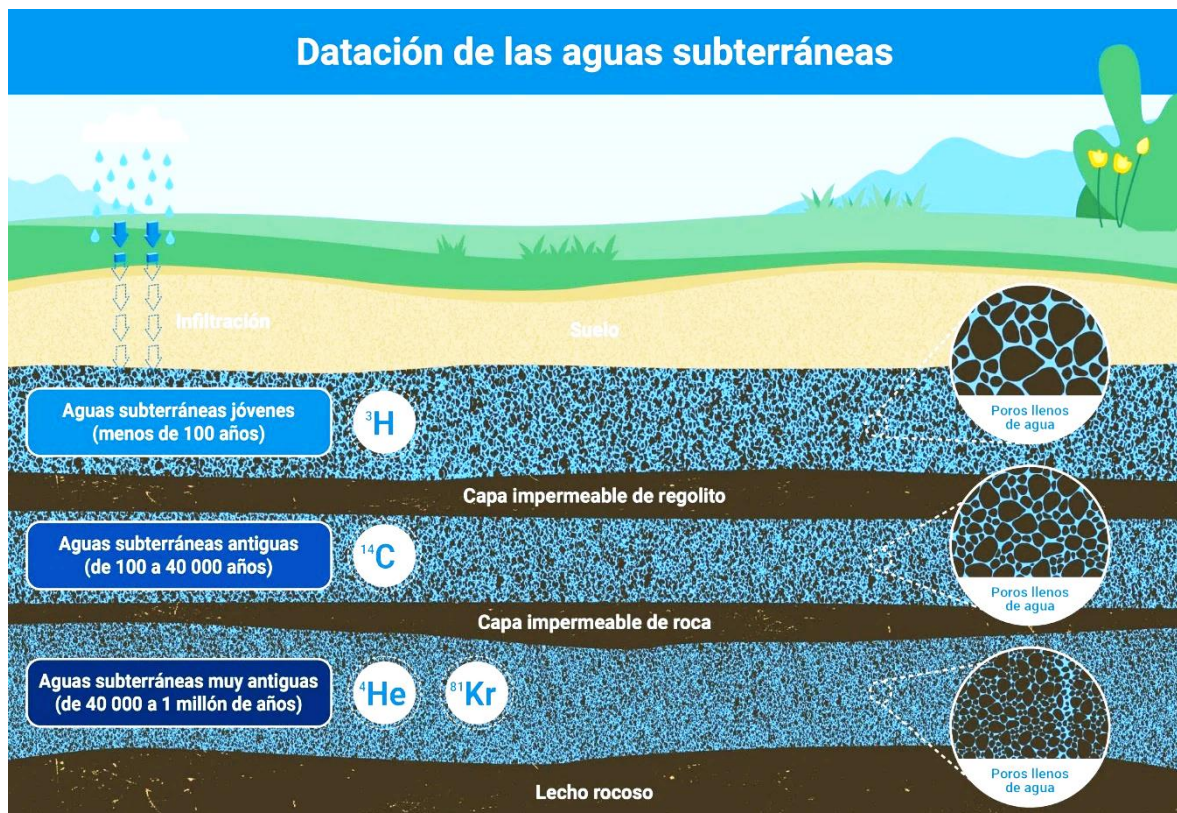


Fuente: (Reyna, 2010).

En relación con el origen de las aguas subterráneas, aquellas que se generan a partir del ciclo hidrológico se clasifican como aguas vadasas o meteóricas. Si su origen radica en la condensación del vapor de agua atmosférico en los poros del suelo, se identifican como aguas subterráneas de precipitaciones ocultas. Aquellas que nunca han tenido contacto con la superficie terrestre y se originan desde las profundidades de la Tierra mediante el proceso de enfriamiento del magma se catalogan como agua juvenil. Si dichas aguas han permanecido atrapadas en el subsuelo durante periodos extensos, se les designa como aguas fósiles. Las aguas meteóricas que han sido calentadas en capas profundas y luego ascienden a la superficie se clasifican como aguas geotermales. Por último, las aguas subterráneas que invaden sedimentos costeros reciben la denominación de aguas subterráneas marinas (Vélez Otálvaro, 1999).

Y a través de la evaluación de los isótopos existentes en las aguas subterráneas ( $^3\text{H}$  (tritio, Isótopo natural del hidrógeno, que es el tercero y último en la serie),  $^{14}\text{C}$  (Carbono 14 o radiocarbono),  $^4\text{He}$  (Helio 4, isotopo ligero y no radiactivo),  $^{81}\text{Kr}$  (Kriptón 81, radioactivo que se ha empleado en la datación de aguas subterráneas para fechar aquellas de edad antigua, que oscilan entre 40,000 y 1,000,000 años), los expertos pueden determinar la edad del agua, inferir el período necesario para que el acuífero se recargue y estimar la cantidad de agua que se está extrayendo para fines humanos, como se aprecia en la siguiente imagen:

**Figura 92.**  
*Edad del agua subterránea.*

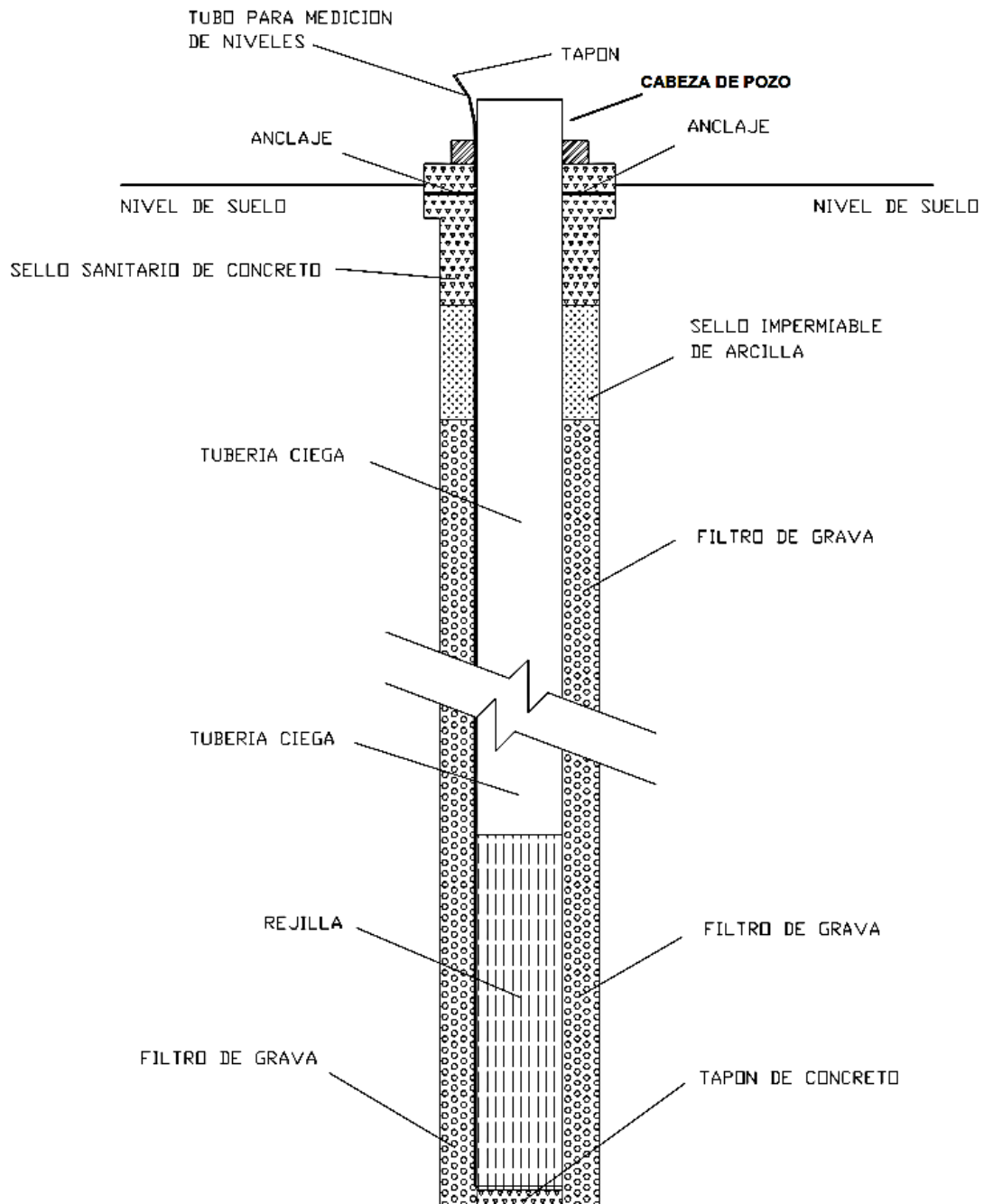


(Fuente: A. Vargas/OIEA).

**Pozo profundo:** Uno de los elementos imprescindibles en el estudio de la hidrogeología son los pozos profundos. Estas estructuras son perforaciones en el suelo que permiten acceder a los acuíferos, que son las formaciones geológicas que acumulan y transmiten el recurso hídrico subterráneo. Los pozos profundos son esenciales para la extracción de agua subterránea con fines de abastecimiento humano, agrícola e industrial.

**Figura 93.**

*Diseño esquemático del pozo profundo.*



*Fuente: Administración nacional de acueductos y alcantarillados - El Salvador.*

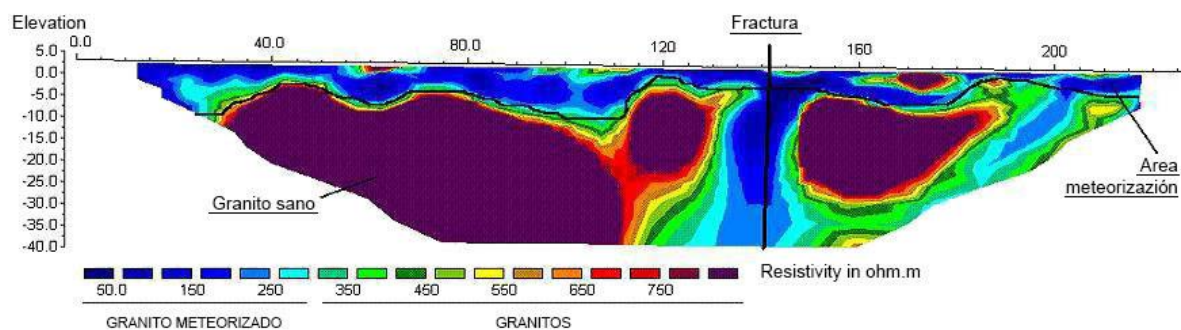
**Análisis hidrogeológico:** El análisis hidrogeológico es una etapa crucial en la planificación y ejecución de proyectos de pozos profundos. Consiste en el estudio detallado de las características del acuífero, incluyendo su transmisividad, conductividad hidráulica y coeficiente de almacenamiento. Estos parámetros de diseño son fundamentales para comprender la capacidad de acumulación y flujo del recurso hídrico subterráneo en el área de interés. Mediante técnicas de



muestreo y análisis geofísicos, es posible identificar la disponibilidad y calidad del agua subterránea, así como evaluar la viabilidad de su extracción a través de pozos profundos. La recopilación y el análisis de datos relacionados con las aguas subterráneas son el pilar fundamental del análisis hidrogeológico. Esto incluye información sobre la geología del área, la topografía, las características hidráulicas de los acuíferos y la calidad del agua subterránea. Utilizándose diversas herramientas y técnicas para recopilar estos datos, como la instalación de pozos de monitoreo, el muestreo de agua subterránea y la medición del nivel de agua en los pozos. El objetivo principal del análisis hidrogeológico es evaluar la disponibilidad y la sustentabilidad del recurso hídrico subterráneo. Esto implica determinar el potencial de recarga de los acuíferos, estimar las tasas de extracción sostenibles y prever posibles impactos de las actividades humanas en el equilibrio hidrológico (Johnson, 1966).

#### Figura 94.

*Estudio hidrogeológico (tomografía de resistividad eléctrica).*



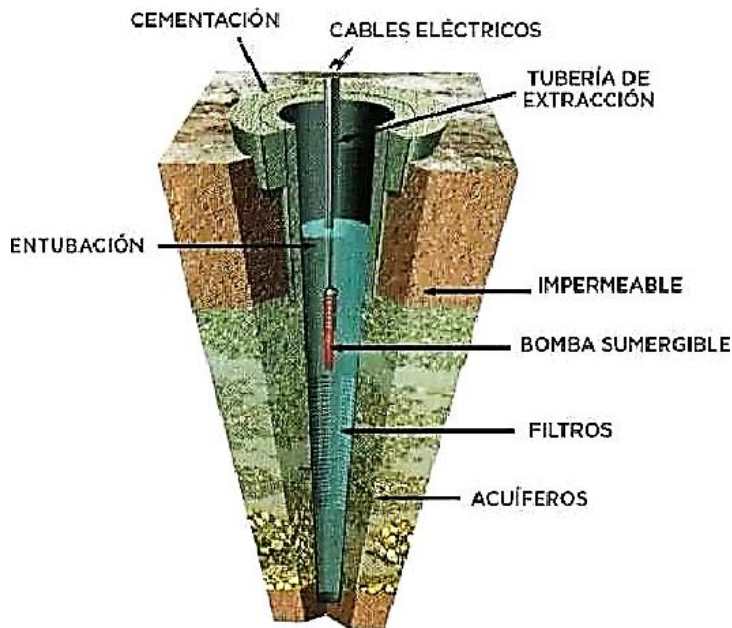
Fuente: <http://www.geoterraestudios.es/estudios-hidrogeologicos>.

**Diseño hidráulico de pozos profundos:** El diseño hidráulico de pozos profundos es una fase crucial para garantizar la eficiencia y la durabilidad de la infraestructura. Existen dos enfoques principales en el diseño hidráulico: el diseño por colapso y el diseño por compresión al pozo. En el diseño por colapso, se consideran las fuerzas dinámicas de gran magnitud que actúan durante la construcción del pozo. Se utilizan técnicas de cálculo estructural para determinar las dimensiones adecuadas de la tubería y el revestimiento, evitando así el colapso del pozo durante su vida útil. Por otro lado, el diseño por compresión al pozo se enfoca en resistir los esfuerzos axiales de compresión sobre la tubería del pozo profundo, el cual es un aspecto crucial en el análisis hidrogeológico y diseño hidráulico de pozos

profundos. El objetivo es comprender cómo el esfuerzo de compresión afecta la resistencia y durabilidad de la tubería, así como identificar las malas prácticas de construcción que pueden llevar al colapso de la misma. El análisis hidrogeológico es esencial para determinar las características del acuífero y garantizar un diseño hidráulico adecuado para los pozos profundos. Sin embargo, el espesor del ademe y su resistencia al esfuerzo de compresión son factores igualmente importantes a considerar. La tubería debe ser capaz de soportar las fuerzas dinámicas de gran magnitud a las que estará expuesta, evitando el colapso y asegurando una vida útil prolongada. Uno de los inconvenientes más comunes vinculantes con el esfuerzo a la compresión sobre el ademe del pozo profundo es el pandeo. Cuando la tubería no cuenta con el adecuado soporte lateral, es vulnerable al pandeo, lo que compromete su resistencia y estabilidad. El descanso de largas longitudes de la grilla en un agujero abierto sin soporte lateral puede llevar al pandeo de la tubería, lo que resulta en un diseño ineficiente y poco confiable. La resistencia al pandeo es un parámetro crucial en el diseño hidráulico por compresión al pozo. El ademe debe ser capaz de soportar los esfuerzos de compresión reproducidos por la columna de agua y las cargas adicionales, como sedimentos o material circundante. El diseño adecuado de la tubería, considerando el área de sección transversal y el esfuerzo del material, es esencial para evitar el colapso y garantizar la resistencia a largo plazo.

## Figura 95.

*Funcionamiento de pozo profundo*



*Fuente:* (US Army Corps of Engineers, 2012)

Es importante tener en cuenta que el fallo de la tubería por compresión también puede conducir a un colapso posterior. Si la tubería no cuenta con la resistencia a la compresión axial necesaria, es probable que falle bajo cargas adicionales, lo que resultará en una disminución en la producción y un deterioro de la calidad del recurso hídrico subterráneo extraído. Para contrarrestar estos problemas y optimizar la construcción de pozos profundos, es esencial adoptar prácticas de buena gestión. Esto implica realizar un análisis hidrogeológico exhaustivo de la formación geológica para comprender las condiciones locales específicas del acuífero. Además, se deben considerar los parámetros de diseño, como la transmisividad, conductividad hidráulica, coeficiente de almacenamiento y espesor de la tubería, para garantizar un diseño hidráulico efectivo y duradero.

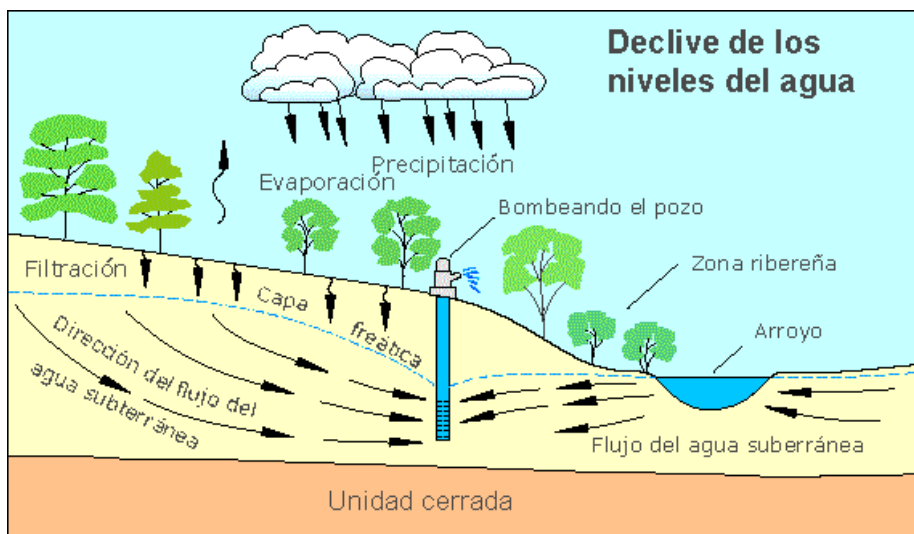
**Flujo del agua subterránea hacia el pozo:** Cuando se excava un pozo, el nivel de agua del mismo se corresponderá con el nivel freático en un acuífero libre o con el nivel piezométrico superficial en un acuífero confinado.

Al iniciarse el bombeo en el pozo, la consecuencia inmediata es un descenso del nivel de agua en el pozo, lo que da lugar a un gradiente hidráulico entre el nivel de agua en el pozo y los lugares adyacentes del mismo acuífero. Debido a la aparición de este gradiente, el agua fluye hacia la captación. El agua se infiltrará en el pozo

si éste tiene forma cilíndrica y el área de infiltración del agua subterránea es toda la superficie del pozo. La descarga de agua se produce desde todos los puntos del acuífero a través de toda la superficie lateral del pozo. El flujo se produce desde todas las localizaciones del acuífero y en orientación al centro del pozo, formando el centro del pozo y estableciendo lo que denominamos flujo radial (Vélez Otálvaro, 1999).

**Figura 96.**

*Desplazamiento del agua subterránea en dirección al pozo.*



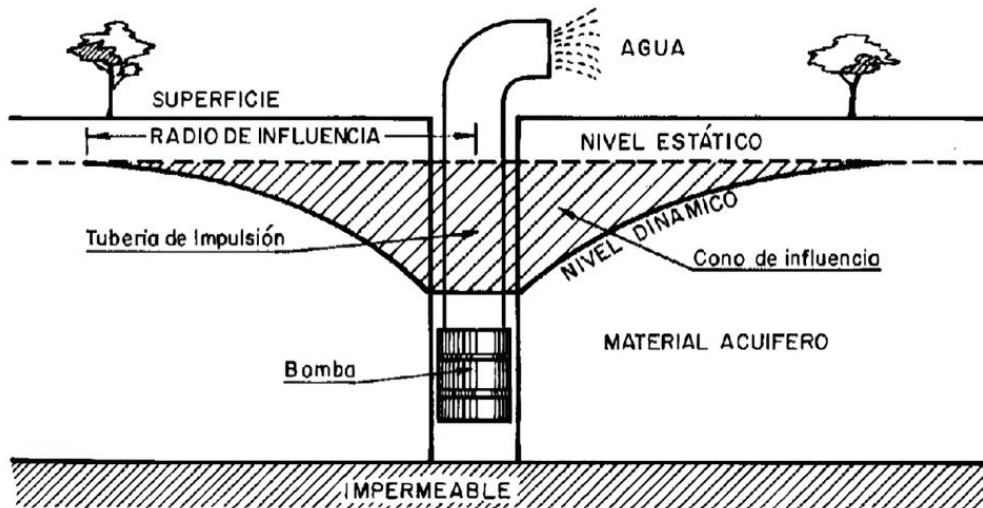
Fuente: <https://water.usgs.gov/gotita/earthgwdecline.html>

**Nivel estático:** La expresión "nivel estático" se refiere a la profundidad a la que se encuentra el nivel del agua subterránea en un pozo, cuando no se repone ni extrae agua subterránea del acuífero. Es un elemento importante para determinar la dinámica de los acuíferos y el suministro de agua subterránea. El nivel estático se calcula midiendo la altura del agua en un pozo profundo en un momento determinado mientras no se extrae agua, es decir, se refiere a la medida de la presión hidrostática en el acuífero en un momento específico. Es fundamental recordar que el nivel estático puede cambiar en función de diversos factores, como la estacionalidad, la recarga del acuífero y las condiciones geológicas locales. La determinación del nivel estático es fundamental para el diseño y supervisión de los procedimientos de extracción de aguas subterráneas. Permite determinar la profundidad a la que deben instalarse los equipos de bombeo para garantizar un suministro de agua adecuado. Además, el nivel estático se utiliza para estimar la capacidad y sostenibilidad de un acuífero.

En resumen, el nivel estático es la profundidad a la que puede descubrirse el recurso hídrico subterráneo del acuífero cuando no se extrae agua mediante el pozo perforado. Es un elemento crítico en la investigación y administración del agua subterránea, y su comprensión permite tomar decisiones fundamentadas sobre el uso y la preservación de las aguas subterráneas.

**Figura 97.**

*Nivel dinámico y nivel estático.*



*Fuente: Villanueva e Iglesias (1984).*

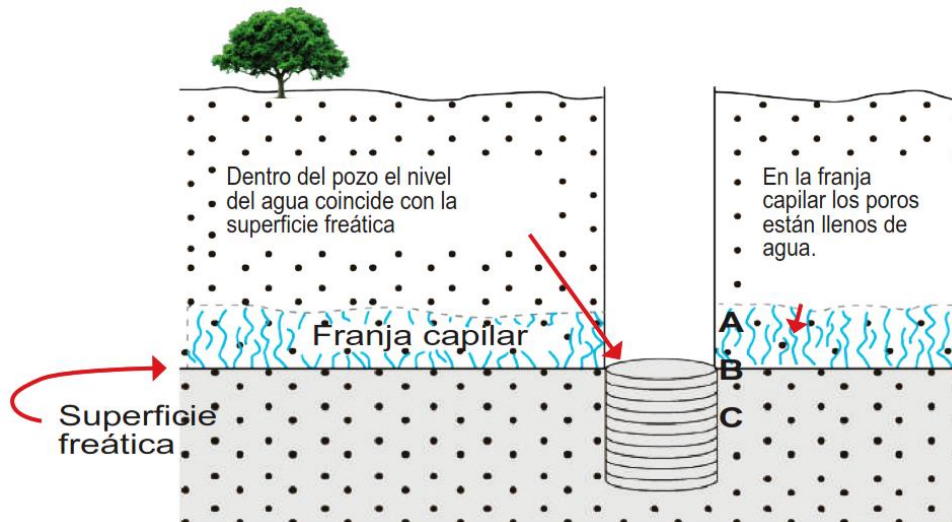
**Nivel dinámico:** En el campo del análisis hidrogeológico y el estudio de los acuíferos, el nivel dinámico es un concepto fundamental que se refiere a la profundidad a la que se ubica el recurso hídrico subterráneo en un pozo o acuífero durante o después de la extracción de agua. Este parámetro ejerce un papel decisivo en la comprensión de la dinámica de los acuíferos y en la administración sostenible del agua subterránea. El análisis del nivel dinámico implica medir y monitorear las variaciones en el nivel del recurso hídrico subterráneo a lo largo del tiempo. Estos cambios están directamente relacionados con la extracción de agua de pozos y pueden variar según la demanda de dicho recurso hídrico, la recarga del acuífero y la permeabilidad de las formaciones geológicas. El nivel dinámico es un indicador importante para evaluar la capacidad de un acuífero y determinar su respuesta a la extracción de agua. Permite estimar la cantidad del recurso hídrico subterráneo disponible y sostenible que se puede extraer sin comprometer la integridad del acuífero. Además, el análisis del nivel dinámico ayuda a predecir los efectos de la extracción del recurso hídrico subterráneo en los acuíferos y a

planificar su uso de manera responsable. La información sobre el nivel dinámico se obtiene mediante la instalación de piezómetros, que son instrumentos de medición que registran el nivel del agua subterránea en tiempo real. Estos datos se utilizan para comprender la dinámica de los acuíferos, identificar posibles problemas como la intrusión de agua salada o la sobreexplotación, y tomar decisiones informadas en la administración del agua subterránea.

En resumen, el nivel dinámico es la profundidad a la que se ubica el recurso hídrico subterráneo en un pozo o acuífero durante o después de la extracción de agua. Su estudio es fundamental para entender la dinámica y la capacidad de los acuíferos, y para garantizar una administración sostenible del agua subterránea. Monitorear y comprender el nivel dinámico nos permite tomar decisiones informadas en el uso y la protección del agua subterránea, asegurando su disponibilidad a largo plazo.

**Nivel freático:** El nivel freático es un término clave en el análisis hidrogeológico que se refiere al nivel superior de un acuífero no confinado en condiciones naturales, es decir, la profundidad a la que se ubica el recurso hídrico subterráneo en ausencia de cualquier presión externa, siendo la superficie a la que el agua subterránea se elevaría si no hubiera **interferencia humana**, como bombeo de agua. Este parámetro es fundamental para comprender la dinámica y el comportamiento de los pozos profundos y su interacción con el agua subterránea. En un análisis hidrogeológico, el nivel freático se determina mediante mediciones en pozos profundos, que nos permiten obtener datos precisos sobre el nivel o profundidad a la que se ubica el recurso hídrico subterráneo.

**Figura 98.**  
*Nivel freático.*



*Fuente: Sánchez, J. (2014).*

Conocer el nivel freático es esencial para evaluar la disponibilidad de agua en un acuífero y para planificar su explotación de manera sostenible. El análisis del nivel freático implica realizar mediciones periódicas para monitorear las variaciones en el nivel del recurso hídrico subterráneo a lo largo del tiempo. Estos cambios pueden estar influenciados por diversos factores, como la temporada de lluvias, la recarga del acuífero y la extracción del recurso hídrico subterráneo de los pozos. El seguimiento del nivel freático permite identificar tendencias, cuantificar la capacidad de almacenamiento del acuífero y medir la influencia de la extracción de agua en el sistema hidrogeológico.

En resumen, el nivel freático es el nivel superior del agua subterránea en un acuífero. Su análisis es esencial en la hidrogeología y en la evaluación de los pozos profundos. Conocer el nivel freático nos permite entender la disponibilidad de agua en un acuífero, planificar su uso sostenible y tomar decisiones informadas en la administración del agua subterránea. Monitorear el nivel freático es fundamental para garantizar un aprovechamiento consciente y sostenible de los recursos hídricos subterráneos.

**Abatimiento:** Si el bombeo se prolonga más allá de un tiempo establecido, el nivel de agua subterránea en el pozo, así como las cotas piezométricas en la zona del pozo, comienzan a descender. La superficie piezométrica, también conocida como

cono de depresión, tiene la apariencia de un cono invertido que comparte su eje de simetría con el pozo. Las líneas de intersección de este cono con planos horizontales son conocidas como curvas de isopiezas, al igual que las intersecciones del cono con esos mismos planos. Además, la curva formada en la intersección con un plano vertical que pasa por el centro del pozo se conoce como la curva de abatimiento. (Vélez Otálvaro, 1999).

**Transmisividad (T):** El cual se caracteriza como el flujo de agua, considerando su viscosidad en ese momento, que atraviesa por unidad de ancho del acuífero bajo un gradiente hidráulico unitario (Reyna, 2010).

$$T = K * b \quad \text{Ecuación ( 105 )}$$

Donde: K= Conductividad hidráulica, b= espesor del acuífero.

Esta característica juega un rol crucial al analizar los pozos profundos y al evaluar tanto la cantidad como la calidad del agua subterránea disponible. En términos sencillos, la transmisividad representa la eficiencia con la que el agua fluye a través de un acuífero. Se expresa en unidades de velocidad de flujo, como m<sup>2</sup>/s (metros cuadrados por segundo) o m<sup>2</sup>/día (metros cuadrados por día).

**Tabla 40.**  
*Parámetros de la Transmisividad (T).*

T (m <sup>2</sup> /día)	EVALUACIÓN ESTIMADA	POTENCIAL DEL SISTEMA ACUÍFERO
T < 10	Extremadamente reducida.	Pozos que producen menos de 1 litro por segundo con una depresión teórica de 10 metros.
10 < T < 100	Reducida	Pozos que producen entre 1 a 10 litros por segundo con una depresión teórica de 10 metros.
100 < T < 500	Moderada a elevada.	Pozos que producen entre 10 a 50 litros por segundo con una depresión teórica de 10 metros.
500 < T < 1000	Elevada	Pozos que producen entre 50 a 100 litros por segundo con una depresión teórica de 10 metros.



---

$T > 1000$

Extremadamente elevada

Pozos que producen más de 100 litros por segundo con una depresión teórica de 10 metros.

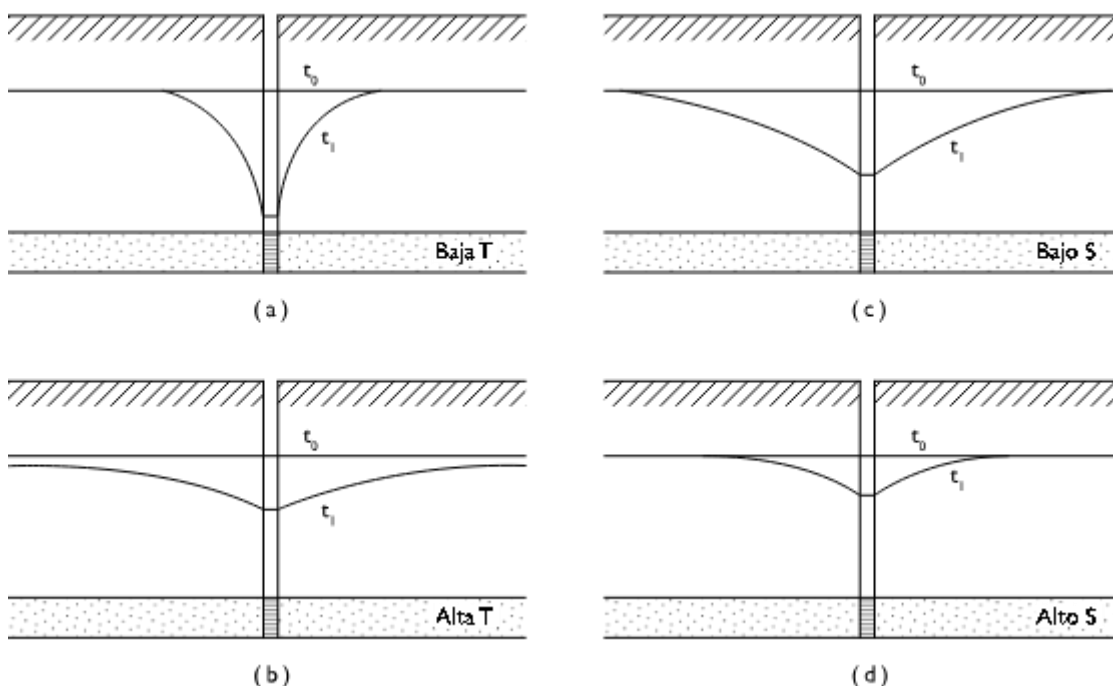
---

Fuente: (Villanueva Martínez & Iglesias López, 1984).

Cuanto mayor sea la transmisividad de un acuífero, mayor será su capacidad para transportar agua y suministrar caudales sostenibles a los pozos profundos. El cálculo de la transmisividad se basa en mediciones y pruebas de bombeo realizadas en pozos. Estas pruebas consisten en extraer agua de un pozo a un caudal conocido y medir los cambios en el nivel del recurso hídrico subterráneo en el pozo y en los pozos de observación cercanos. A partir de estos datos, se pueden aplicar fórmulas y métodos matemáticos para determinar la transmisividad del acuífero.

### Figura 99.

Conos de depresión según transmisividad del acuífero.



(a) Transmisividad reducida; (b) Transmisividad elevada; (c) Almacenamiento limitado; (d) Almacenamiento considerable. Fuente: Universidad de Guelph, Guelph, Ontario, Canadá.

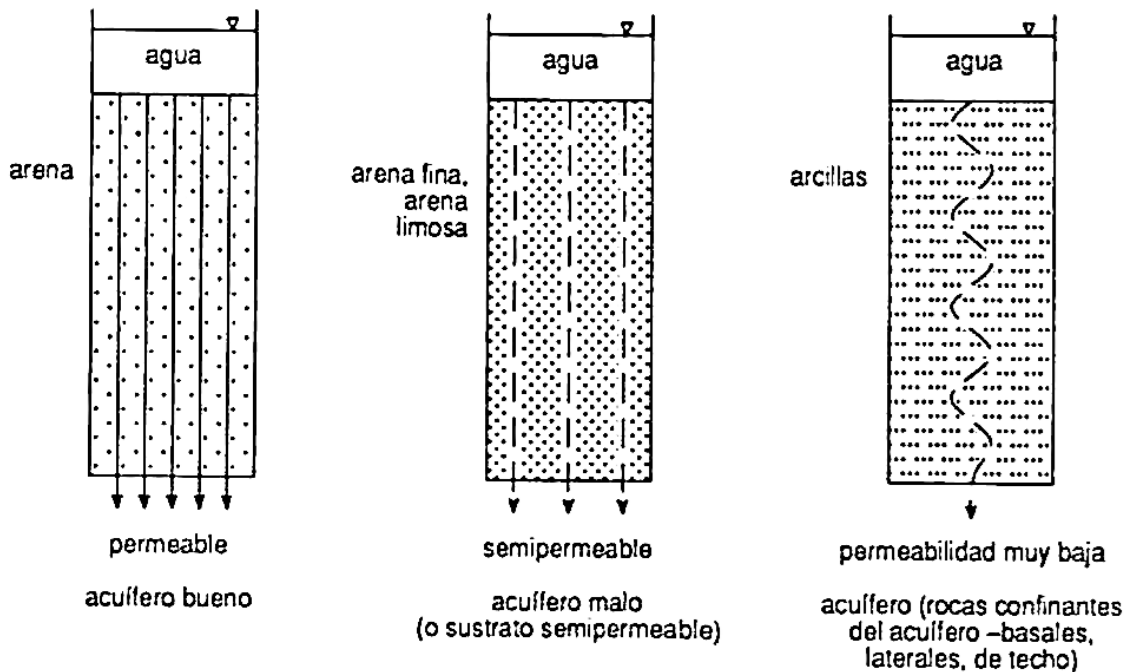
La transmisividad está influenciada por diversas características hidrogeológicas, como la permeabilidad del acuífero, la porosidad del medio y la estructura geológica subyacente. Acuíferos con alta permeabilidad y gran capacidad de almacenamiento

generalmente tienen una mayor transmisividad, lo que los convierte en fuentes valiosas de agua subterránea. En resumen, En el ámbito de la hidrogeología, la transmisividad emerge como un parámetro vital que señala la habilidad de un acuífero para transmitir el flujo del recurso hídrico subterráneo. Esta característica fundamental se erige como pilar en el análisis de pozos de gran profundidad y en la evaluación de la accesibilidad al recurso hídrico subterráneo. La comprensión y el cálculo de la transmisividad se vuelven imprescindibles para gestionar de manera sostenible los recursos acuíferos subterráneos, asegurando así un abastecimiento adecuado y confiable mediante los pozos profundos.

**Conductividad hidráulica (K) o permeabilidad:** La conductividad hidráulica es un concepto esencial en la hidrogeología que se refiere a la capacidad de un material o formación geológica para posibilitar el paso del recurso hídrico subterráneo a través de él. Esta propiedad es fundamental en el análisis de pozos profundos y valorar tanto la disponibilidad como la excelencia del recurso hídrico subterráneo. En términos sencillos, la conductividad hidráulica representa la facilidad con la que el agua puede moverse a través de un medio poroso, como un acuífero. Se expresa en unidades de velocidad de flujo, como metros cúbicos por segundo. Cuanto mayor sea la conductividad hidráulica de un acuífero, mayor será su capacidad para permitir que el agua fluya libremente.

### Figura 100.

Permeabilidad según sustratos



Fuente: (Werner, 1996)

El cálculo de la conductividad hidráulica se basa en mediciones y pruebas de permeabilidad realizadas en el terreno. Estas pruebas involucran la inyección de agua en un pozo y la medición de la velocidad con la que el recurso hídrico se mueve a través del material poroso. A partir de estos datos, se pueden obtener valores de conductividad hidráulica que son cruciales para comprender el comportamiento del acuífero y su capacidad para suministrar agua a través de pozos profundos. La conductividad hidráulica está influenciada por diferentes factores, como la porosidad del medio, la distribución de los poros y la permeabilidad de los materiales geológicos. Acuíferos con alta conductividad hidráulica tienen la capacidad de suministrar mayores caudales de agua a los pozos profundos, lo que los convierte en fuentes valiosas de abastecimiento de agua. En resumen, La conductividad hidráulica emerge como un factor esencial en el ámbito de la hidrogeología, señalando la facilidad con la que el recurso hídrico subterráneo puede circular a través de un medio poroso como un acuífero. Esta propiedad resulta fundamental en el análisis de pozos profundos y en la evaluación de la disponibilidad del recurso hídrico subterráneo. Comprender y calcular la conductividad hidráulica adquiere una importancia fundamental para gestionar

adecuadamente las aguas subterráneas y asegurar un abastecimiento de agua fiable a través de los pozos profundos (Maidment David R., 1993).

**Tabla 41.**

*Conductividades hidráulicas obtenidas por diversos investigadores.*

	Domenico & Schwartz	Smith & Weathcraft	Freeze & Cherry	Fetter	Sanders	
	(1990)	(1993)	(1979)	(2001)	(1988)	
<b>Sedimentos</b>	<b>Grava</b>	25 a 2500	100 a 10 <sup>5</sup>	100 a 10 <sup>6</sup>	10 a 1000	
	<b>Grava con arena</b>					
	<b>Arena gruesa</b>	0.1 a 500	0.01 a 1000	1 a 1000	1 a 100	1 a 100
	<b>Arena media</b>	0.1 a 50				
	<b>Arena fina</b>	0.02 a 20			0.01 a 1	
	<b>Arena arcillosa</b>			0.01 a 100	0.001 a 0.1	0.01 a 1
	<b>Limo</b>	10 <sup>-4</sup> a 2	10 <sup>-4</sup> a 1	10 <sup>-4</sup> a 1	0.001 a 0.1	10 <sup>-4</sup> a 1
	<b>Arcilla</b>	10 <sup>-6</sup> a 4X10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-7</sup> a 10 <sup>-3</sup>		10 <sup>-6</sup> a 10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-6</sup> a 10 <sup>-3</sup>
<b>Rocas sedimentarias</b>	<b>Arcilla marina, inalterada</b>	10 <sup>-7</sup> a 2X10 <sup>-4</sup>		10 <sup>-11</sup> a 10 <sup>-7</sup>		
	<b>Calizas carstificadas</b>	0.1 a 2000	0.05 a 0.5	0.1 a 1000	0.1 a 10 <sup>7</sup>	
	<b>Calizas, dolomías</b>	10 <sup>-4</sup> a 0.5	0.001 a 0.5	10 <sup>-4</sup> a 1		10 <sup>-4</sup> a 1
	<b>Areniscas</b>	3X10 <sup>-5</sup> a 0.5	10 <sup>-5</sup> a 1	10 <sup>-5</sup> a 1		
	<b>Argilitas (limolita)</b>	10 <sup>-6</sup> a 0.001				
	<b>Pizarras sedimentarias (esquisto) intactas</b>	10 <sup>-8</sup> a 2X10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-8</sup> a 10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup> a 10 <sup>-8</sup>		10 <sup>-4</sup> a 10 <sup>-8</sup>
	<b>Pizarras sedimentarias (esquisto) fracturadas/alteradas</b>		10 <sup>-4</sup> a 1			
<b>Rocas cristalinas</b>	<b>Basalto inalterado, sin fracturar</b>		10 <sup>-6</sup> a 10 <sup>-3</sup>		10 <sup>-6</sup> a 10 <sup>-3</sup>	
	<b>Basalto fracturado/vesicular cuaternario</b>		10 a 1000		0.1 a 10 <sup>6</sup>	

	Domenico & Schwartz (1990)	Smith & Weathcraft (1993)	Freeze & Cherry (1979)	Fetter (2001)	Sanders (1988)
Escorias basálticas		0.001 a 1000			
Basalto permeable	0.03 a 2000		0.02 a 1000		
Rocas ígneas y metamórficas sin fracturar	$10^{-9}$ a $10^{-5}$	$10^{-9}$ a $10^{-5}$	$10^{-9}$ a $10^{-5}$		$10^{-9}$ a $10^{-5}$
Rocas ígneas y metamórficas fracturadas	0.001 a 25	$10^{-5}$ a 1	0.0005 a 20		$10^{-5}$ a 1
Granito alterado	0.3 a 5				
Gabro alterado	0.05 a 0.3				

*Conductividades hidráulicas (expresadas en metros por día) obtenidas a través de experimentos de laboratorio realizados por diversos investigadores (Maidment David R., 1993).*

**Tabla 42.**

*Parámetros hidrogeológicos en el valle de Moquegua.*

N°	Parámetro	Unidad	Valor
1	Transmisibilidad (T)	m <sup>2</sup> /s	De $0.06 \times 10^{-2}$ a $24.70 \times 10^{-2}$
2	Permeabilidad o conductividad hidráulica (K)	m/s	De $0.15 \times 10^{-4}$ a $24.00 \times 10^{-4}$
3	Coefficiente de almacenamiento (S)	%	De 1.36 a 3.63

*Parámetros hidrogeológicos derivados de pruebas de bombeo realizadas en el valle de Moquegua (INGEMMET et al., 2019)*

**Tabla 43.**

*Parámetros hidrogeológicos en el valle de Ilo*

N°	Parámetro	Unidad	Valor
1	Transmisibilidad (T)	m <sup>2</sup> /s	De $0.06 \times 10^2$ a $1.83 \times 10^{-2}$

2	Permeabilidad o conductividad hidráulica (K)	m/s	De $0.84 \times 10^{-4}$ a $28.68 \times 10^{-4}$
3	Coefficiente de almacenamiento (S)	%	De 2.75 a 3.00

Parámetros hidrogeológicos derivados de pruebas de bombeo realizadas en el valle de Ilo (INGEMMET et al., 2019).

**Tabla 44.**

Valores referenciales de conductividad hidráulica (k).

Material	K (m/día)
Roca fracturada, Grava limpia	1000
Arena gruesa no consolidada limpia	10 -1000
Conglomerado de arena	5- 10
Arena fina	1 – 5
Arena con presencia de limos	0.1 – 2
Limos	0.001 – 0.5
Arcillas	<0.001

Fuente: (Vélez Otálvaro, 1999)

**Figura 101.**

Ordenamiento de las formaciones de acuerdo a su capacidad de permeabilidad o conductividad hidráulica.

K (m/s)	10 <sup>1</sup> 1 10 <sup>-1</sup> 10 <sup>-2</sup> 10 <sup>-3</sup> 10 <sup>-4</sup> 10 <sup>-5</sup> 10 <sup>-6</sup> 10 <sup>-7</sup> 10 <sup>-8</sup> 10 <sup>-9</sup> 10 <sup>-10</sup> 10 <sup>-11</sup>											
	GRANULOMETRIA	Homogenea	Grava pura		Arena pura	Arena muy pura	Limo	Arcilla				
Variada		Grava gruesa y mediana	Grava y Arena	Arena, Arcilla y Limos								
GRADOS DE PERMEABILIDAD	BUENA – MUY BUENA				M A L A			N U L A				
TIPO DE FORMACION	PERMEABLES				SEMI IMPERMEABLE			IMPERMEABLE				

Fuente: (Vélez Otálvaro, 1999)

**Tabla 45.**

*Régimen de flujo subterráneo en materiales no consolidados.*

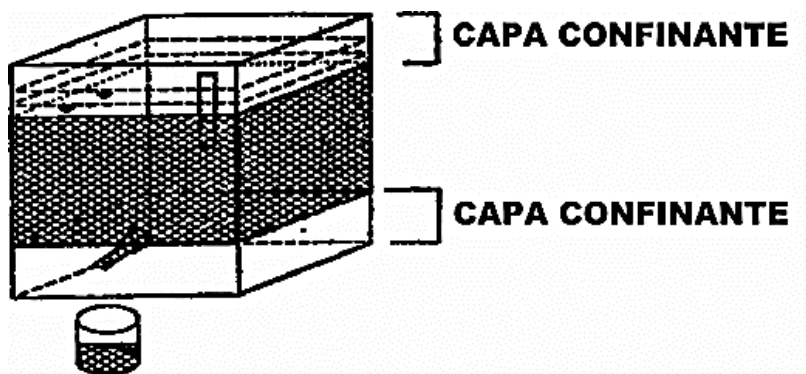
MATERIALES NO CONSOLIDADOS	VELOCIDAD ( $\times 10^{-3}$ cm/s)
Gravas	2.3 – 4.1
Arenas de grano grueso	1.7 – 2.3
Arenas de grano fino y arenas arcillosas	0.58 – 1.2
Arcillas	0.12 – 0.35

*Fuente:* (Comisión Nacional del Agua (México), 2007).

**Coefficiente de almacenamiento (S):** Se establece como la cantidad de agua que, por unidad de superficie del acuífero, se extrae o almacena en el mismo al ocurrir un cambio unitario en el potencial hídrico (Theis, 1938).

**Figura 102.**

*Coefficiente de almacenamiento*



*Fuente:* (Comisión Nacional del Agua (México), 2007)

Este parámetro es de gran importancia en el análisis de pozos profundos y en la administración de las aguas subterráneas. En pocas palabras, el coeficiente de almacenamiento refleja la cantidad de agua que un acuífero es capaz de mantener en su interior. Se mide en términos de volumen de agua por unidad de volumen de roca fracturada o suelo poroso. A medida que aumenta el coeficiente de almacenamiento de un acuífero, se incrementa su capacidad para conservar y liberar agua.

$$S = S_s * b$$

Ecuación ( 106 )

$$S_s = \rho g * (\alpha + n\beta)$$

Ecuación ( 107 )

Donde:  $S$  es el coeficiente de almacenamiento cuya medida es adimensional,  $S_s$  es el coeficiente de almacenamiento específico,  $b$  es el espesor saturado del acuífero medido en metros,  $\rho$  es la densidad del agua,  $g$  es  $9.81 \text{ m/s}^2$ ,  $\alpha$  es la compresibilidad del acuífero medido en  $\text{pascuales}^{-1}$ ,  $n$  es la porosidad del acuífero cuya medida es adimensional,  $\beta$  es la capacidad de compresión del agua dentro del acuífero medido en  $\text{pascuales}^{-1}$ .

La determinación del coeficiente de almacenamiento se basa en estudios y mediciones realizadas en el campo. Se utilizan diferentes métodos, como pruebas de bombeo, para evaluar la respuesta del acuífero al cambio en los niveles de agua. A partir de estos datos, se pueden calcular los valores del coeficiente de almacenamiento, en la mayoría de los acuíferos confinados, se observa que el coeficiente de almacenamiento variaba en un rango que iba desde  $10^{-5}$  hasta  $10^{-3}$ . Por otro lado, en los acuíferos no confinados, dicho coeficiente presentaba oscilaciones comprendidas entre 0.1 y 0.3 (Reyna, 2010). El coeficiente de almacenamiento está influenciado por diversos factores, como la porosidad del acuífero, la permeabilidad de los materiales geológicos y la estructura del subsuelo. Acuíferos con coeficientes de almacenamiento altos tienen la capacidad de almacenar grandes volúmenes de agua y pueden ser fuentes significativas de suministro hídrico a través de pozos profundos. En resumen, el coeficiente de almacenamiento es un parámetro clave en la hidrogeología que indica la capacidad de un acuífero para almacenar y liberar el recurso hídrico subterráneo. Es un indicador primordial en el análisis de pozos profundos y en la administración adecuada del agua subterránea. Comprender y calcular el coeficiente de almacenamiento es fundamental para garantizar una gestión sostenible del agua subterránea y para asegurar un suministro confiable a través de los pozos profundos.

**Durabilidad:** La durabilidad es un factor crucial en el campo de la hidrogeología, especialmente cuando se trata de la construcción y mantenimiento de pozos profundos. En este contexto, la durabilidad se refiere a la capacidad de los



materiales empleados en la construcción de pozos para resistir los efectos del tiempo y mantener su funcionalidad a lo largo de su vida útil.

En la hidrogeología, los pozos profundos desempeñan un papel fundamental en la extracción de agua subterránea. Estos pozos están expuestos a una serie de condiciones ambientales y geológicas que pueden afectar su durabilidad. Factores como la presencia de agentes químicos agresivos en el agua, la composición del suelo circundante y las fluctuaciones en los niveles de agua pueden influir en la vida útil y el rendimiento de un pozo profundo. Es esencial que los materiales empleados en la construcción de los pozos sean duraderos y resistentes a los factores que podrían acortar su vida útil. Esto implica la selección cuidadosa de materiales de excelentes prestaciones mecánicas y la aplicación de metodologías de construcción apropiadas. Por ejemplo, se pueden utilizar revestimientos y aditivos especiales para proteger el pozo de la corrosión y el desgaste prematuro. La durabilidad de un pozo profundo también está estrechamente relacionada con su mantenimiento regular. Los pozos deben ser inspeccionados y evaluados periódicamente para detectar posibles problemas y realizar las reparaciones necesarias. Un mantenimiento adecuado garantiza que el pozo mantenga su integridad estructural y funcionalidad a lo largo del tiempo.

En resumen, la durabilidad de un pozo profundo es un aspecto clave en la hidrogeología. Garantizar que los materiales utilizados en la construcción del pozo sean duraderos y resistentes a las condiciones ambientales es fundamental para su vida útil y rendimiento a largo plazo. Además, un mantenimiento regular y adecuado es esencial para preservar la durabilidad del pozo a lo largo del tiempo.

**Infiltración:** La infiltración es un proceso fundamental en el campo de la hidrogeología que juega un rol crucial en el ciclo del recurso hídrico y en la recarga de los acuíferos. Se refiere al movimiento del recurso hídrico desde la superficie hacia el sub suelo, a medida que penetra a través de los poros y las grietas existentes. En el contexto de los pozos profundos y la hidrogeología, la infiltración es un aspecto importante a considerar. Cuando se perfora un pozo en el suelo, la infiltración puede afectar tanto la calidad como en la cantidad del recurso hídrico que se almacena. El suelo actúa como un medio a través del cual el agua se filtra,

y la predisposición de infiltración del suelo puede diferir según su composición y atributos. La infiltración se ve condicionada por diversos elementos, como la textura del suelo, la vegetación circundante, la existencia de capas impermeables y la intensidad de las precipitaciones. Los suelos con alta capacidad de infiltración permiten que el agua se infiltre rápidamente, mientras que los suelos con baja capacidad de infiltración pueden generar escorrentía superficial. Es esencial comprender la infiltración en el contexto de la hidrogeología y la administración del agua subterránea. Realizar mediciones y llevar a cabo un seguimiento de la infiltración son etapas cruciales para evaluar la cantidad del recurso hídrico que penetra el suelo y la rapidez con la que lo hace. Este proceso es fundamental para estimar la reserva del recurso hídrico subterráneo en los acuíferos y contribuye significativamente en su gestión y a planificar adecuadamente el uso de los recursos hídricos (Werner, 1996).

En conclusión, la infiltración es un proceso clave en la hidrogeología que describe el movimiento del agua desde la superficie hacia el suelo. Contar con un entendimiento claro resulta primordial para valorar la recarga de los acuíferos y la cantidad de agua aprovechable en los pozos profundos. La capacidad de penetración del suelo se encuentra influenciada por diversos elementos, y su medición se convierte en un elemento fundamental para el manejo sustentable de los recursos hídricos.

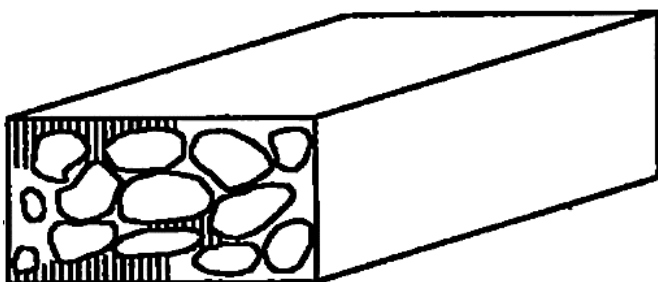
**Porosidad:** La porosidad es un concepto fundamental en el campo de la hidrogeología y se refiere a la cantidad de espacios vacíos, o poros, presentes en un material, como el suelo (Werner, 1996).

$$n(\%) = \left( \frac{V_v}{V_t} \right) * 100 \quad \text{Ecuación ( 108 )}$$

Donde:  $n$  es la porosidad,  $V_v$  es el volumen de espacio vacío,  $V_t$  es el volumen total.

**Figura 103.**

*Porosidad*



*Proporción entre el volumen ocupado por los espacios vacíos y el volumen total del material. Fuente: (Comisión Nacional del Agua (México), 2007).*

Estos pequeños espacios desempeñan un papel fundamental, ya que determinan la habilidad de almacenamiento y el flujo del recurso hídrico subterráneo en el subsuelo. En el contexto de los pozos profundos y la hidrogeología, la porosidad del suelo adquiere una relevancia central. Estos espacios pueden variar en tamaño, forma y conexión, influyendo en la aptitud del suelo para mantener y conducir el agua. Una porosidad mayor denota una capacidad superior de retener y transportar agua, mientras que una menor porosidad resulta en una limitación en retención y transmisión. La porosidad se cuantifica como un porcentaje que refleja la proporción de volumen de los espacios en relación con el volumen total del material. Diversos métodos, como pruebas de terreno y análisis de muestras en laboratorio, se emplean para determinar la porosidad del suelo. Estos datos son esenciales para comprender la habilidad de almacenamiento y la conducción de agua subterránea en un acuífero.

**Tabla 46.**

*Datos de Porosidad correspondientes a diferentes categorías de suelos*

SUELO	% DE POROSIDAD
Arcillas	50-60
Arenas finas	40-50
Arenas medias	35-40
Arenas gruesas	25-35
Gravas	20-30
Arenas y gravas mezcladas	10-30
Depósito Glacial	25-45
Rocas sólidas y rocas densas	< 1
Rocas ígneas fracturadas y debilitadas	2-10
Basaltos recientes permeables	2-5
Lava vesicular	10-50

Roca volcánica	30
Conglomerado de Arena	5-30
Roca carbonatada con porosidad original y secundaria	10-20

*Fuente: Davis (1969) y (Reyna, 2010)*

La porosidad del suelo también influye en la productividad de un pozo profundo. Un suelo con alta porosidad puede almacenar grandes volúmenes de agua y permitir un flujo más eficiente hacia un pozo, lo que resulta en una mayor extracción de agua. Por otro lado, un suelo con una porosidad reducida puede restringir la cantidad del recurso hídrico que se puede extraer de un pozo y tener un impacto en su desempeño. Es fundamental resaltar que la porosidad del suelo puede ser influenciada por múltiples componentes, como la estructura del suelo, la compactación, la presencia de materia orgánica y la actividad biológica. La comprensión y evaluación de la porosidad resultan fundamentales para la administración sostenible del agua subterránea y la planificación de la infraestructura de pozos profundos.

En resumen, la porosidad es un concepto clave en la hidrogeología que describe la cantidad de espacios vacíos presentes en un material, como el suelo. La porosidad del suelo influye en su capacidad de almacenamiento y flujo de agua subterránea, lo que tiene implicaciones en la productividad de los pozos profundos. Medir y comprender la porosidad es esencial para una gestión adecuada de las aguas subterráneas y la proyección de infraestructuras concernientes a los pozos profundos en el campo de la hidrogeología.

**Caudal:** Dentro del ámbito de la hidrogeología, la expresión “caudal” alude a la medida del recurso hídrico que circula por un punto concreto de un sistema hidrológico, como un pozo profundo. El caudal se erige como un elemento esencial para la comprensión y la gestión de los recursos hídricos, ya que nos suministra datos sobre la cantidad de agua disponible en un lugar y tiempo determinados. El caudal se puede medir utilizando diferentes métodos, y uno de los más utilizados es a través de pruebas de bombeo a régimen constante. Estas pruebas consisten en extraer agua de un pozo a un ritmo determinado durante un período de tiempo específico, mientras se registran los cambios en los niveles de agua. Estos datos se utilizan para calcular el caudal y determinar las características hidráulicas del

acuífero, como su capacidad de almacenamiento y su permeabilidad (Azevedo Netto et al., 2005).

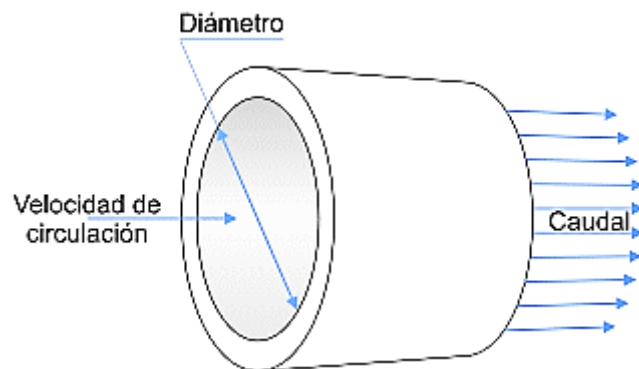
$$Q = A * v \quad \text{Ecuación ( 109 )}$$

$$Q = \frac{V}{t} \quad \text{Ecuación ( 110 )}$$

Donde: “Q” expresa el caudal, “A” indica el área de la sección transversal, “v” representa la velocidad, “V” indica el volumen y “t” indica el tiempo.

### Figura 104.

*Caudal*



*Fuente: José Luis R. (2020)*

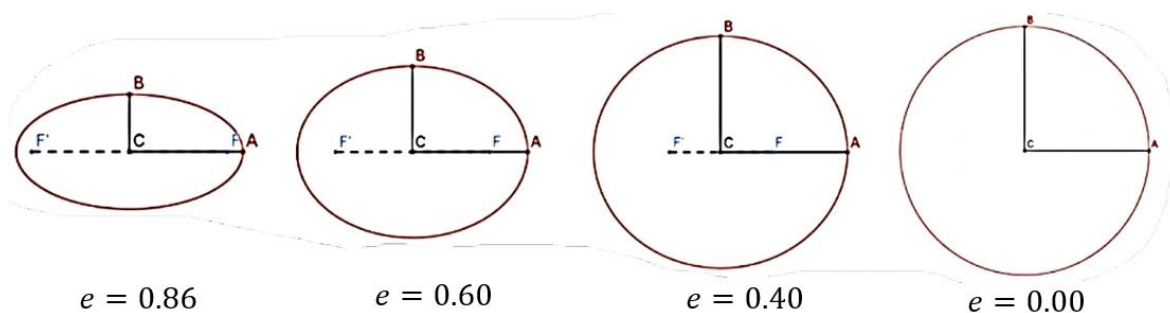
La medición precisa del caudal es crucial para una administración satisfactoria del agua subterránea. Permite evaluar la disponibilidad de agua y determinar si un pozo o una fuente de agua subterránea puede satisfacer las demandas de consumo, ya sea para uso doméstico, agrícola o industrial. Además, el caudal también es importante para monitorear y prevenir situaciones de sobreexplotación o agotamiento de los acuíferos. En el contexto de la hidrogeología, la cantidad de agua que fluye, conocida como caudal, está sujeta a la influencia de diversos elementos, entre ellos la capacidad de permeabilidad del suelo y las características geológicas del acuífero. Los suelos más permeables permiten un mayor flujo de agua, mientras que las formaciones geológicas menos permeables pueden restringir el caudal. Por lo tanto, comprender las propiedades del suelo y la geología local es esencial para evaluar y predecir el comportamiento del caudal en un área determinada. En resumen, En la disciplina de la hidrogeología, el caudal es un indicador esencial que indica la cantidad de agua que se desplaza por un punto

particular dentro de un sistema hidrológico determinado. Su medición precisa, a través de pruebas de bombeo a régimen constante, permite evaluar la disponibilidad de agua y comprender las características hidráulicas de los acuíferos. El caudal es crucial para la administración productiva del agua subterránea y la toma de decisiones informadas en cuanto al uso y aprovechamiento de dicho recurso acuífero.

**Excentricidad:** La excentricidad en el contexto de la hidrogeología y los pozos profundos se refiere a la posición desplazada o alejada del centro de un objeto o estructura con respecto a su eje principal. En el caso de un pozo profundo, la excentricidad se refiere a la desviación del tubo o ademe con respecto al centro del pozo. La excentricidad puede ocurrir durante el proceso de perforación y colocación del ademe de un pozo profundo (US Army Corps of Engineers, 2012).

**Figura 105.**

*Excentricidad en una sección transversal de tubería.*



Fuente: <https://cepafuerteventuranorte.es> (2020).

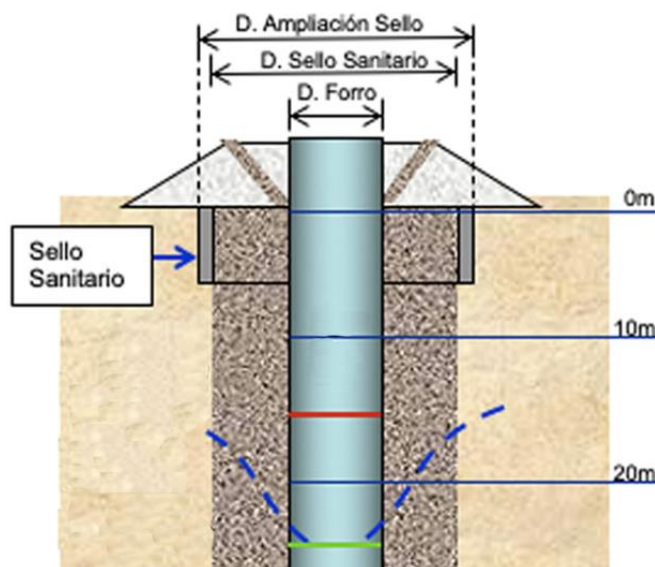
Debido a diferentes factores geológicos y operativos, es posible que el tubo o ademe no se coloque perfectamente en el centro del pozo, sino que se desplace hacia un lado. Esta desviación puede ser mínima o significativa, dependiendo de las circunstancias. La excentricidad en un pozo profundo puede tener implicaciones importantes. Por un lado, puede afectar la estabilidad y la integridad estructural del pozo. Si el tubo o ademe está desplazado de manera significativa, puede generar tensiones y cargas desequilibradas en las paredes del pozo, lo que podría llevar al colapso o la deformación del pozo. Además, la excentricidad también puede influir en el flujo de agua en el pozo. Si el tubo está desplazado hacia un lado, puede haber una mayor resistencia al flujo y una distribución desigual del caudal. Esto puede afectar la capacidad del pozo para extraer agua de manera eficiente y afectar

la productividad del mismo. Es importante tener en cuenta la excentricidad al diseñar y construir pozos profundos. Se deben realizar pruebas y mediciones adecuadas para determinar la posición y el desplazamiento del tubo o ademe y tomar medidas correctivas si es necesario. Esto garantizará la estabilidad estructural del pozo y optimizará el rendimiento hidrogeológico. En conclusión, la excentricidad en un pozo profundo se refiere al desplazamiento o alejamiento del tubo o ademe del centro del pozo. Esta desviación puede afectar la estabilidad estructural y el rendimiento hidrogeológico del pozo. Es importante realizar mediciones y pruebas adecuadas para garantizar un diseño y construcción adecuados del pozo.

**Diámetro:** El diámetro es un concepto fundamental en el campo de la hidrogeología y los pozos profundos. En terminologías simples, el diámetro se refiere a la medida de la distancia entre dos puntos en un círculo que pasa por su centro. En el contexto de los pozos profundos, el diámetro se aplica al tubo o ademe que se utiliza para construir el pozo (Johnson, 1966).

**Figura 106.**

*Diámetro del pozo.*



Fuente: <https://www.aguaparko.com>

El diámetro del tubo o ademe es un factor transcendental en el diseño y la construcción de pozos profundos. Determina la capacidad del pozo para captar agua subterránea y el volumen del recurso hídrico subterráneo que se puede

obtener del acuífero. Un diámetro adecuado del tubo garantiza un flujo óptimo de agua hacia el pozo y permite una mayor eficiencia en la extracción. En la hidrogeología, se consideran varios factores al determinar el diámetro del tubo. Estos incluyen la permeabilidad del suelo circundante, la capacidad de producción del acuífero, las necesidades de suministro de agua y los requisitos de seguridad. Es importante tener en cuenta que el diámetro adecuado puede cambiar según las particularidades únicas de cada ubicación y los propósitos del proyecto. Además de su impacto en la capacidad de captación de agua, el diámetro del tubo también influye en la calidad del agua extraída. Un diámetro inadecuado puede permitir la entrada de partículas sólidas o sedimentos al pozo, lo que puede afectar la calidad y la vida útil del sistema de bombeo. Por consiguiente, resulta primordial evaluar minuciosamente el diámetro del tubo con el fin de asegurar una extracción segura y de excelente calidad del recurso hídrico subterráneo. En síntesis, el diámetro corresponde a la dimensión que mide la distancia entre dos puntos en un círculo y representa un factor esencial en la planificación y ejecución de pozos profundos. En el contexto de los pozos, el diámetro del tubo o ademe tiene una relevancia importante en la capacidad para captar el recurso hídrico subterráneo de manera efectiva y la calidad de dicho recurso subterráneo extraído. Considerar el diámetro adecuado es esencial para garantizar un rendimiento óptimo del pozo y una extracción segura y eficiente de agua subterránea.

**Espesor de pared:** El espesor de pared es un término fundamental en la hidrogeología y la construcción de pozos profundos. Se refiere a la medida del grosor de la pared del tubo o ademe utilizado en la construcción del pozo. El espesor de pared es un factor crítico que influye en la resistencia estructural y la durabilidad del sistema de pozos profundos. En el contexto de la hidrogeología, el espesor de pared se considera cuidadosamente durante el diseño y la selección del tubo o ademe para garantizar que sea capaz de soportar las condiciones geológicas y las cargas mecánicas a las que estará expuesto. Un espesor de pared adecuado proporciona la resistencia necesaria para mantener la integridad estructural del pozo a lo largo del tiempo. Además de la resistencia estructural, el espesor de pared también juega un papel importante en la protección del agua subterránea. Un espesor de pared suficiente evita la contaminación y la infiltración



de sustancias indeseables desde el entorno circundante hacia el pozo. Esto es particularmente importante en áreas donde existen fuentes potenciales de contaminación, como actividades industriales o agrícolas. La selección del espesor de pared adecuado depende de varios factores, como las características geológicas del sitio, las condiciones hidrogeológicas, la profundidad del pozo y las regulaciones locales. El especialista en hidrogeología y en construcción de pozos profundos evalúa estos aspectos para determinar el espesor de pared óptimo que garantice la seguridad y la eficiencia del pozo. Es esencial tener en cuenta que el espesor de pared no debe ser demasiado delgado ni demasiado grueso. Un espesor insuficiente puede resultar en la debilidad estructural del tubo, aumentando el riesgo de fallas y fugas. Por otro lado, un espesor excesivo puede ser innecesario y puede aumentar los costos de construcción sin proporcionar beneficios adicionales. En resumen, el espesor de pared es la medida del grosor de la pared del tubo o ademe utilizado en la construcción de pozos profundos. Juega un papel crucial en la resistencia estructural y la protección del agua subterránea. La selección de un espesor de pared adecuado resulta esencial para asegurar la resistencia, durabilidad y la eficacia a largo plazo del sistema de pozos profundos.

**Tolerancias:** Las tolerancias desempeñan un papel fundamental en la hidrogeología y el diseño hidráulico de pozos profundos. En el contexto de la construcción de pozos, las tolerancias se refieren a las variaciones permitidas en las dimensiones y especificaciones durante el proceso de diseño y construcción. En la hidrogeología, es crucial establecer tolerancias precisas para asegurar que el pozo cumpla con los niveles de calidad y funcionalidad requeridos. Estas tolerancias se aplican a diferentes aspectos del diseño del pozo, como el diámetro, la profundidad, la capacidad de flujo y otras características hidráulicas. Las tolerancias permiten cierta flexibilidad en la construcción de pozos, ya que es difícil lograr dimensiones exactas en la práctica. Además, las condiciones geológicas variables y los desafíos inherentes a la perforación de pozos hacen que las tolerancias sean necesarias para adaptarse a situaciones imprevistas durante el proceso de construcción. Al establecer tolerancias, se tienen en cuenta factores como el rendimiento hidráulico deseado, los requisitos de seguridad y los límites económicos. Por ejemplo, en el diseño de un pozo profundo, se pueden establecer

tolerancias para el diámetro del pozo para garantizar un flujo adecuado de agua. Estas tolerancias permiten cierta variación en el diámetro del pozo sin comprometer su eficiencia. El porcentaje de tolerancia especifica la cantidad máxima de variación permitida con respecto a las dimensiones o especificaciones establecidas. Por ejemplo, si se establece una tolerancia del 5% para el diámetro del pozo, esto significa que se permite una variación de hasta el 5% con respecto al diámetro objetivo. Esto proporciona un rango aceptable de dimensiones en el diseño y construcción del pozo. Es importante destacar que el establecimiento de tolerancias adecuadas requiere de conocimientos especializados en hidrogeología y diseño hidráulico. Los expertos en la materia evalúan las condiciones específicas del sitio, los objetivos del proyecto y las regulaciones locales para determinar las tolerancias apropiadas que garanticen un pozo funcional y seguro. En resumen, las tolerancias son variaciones permitidas en las dimensiones y especificaciones durante el diseño y construcción de pozos profundos. Estas tolerancias son necesarias para adaptarse a las condiciones geológicas variables y los desafíos de la perforación de pozos. El establecimiento de tolerancias precisas garantiza la funcionalidad, calidad y eficiencia de los pozos.

**Verticalidad:** La verticalidad es un concepto fundamental en la hidrogeología y el diseño hidráulico de pozos profundos. Se refiere a la condición de ser perpendicular o casi perpendicular a la línea de la gravedad, lo que implica que algo está en posición vertical. Se estableció una norma para la tolerancia permisible en la verticalidad, la cual indicaba una desviación máxima de 6 pulgadas por cada 30 metros de profundidad (100 pies). Sin embargo, algunas opiniones consideraban este margen como excesivo, prefiriendo limitar la desviación a solo 3 pulgadas por cada 100 pies. La adhesión a este estándar, según las pautas de la Asociación Americana de Agua (AWWA), garantizaba la correcta instalación y operación de la bomba.

En la evaluación de la verticalidad y alineación de un sondeo, la práctica convencional implica el empleo de testificaciones geofísicas mediante sondas diseñadas específicamente para este propósito. Los modernos sistemas electrónicos integrados en estas sondas, destinados a medir la desviación, se fundamentan en el uso de acelerómetros triaxiales para determinar la inclinación y

magnetómetros triaxiales para registrar el azimut. En situaciones que involucran la medición de la orientación en terrenos con presencia de materiales magnéticos o sondeos entubados con tubería metálica, se recurre a giroscopios en lugar de magnetómetros, a pesar de su mayor costo y su mayor sensibilidad en el manejo. También, se emplea una alternativa menos compleja pero altamente funcional que implica suspender un tubo largo mediante una grúa y verificar si se puede realizar un giro sin fricción al aplicar un par de rotación manual en el extremo superior. El método preeminente para medir la verticalidad, conforme a esta técnica, sigue la propuesta de la AWWA (American Water Works Association). Este enfoque implica el descenso controlado de un tubo de 12 metros de longitud con un diámetro exterior ( $d_x$ ). Es esencial que el descenso ocurra sin restricciones ni obstrucciones en el tramo evaluado, hasta alcanzar la profundidad donde se instalará la bomba. Se permiten desviaciones máximas de  $0.5^\circ$  cada 50 m en la cámara de bombeo y de  $1^\circ$  cada 50 metros en la zona productiva del sondeo (Martos Rosillo et al., 2022).

**Tabla 47.**

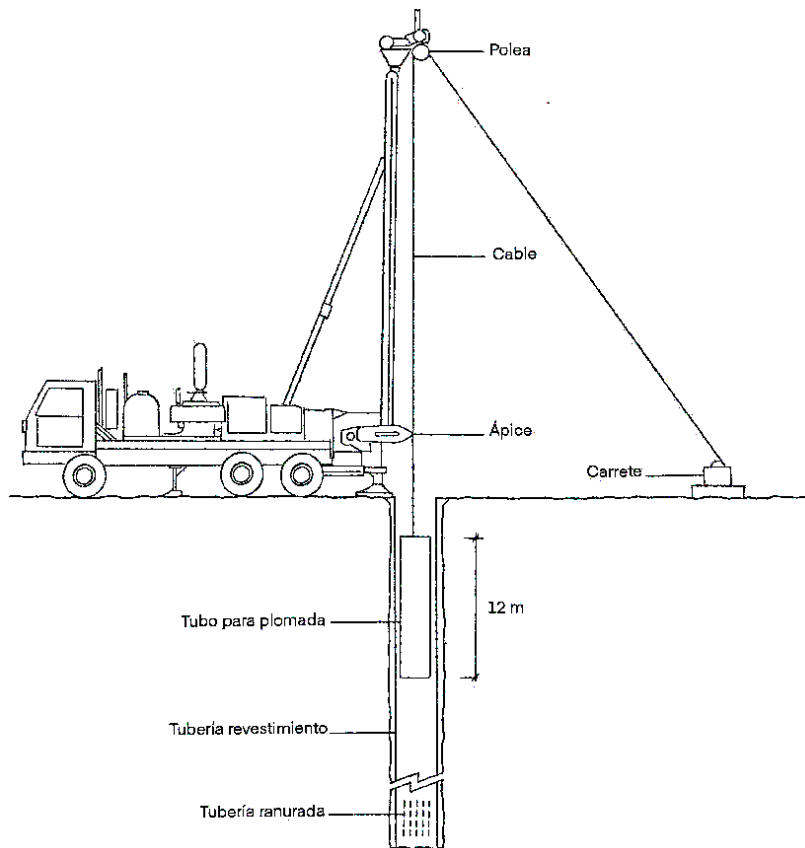
*Diámetro de tubería para prueba de verticalidad.*

<b>DIÁMETRO ADEME INSTALADO (<math>d_a</math>)</b>	<b>DIÁMETRO EXTERNO DE TUBERÍA PARA PRUEBA DE VERTICALIDAD. (<math>d_x</math>)</b>
$d_a \leq 10$ pulgadas	$d_a - 0.5$ pulgadas
$d_a \geq 12$ pulgadas	$d_a - 1.0$ pulgada.

*Fuente: AWWA (American Water Works Association).*

### Figura 107.

Evaluación de la perpendicularidad de un pozo utilizando la metodología propuesta por la AWWA.



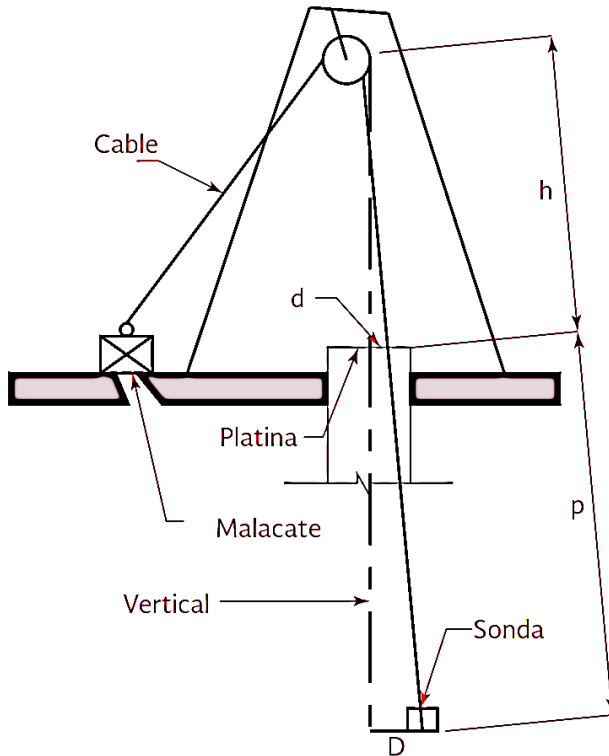
Fuente: AWWA (American Water Works Association).

En el contexto de los pozos profundos, la verticalidad es de vital importancia para garantizar un funcionamiento óptimo y seguro. Cuando se perfora un pozo profundo, es fundamental que el tubo utilizado se instale de manera vertical. Para lograr esto, se emplean métodos y equipos apropiados que garantizan la alineación recta del tubo en todas las etapas del proceso de perforación y construcción. La verticalidad del pozo profundo es esencial por varias razones. En primer lugar, afecta directamente el rendimiento hidráulico del pozo. Si el pozo no es vertical, puede haber obstrucciones o restricciones en el flujo de agua, lo que reduce la eficiencia y la capacidad de suministro del pozo. Además, la verticalidad juega un papel crucial en términos de la seguridad. Un pozo que no es vertical corre el riesgo de colapsar o sufrir daños estructurales a largo plazo. Esto puede comprometer la integridad del pozo y afectar su vida útil. En el diseño hidráulico de pozos profundos, se deben tomar medidas para garantizar la verticalidad durante la construcción. Esto implica el uso de equipos de perforación y técnicas que permitan controlar y corregir la posición del tubo a medida que se avanza en la perforación. La

tecnología moderna ofrece herramientas avanzadas para medir y controlar la verticalidad de los pozos. Los dispositivos de registro y monitoreo se utilizan para evaluar la inclinación y desviación del pozo durante el proceso de construcción, lo que permite realizar ajustes y correcciones necesarias para lograr la verticalidad deseada.

**Figura 108.**

*Evaluación de la perpendicularidad de un pozo mediante sonda.*



Fuente: (Comisión Nacional del Agua, 2019)

$$\frac{h}{d} = \frac{h + p}{D}$$

Ecuación ( 111 )

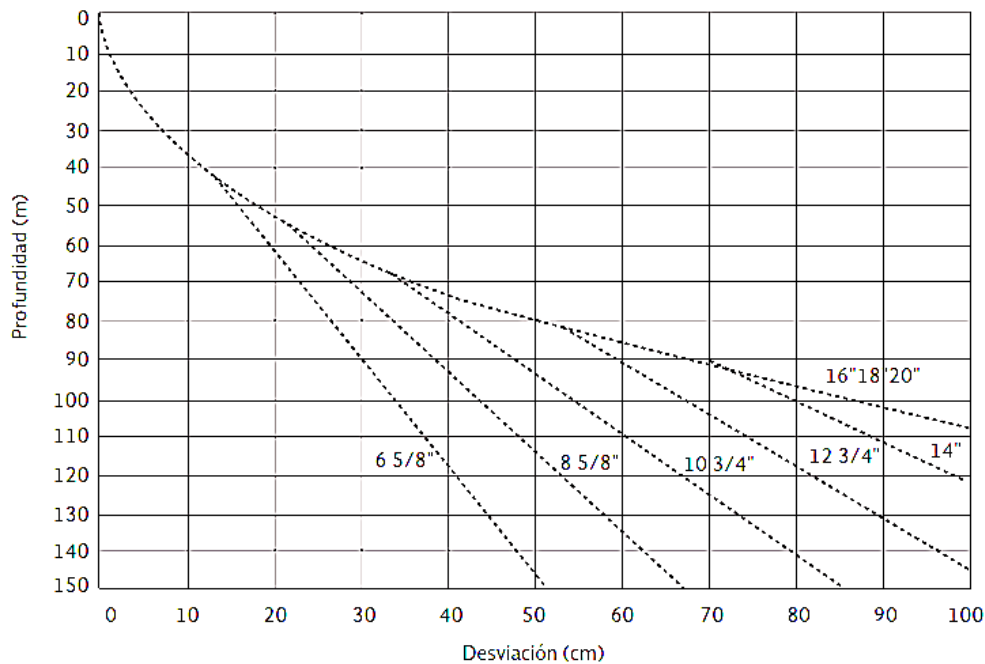
$$D = \frac{d(h + p)}{h}$$

Ecuación ( 112 )

Donde:  $D$  indica la desviación efectiva expresada en metros.

### Figura 109.

Variación vertical autorizada en pozos profundos.



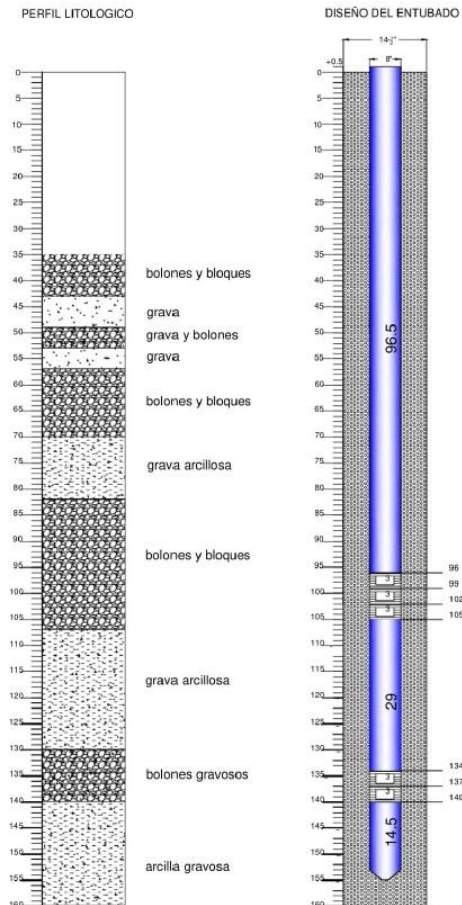
Fuente: (Comisión Nacional del Agua, 2019).

En resumen, la verticalidad es un aspecto crítico en la construcción de pozos profundos en el campo de la hidrogeología y el diseño hidráulico. La correcta alineación vertical del tubo garantiza un rendimiento hidráulico óptimo y reduce los riesgos de seguridad a largo plazo. Mediante el uso de técnicas y herramientas especializadas, se puede lograr y mantener la verticalidad durante la perforación y construcción del pozo.

**Perfil estratigráfico:** El perfil estratigráfico es un instrumento primordial en el ámbito de la hidrogeología y el diseño de pozos profundos para comprender la composición y las características del suelo en un área específica. Se refiere a una representación gráfica y descriptiva de las capas de suelo y roca presentes en un sitio, que se obtiene mediante la recopilación y análisis de muestras. El objetivo principal de elaborar un perfil estratigráfico es identificar las diferentes capas de suelo y roca que componen el subsuelo de un lugar determinado. Esto proporciona información crucial sobre la geología del área y ayuda a comprender la distribución de los acuíferos, la calidad del agua subterránea y demás componentes hidrogeológicos relevantes. El procedimiento de elaboración de un perfil

estratigráfico implica la realización de perforaciones o excavaciones en el terreno para obtener muestras de suelo y roca a diferentes profundidades (Werner, 1996).

**Figura 110.**  
*Perfil litológico.*



*Fuente: Empresa Constructora SIKU (2016).*

En el laboratorio, se realizan análisis de estas muestras para identificar sus propiedades físicas y químicas, como la textura, la composición mineralógica, la permeabilidad y la porosidad. Una vez que se ha obtenido y examinado la información, se procede a la representación gráfica del perfil estratigráfico o sección transversal que muestra las diferentes capas identificadas. Cada capa se describe en términos de su composición, espesor, características hidráulicas y cualquier otra información relevante. El perfil estratigráfico es una herramienta invaluable en la planificación y el diseño de pozos profundos, ya que permite determinar la ubicación óptima para extraer agua subterránea y evaluar la viabilidad de un proyecto de perforación. También ayuda a identificar posibles problemas o riesgos, como la presencia de capas impermeables o la contaminación del agua.

En resumen, el perfil estratigráfico es una representación gráfica y descriptiva de las capas de suelo y roca en un sitio específico. Proporciona información esencial sobre la geología y los acuíferos del área, lo que es fundamental para la hidrogeología y el diseño de pozos profundos. Al comprender la composición y las características del subsuelo, se pueden tomar decisiones informadas en la extracción y gestión del agua subterránea.

**Longitud:** La longitud es un parámetro clave en el campo de la hidrogeología y el diseño hidráulico de pozos profundos. Se refiere a la medida o extensión del pozo perforado en dirección lineal, y juega un papel esencial en la construcción y funcionamiento de los pozos. En el contexto de los pozos profundos, la longitud se refiere a la extensión del tubo utilizado para la extracción de agua subterránea. La elección de la longitud del tubo es crucial para asegurar un suministro adecuado de agua y maximizar la eficiencia del pozo. El diseño hidráulico de un pozo profundo tiene en cuenta la longitud del tubo para determinar la profundidad del pozo y la capacidad de extracción de agua. Una longitud adecuada del tubo garantiza que el pozo alcance las capas de agua subterránea deseadas y permita una extracción eficiente y sostenible. Además, la longitud del tubo también está relacionada con la resistencia estructural del pozo. Un tubo de longitud insuficiente puede provocar la desestabilización de las capas de suelo circundantes, lo que afectaría negativamente la integridad del pozo y su vida útil. En la hidrogeología, se utilizan técnicas de medición y evaluación para determinar la longitud óptima del tubo considerando las particularidades geológicas e hidrogeológicas del entorno. Estas técnicas incluyen estudios geofísicos, análisis de muestras de agua y modelado hidrogeológico. Es importante destacar que la longitud del tubo puede variar según las necesidades específicas de cada pozo y las condiciones geológicas del lugar. Por lo tanto, es fundamental contar con estudios y análisis detallados para determinar la longitud óptima que garantice un rendimiento hidráulico óptimo y una vida útil prolongada del pozo. En conclusión, la longitud del tubo es un factor crucial en el diseño y construcción de pozos profundos en el campo de la hidrogeología. La elección de la longitud adecuada del tubo garantiza un suministro de agua eficiente y sostenible, así como la integridad estructural del pozo. Mediante técnicas

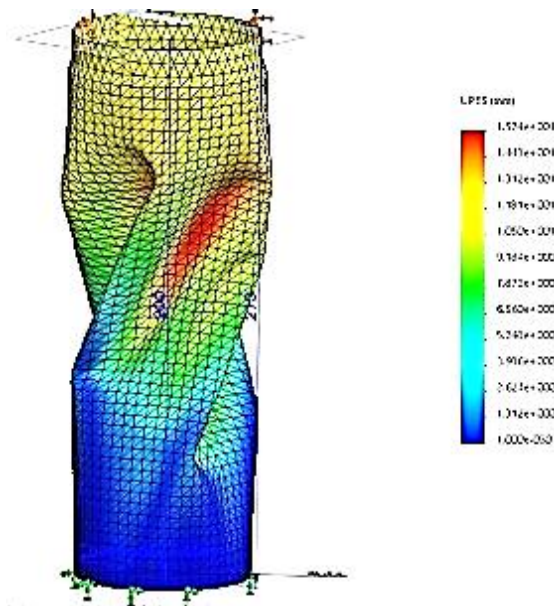


de medición y evaluación, se determina la longitud óptima del tubo en función de las condiciones geológicas y hidrogeológicas específicas de cada sitio.

**Pandeo:** El pandeo es un fenómeno que puede ocurrir en estructuras, como tubos, en el campo de la hidrogeología y el diseño hidráulico de pozos profundos. Se refiere a la deformación o curvatura que experimenta un elemento estructural cuando está sometido a cargas externas. En el caso de los tubos utilizados en pozos profundos, el pandeo puede ocurrir cuando la carga axial aplicada supera la capacidad de resistencia del tubo (Keith Todd, 2005).

**Figura 111.**

*Falla por pandeo.*



*Fuente: Salvador Suniaga (2019).*

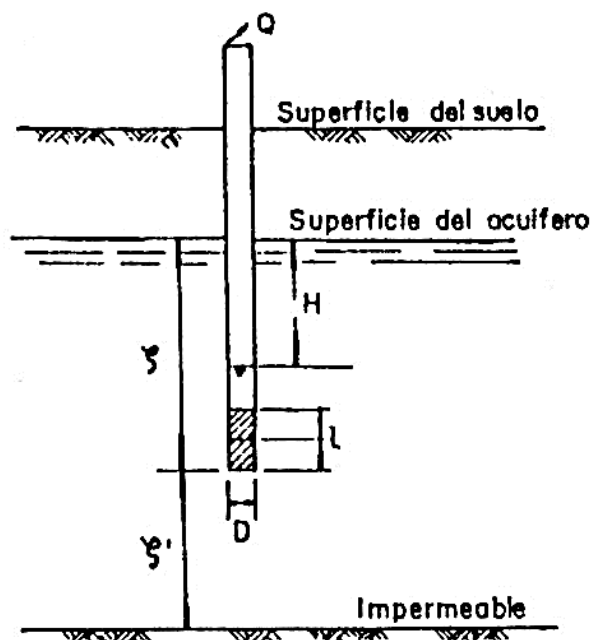
Esto puede deberse a la presión del agua subterránea, el peso de la columna de agua o el empuje del suelo circundante. Si el tubo no es lo suficientemente resistente o no está diseñado adecuadamente, puede deformarse y curvarse, comprometiendo la integridad y la funcionalidad del pozo. Es importante tener en cuenta el pandeo durante el diseño y la construcción de pozos profundos. Los profesionales en ingeniería hidrogeológica deben considerar las propiedades mecánicas del ademe, tales como su firmeza (rigidez) y fortaleza (resistencia), con el propósito de asegurar su capacidad para resistir las fuerzas a las que estará sometido. Además, se deben tener en cuenta las características del suelo y las presiones hidrostáticas para determinar la resistencia requerida del tubo y evitar el

pandeo. La prevención del pandeo implica seleccionar tubos con la resistencia adecuada y dimensiones adecuadas para resistir las cargas esperadas. También se pueden utilizar refuerzos, como encamisados o materiales adicionales, para aumentar la resistencia del tubo y prevenir la deformación. El diseño hidráulico de pozos profundos debe considerar el pandeo como parte integral de la seguridad y eficiencia del sistema. Al tener en cuenta factores como la presión del agua subterránea, la carga axial y las propiedades del suelo, se pueden tomar medidas preventivas para evitar el pandeo y garantizar la estabilidad de la estructura. En conclusión, el pandeo es un fenómeno que puede ocurrir en tubos utilizados en pozos profundos y afectar la estabilidad y funcionalidad del sistema. Se debe considerar cuidadosamente el diseño y la selección de tubos para prevenir el pandeo, teniendo en cuenta las cargas esperadas y las propiedades del suelo. La prevención del pandeo resulta esencial para asegurar la eficacia y seguridad de los pozos profundos en el campo de la hidrogeología y el diseño hidráulico.

**Prueba de bombeo:** Las mediciones se llevan a cabo in situ, en un pozo especialmente acondicionado; En el cual la base del tubo estaba provista de una rejilla filtrante con dimensiones de longitud  $L$  y diámetro  $D$ . El ensayo se ejecuta mediante la inyección o bombeo de un caudal  $Q$ , tanto en condiciones de régimen permanente como transitorio (Vélez Otálvaro, 1999).

**Figura 112.**

*Diseño convencional de un pozo destinado a una prueba de bombeo.*



*Fuente: (Vélez Otálvaro, 1999)*

**Vulnerabilidad del acuífero:** En diversas áreas del país, el suministro de agua potable depende en gran medida de las aguas subterráneas. No obstante, la falta de comprensión de los elementos protectores de este recurso resulta en la contaminación, especialmente en regiones agrícolas y ganaderas donde el uso excesivo de fertilizantes y pesticidas puede perjudicar los acuíferos. La contaminación también puede surgir debido a la descomposición de residuos orgánicos. El deterioro de los acuíferos puede ser irreversible, implicando tratamientos costosos y prolongados para su recuperación. Para preservar las aguas subterráneas, es esencial tomar conciencia del problema, evaluar la debilidad de los factores asociados y aplicar medidas preventivas. La vulnerabilidad a la contaminación puede ser analizada mediante enfoques como el método GOD para la vulnerabilidad intrínseca y el índice DRASTIC para la vulnerabilidad específica, que considera las propiedades del contaminante y su relación con la vulnerabilidad intrínseca del acuífero (INGEMMET et al., 2019).

**Los potenciales agentes contaminantes del agua subterránea;** En la cuenca del río Ilo-Moquegua, se han identificado varios sectores que podrían actuar como potenciales fuentes de contaminación. Estas incluyen la actividad agrícola con su empleo excesivo de fertilizantes y plaguicidas, la incineración de residuos agrícolas y el vertido directo de aguas residuales en el acuífero. La agricultura y el uso de productos químicos destacan como las principales causas de contaminación en el acuífero poroso no consolidado en los valles de Moquegua e Ilo, liberando cantidades significativas de sulfato y nitrato, principalmente a través de la descomposición orgánica y procedimientos agrícolas. Se han detectado niveles elevados de nitratos y sulfatos en ciertos puntos específicos, posiblemente vinculados a estas actividades. Las áreas convertidas indiscriminadamente en vertederos de residuos sólidos y la obstrucción de pozos de agua subterránea abandonados presentan riesgos notables de contaminación. El depósito final de desechos sólidos en regiones con rocas porosas o altamente fracturadas puede resultar en la filtración de contaminantes hacia la zona no saturada, afectando las aguas subterráneas. La inactividad de pozos anteriormente utilizados para fines agrícolas, especialmente aquellos cercanos a la superficie, también puede incrementar la probabilidad de contaminación. Adicionalmente, la liberación de residuos animales puede dar lugar a la generación de compuestos contaminantes, aunque la actividad ganadera en la cuenca del río Ilo-Moquegua es limitada, centrándose en la cría de ovinos y auquénidos en las zonas altas y ganado vacuno en las partes bajas de los valles.

### III. METODOLOGÍA

#### 3.1. Tipo y diseño de investigación

**Tipo de investigación:** Es del tipo **aplicada**, puesto que presenta cuestiones con situaciones y características particulares, que exigen respuestas rápidas y específicas, y nuevos conocimientos que pueden ser útiles y valiosos para la teoría. (Baena, 2017, p. 17). Fue el uso de un plan de enfoque preciso lo que nos permitió percibir un amplio campo conceptual en relación con los problemas a los que puede enfrentarse la sociedad, permitiéndonos dar paso a respuestas novedosas que una región específica requería (Hernández Sampieri, et al., 2014). El presente informe técnico de investigación es del **tipo aplicada**, en vista de que se aplican dos métodos numéricos de diseño hidráulico en pozos profundos; Estos resultados fueron comparados y validados con el fin de tener consideraciones para futuros estudios con criterios establecidos, en concordancia con la Ley de Recursos Hídricos - Ley N° 29338, la norma técnica peruana NTP 360.100 2017 y NTP 360.101 2018.

**Diseño de investigación:** Es **transeccional**, porque la información sólo se revisará y analizará de acuerdo con las normas técnicas vigentes, ya que los datos sólo se tomaron en un momento dado; esto nos permitirá obtener resultados, alcanzar los objetivos que nos fijamos y caracterizar la intervención. Y **No experimental**, porque las variables independientes de este diseño no pueden modificarse. No hay grupo de control ni experimental, y las variables independientes no pueden modificarse; Ocupándose de la investigación de hechos y anomalías de la realidad tal y como ocurren.

**Nivel de investigación:** El nivel es **descriptivo**, puesto que para describir lo que se examina, se eligen una serie de preguntas y se mide cada una por separado (Hernández Sampieri, et al., 2014). En este caso el comportamiento de los diseños hidráulicos por colapso y compresión en los pozos profundos de los valles de Moquegua e Ilo, a través de las cuantificaciones proporcionadas o indicadores pertinentes.

**Enfoque de investigación:** Es **cuantitativo** porque recoge datos para probar teorías que se basan en mediciones numéricas y análisis estadísticos. En otras

palabras, se parte de un concepto que se va acotando y, una vez acotado, se generan objetivos y preguntas de investigación para evaluar las ideas. (Hernández Sampieri, et al., 2014, p. 37).

### **3.2. Variables y operacionalización**

#### **Variable Independiente:**

Análisis hidrogeológico y diseño hidráulico por colapso

Análisis hidrogeológico y diseño hidráulico por compresión

#### **Variable dependiente:**

Pozos profundos.

## OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

### Variable Independiente:

**Tabla 48.**

*Operacionalización de la variable independiente.*

VARIABLES INDEPEN.	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA
1° Análisis Hidrogeológico y Diseño Hidráulico por Colapso	La hidrogeología, se define como la disciplina que estudia la distribución, movimiento y comportamiento del agua subterránea en formaciones geológicas específicas. Para operacionalizar este concepto, se considera el coeficiente de almacenamiento (S), que representa la capacidad de almacenar agua en un acuífero. La transmisividad, por otro lado, juega un papel crucial al describir la capacidad de un material geológico para transmitir el flujo de agua. Al analizar la hidrogeología, se examina detenidamente el perfil estratigráfico de las formaciones geológicas, identificando capas y estructuras que influyen en la recarga y descarga del agua subterránea. Este enfoque integral permite comprender la interacción compleja entre el agua y las formaciones geológicas, proporcionando información esencial para la gestión sostenible de los recursos hídricos y la planificación de proyectos ingenieriles asociados a las aguas subterráneas.	Hidrogeología	Coeficiente de almacenamiento Transmisividad Perfil estratigráfico	Razón
	El Análisis Hidrogeológico y Diseño Hidráulico por Colapso, se refiere a la evaluación exhaustiva de las condiciones geológicas y la capacidad hidráulica de estructuras subterráneas, centrándose en la estabilidad torsional y el potencial de colapso. La estabilidad torsional se analiza considerando el comportamiento deformacional debido al momento torsional generado por las ondas de corte en un ángulo torsional específico. En este contexto, el diámetro y el espesor de la tubería son factores críticos, ya que influyen directamente en la capacidad de resistencia a la deformación y determinan la eficiencia hidráulica de la estructura. Este enfoque integrado busca garantizar un diseño hidráulico robusto, considerando las variables geológicas y estructurales, para prevenir potenciales colapsos y asegurar la durabilidad y funcionalidad de las infraestructuras hidráulicas.	Estabilidad torsional	Deformación Diámetro Espesor de tubería	Razón

VARIABLES INDEPEN.	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA
2° Análisis Hidrogeológico y Diseño Hidráulico por Compresión	<p>La hidrogeología, se define como la disciplina que estudia la distribución, movimiento y comportamiento del agua subterránea en formaciones geológicas específicas. Para operacionalizar este concepto, se considera el coeficiente de almacenamiento (S), que representa la capacidad de almacenar agua en un acuífero. La transmisividad, por otro lado, juega un papel crucial al describir la capacidad de un material geológico para transmitir el flujo de agua. Al analizar la hidrogeología, se examina detenidamente el perfil estratigráfico de las formaciones geológicas, identificando capas y estructuras que influyen en la recarga y descarga del agua subterránea. Este enfoque integral permite comprender la interacción compleja entre el agua y las formaciones geológicas, proporcionando información esencial para la gestión sostenible de los recursos hídricos y la planificación de proyectos ingenieriles asociados a las aguas subterráneas.</p> <p>El Análisis Hidrogeológico y Diseño Hidráulico por Compresión se centra en la evaluación minuciosa de la estabilidad vertical de estructuras subterráneas, considerando la resistencia de la tubería frente a fuerzas compresivas. Esta metodología aborda aspectos fundamentales como la longitud de la tubería y la granulometría del filtro, elementos cruciales para garantizar la integridad de la estructura. La estabilidad vertical se refiere a la capacidad de la infraestructura para resistir cargas compresivas, asegurando su funcionamiento óptimo y evitando colapsos. La resistencia de la tubería, evaluada en conjunto con la longitud y la granulometría del filtro, se convierte en un componente esencial para diseñar sistemas hidráulicos robustos que soporten eficientemente las condiciones de compresión a las que pueden estar expuestos. Este enfoque integral en el análisis hidrogeológico y diseño hidráulico por compresión busca asegurar la durabilidad y eficacia de las infraestructuras subterráneas.</p>	Hidrogeología	Coeficiente de almacenamiento Transmisividad Perfil estratigráfico	Razón
		Estabilidad vertical	Resistencia de la tubería Longitud Granulometría del filtro	Razón



**Variable dependiente:**

**Tabla 49.**

*Operacionalización de la variable dependiente.*

VARIABLE DEPEN.	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA
POZOS PROFUNDOS	<p>Los pozos profundos juegan un rol primordial en la extracción de agua subterránea para abastecimiento hídrico. El rendimiento o desempeño del acuífero es clave en la evaluación de la capacidad de un pozo para suministrar agua de manera sostenible. Este rendimiento se determina mediante parámetros como el caudal, la potencia de la bomba y los niveles estático y dinámico del agua. Antes de la construcción de un pozo, se realizan prospecciones geofísicas para identificar las propiedades del subsuelo y evaluar la existencia del recurso hídrico subterráneo. El nivel freático y los criterios de calidad medioambiental del recurso hídrico son considerados para asegurar su aptitud para el uso agrícola. Se analizan aspectos microbiológicos, inorgánicos, físico-químicos y parasitológicos para asegurar su adecuación.</p> <p>La durabilidad de los pozos profundos es un factor crítico. Se evalúa su vida útil, considerando los materiales utilizados, la corrosión y el mantenimiento adecuado. Los pozos profundos son infraestructuras vitales para el suministro de agua, por lo que es imperativo que su planificación, ejecución y funcionamiento se ajusten a los estándares más elevados de excelencia.</p> <p>En conclusión, los pozos profundos desempeñan un papel clave en el aprovechamiento de los recursos hídricos subterráneos. Su diseño y construcción consideran aspectos como el rendimiento del acuífero, los estándares de calidad del agua y los parámetros hidrogeológicos. La durabilidad y el mantenimiento adecuado garantizan un suministro de agua confiable y sostenible a lo largo del tiempo.</p>	Rendimiento o Desempeño del Acuífero	Caudal Potencia de la bomba Nivel Dinámico	Razón Razón Razón
		Prospecciones geofísicas	Nivel Freático	Intervalo
		Estándares de Calidad Ambiental del Agua	Parámetros Físico - Químico, Inorgánicos, Microbiológicos y Parasitológicos del Agua	Intervalo
		Tiempo de vida útil (años)	Durabilidad	Intervalo

### 3.3. Población, muestra, muestreo y unidad de análisis

**Población:** La población o universo es una colección de todos los ejemplos que cumplen y concuerdan en determinados criterios. (Hernández Sampieri, et al., 2014). La población del actual informe de investigación elaborado, comprende los ocho (08) pozos profundos tubulares (POZO IRHS – 045 (La Chimba N°1), POZO IRHS – 007 (La Chimba N°2), POZO IRHS - 025 Samegua N° 01, POZO IRHS – 010 (Montalvo), POZO IRHS – 022 (Omo), POZO IRHS - 035 La Cara (Ilo), POZO IRHS - 008 INIA N° 01 y POZO IRHS - 009 INIA N° 02), del departamento de Moquegua, contruidos para contrarrestar el déficit hídrico en los valles de Moquegua e Ilo.

**Muestra:** En esta situación, la muestra es comparable a la población y es de tipo no probabilístico, ya que viene determinada por las particularidades de la investigación y no por la probabilidad de selección. (Hernández Sampieri, et al., 2014). Las muestras del actual informe de investigación son los siguientes cuatro (04) pozos profundos: POZO IRHS – 045 La Chimba N°1, POZO IRHS - 035 La Cara (Ilo), POZO IRHS - 008 INIA N° 01 y POZO IRHS - 009 INIA N° 02.

**Muestreo:** El muestreo consiste en formar parte de una multitud y evaluar una de sus características. (Arias, 2012 pág. 45). Muestreo no probabilístico o no estadístico en el que los ejemplos se eligen en función de los criterios del investigador (Sánchez Merlo, 2016 pág. 94). En conclusión, en el informe de investigación se aplicó el muestreo no probabilístico

**Unidad de análisis:** Son propiedades comparables y en una ubicación determinada. Según las pruebas empíricas, estas son las propiedades (Ñauspa Paitan, 2018 pág. 326). La unidad de análisis son los pozos profundos para la extracción del recurso hídrico subterráneo, para fines agrícolas en los valles de Moquegua e Ilo.


### **3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

Técnicas de investigación: Se emplea el enfoque de la observación directa utilizándose para recopilar datos, así como para analizar, examinar y discutir los resultados.

En consecuencia, la ficha técnica de recolección de datos es el instrumento que se empleó.

## Figura 113.

Ficha técnica de recolección de datos.

 <b>UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO</b>	ID del Documento: <i>UCV-B53-001</i>
	Fecha: <i>2023</i>
	Documento: <i>FICHA TÉCNICA DE OBSERVACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE POZOS DE AGUA</i>

**I. DATOS GENERALES**

1.1 PROYECTO DE INVESTIGACIÓN:

1.2 INVESTIGADOR:

1.2.1 NOMBRES Y APELLIDOS:

1.2.2 DNI:

1.2.3 CÓDIGO ORCID:

**II. DATOS ESPECÍFICOS**

2.1 NOMBRE DEL POZO:

2.2 CODIGO INRENA:

2.3 UBICACIÓN:

2.3.1 UBICACIÓN POLÍTICA

2.3.1.1 DEPARTAMENTO:

2.3.1.2 PROVINCIA:

2.3.1.3 DISTRITO:

2.3.1.4 SECTOR:

2.3.2 UBICACIÓN GEOGRÁFICA

2.3.2.1 ESTE UTM:

2.3.2.2 NORTE UTM:

2.3.2.3 COTA:

**III. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA ESTRUCTURA DEL POZO PROFUNDO**

3.1 TIPO DE POZO:  a) Tubular Profundo para bombeo,  b) Artesiano,  c) Artesanal,  d) Mixto

3.2 TIPO DE PERFORACIÓN:  a) Percusión,  b) Rotativa,  c) Diamantina,  d) Circulación Reversa,  e) Cuchara Hidráulica.

3.3 EXTRACCIÓN DE AGUA:  a) Convencional (Electrobomba),  b) Por Gravedad,  c) Energía Solar,  d) Energía Eólica

3.4 MATERIAL CONSTRUCCIÓN:  a) Acero inoxidable,  b) Fibra de Vidrio,  c) PVC,  d) Acero al Carbono,  e) Concreto,  f) Hierro fundido

3.5 CONDICIÓN ACTUAL:  a) Operativo,  b) Inoperativo,  c) En Reposo

3.6 ESTADO ACTUAL:  a) Optimo,  b) Bueno,  c) Regular,  d) Malo,  e) Deplorable (\* Por rendimiento)

3.7 AÑO DE CONSTRUCCIÓN:

3.8 PROFUNDIDAD:

3.9 VOLUMEN DEL POZO:

3.10 MARCA DEL MOTOR:

3.11 POTENCIA DEL MOTOR:

3.12 FILTRO ARTIFICIAL (PREFILTRO):

De:

Hasta:

3.13 TRANSMISIÓN DE ENERGÍA:

Transformador:

Tablero de Control Eléctrico:

Acometida al Transformador:

Acometida a Estación de Bombeo:

3.14 DISEÑO DE FILTRO:

Espesor:

Diámetro:

Diseño de 0.00 a 20.00:

Diseño de 20.00 a 25.00:

Diseño de 25.00 a 30.00:

Diseño de 30.00 a 40.00:

3.15 NIVEL FREÁTICO:

3.16 DIAMETRO:

3.17 ÁREA DEL POZO:

3.18 CAUDAL:

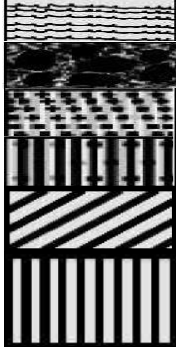
3.19 TIPO DE MOTOR:

3.20 BOMBA:

3.21 MARCA DE LA BOMBA:

3.22 TIPO DE RED:

3.23 REGISTRO GEOLOGICO:



0.00 - 1.00 m

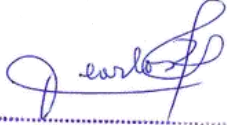



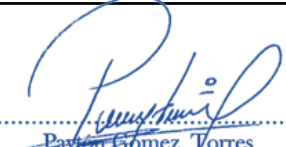
1.00 - 20.00 m

20.00 - 40.00 m

IV. CRITERIO DE VALIDACIÓN

<b>No Aplicable:</b> ≤ 0.49	<b>Baja Importancia:</b> 0.50 - 0.58	<b>Deseable:</b> 0.59 - 0.67
<b>Moderado:</b> 0.68 - 0.76	<b>Importante:</b> 0.77 - 0.99	<b>Alta Importancia:</b> 1.00

V. VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO POR JUICIO DE EXPERTOS


Nro	APELLIDOS Y NOMBRES	ESPECIALIDAD	CIP	FIRMA	CALIFICA
01	ZEBALLOS EYZAGUIRRE, CARLOS MIGUEL	INGENIERO GEOLOGO	22980	 CARLOS M. ZEBALLOS EYZAGUIRRE INGENIERO GEOLOGO CIP. 22980	1.00
02	CURO CABRERA, MILWARD GUILLERMO	INGENIERO CIVIL	114376	 MILWARD GUILLERMO CURO CABRERA INGENIERO CIVIL CIP. N° 114376	0.99
03	PORTILLO HUANCA, FRANCISCO NEPTALI	INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA	78791	  Francisco Neptali Portillo Huanca INGENIERO MECANICO ELECTRICICO CIP. 78791	0.95
04	GOMEZ TORRES, PAYTON	INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA	83559	 Payton Gomez Torres Reg. del Colegio de Ingenieros del Perú N° 83559 ING. MECANICO ELECTRICISTA	0.97

Moquegua, 2023

Fuente: Elaboración propia

## Figura 114.

Ficha técnica de validación.

 <b>UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO</b>	ID del Documento:	UCV-B53-002
	Fecha:	2023
	Documento:	FICHA TÉCNICA DE PRUEBAS DE BOMBEO

### I. DATOS GENERALES

1.1 PROYECTO DE INVESTIGACIÓN:							
1.2 INDICADOR:							
1.3 CRITERIO DE VALIDACIÓN:	<table border="0"> <tr> <td><b>No Aplicable:</b> ≤ 0.49</td> <td><b>Baja Importancia:</b> 0.50 - 0.58</td> <td><b>Deseable:</b> 0.59 - 0.67</td> </tr> <tr> <td><b>Moderado:</b> 0.68 - 0.76</td> <td><b>Importante:</b> 0.77 - 0.99</td> <td><b>Alta Importancia:</b> 1.00</td> </tr> </table>	<b>No Aplicable:</b> ≤ 0.49	<b>Baja Importancia:</b> 0.50 - 0.58	<b>Deseable:</b> 0.59 - 0.67	<b>Moderado:</b> 0.68 - 0.76	<b>Importante:</b> 0.77 - 0.99	<b>Alta Importancia:</b> 1.00
<b>No Aplicable:</b> ≤ 0.49	<b>Baja Importancia:</b> 0.50 - 0.58	<b>Deseable:</b> 0.59 - 0.67					
<b>Moderado:</b> 0.68 - 0.76	<b>Importante:</b> 0.77 - 0.99	<b>Alta Importancia:</b> 1.00					

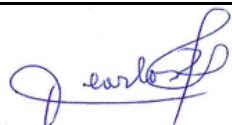
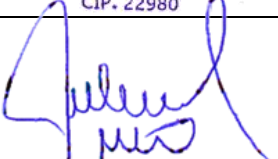
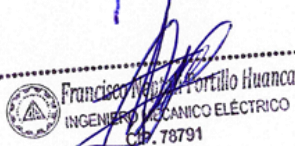

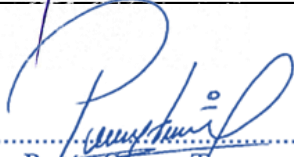
### II. DATOS ESPECÍFICOS

2.1 NOMBRE DEL POZO:	
2.2 CODIGO INRENA:	
2.3 RESPONSABLE:	
2.4 TIPO DE ENSAYO:	
2.5 TIPO DE BOMBA:	
2.6 NIVEL ESTÁTICO:	
	2.7 PROFUNDIDAD DEL POZO:
	2.8 CAUDAL:
	2.9 FECHA:

### III. RESULTADOS

FECHA	HORA	TIEMPO (min)	PROF. DEL AGUA (m)	DESCENSO (m)	CAUDAL (l/s)	OBSERVACIONES
16/09/2023	00:00:00					
16/09/2023	00:01:00					
:	:					
:	:					
17/09/2023	08:00:00					

### IV. VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO POR JUICIO DE EXPERTOS

Nro	APELLIDOS Y NOMBRES	ESPECIALIDAD	CIP	FIRMA	CALIFICA
01	ZEBALLOS EYZAGUIRRE, CARLOS MIGUEL	INGENIERO GEOLOGO	22980	 CARLOS M. ZEBALLOS EYZAGUIRRE INGENIERO GEOLOGO CIP. 22980	0.97
02	CURO CABRERA, MILWARD GUILLERMO	INGENIERO CIVIL	114376	 MILWARD GUILLERMO CURO CABRERA INGENIERO CIVIL CIP. N° 114376	1.00
03	PORTILLO HUANCA, FRANCISCO NEPTALI	INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA	78791	  Francisco Neptali Portillo Huanca INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA CIP. 78791	0.99
04	GOMEZ TORRES, PAYTON	INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA	83559	 Payton Gomez Torres Reg. del Colegio de Ingenieros del Perú N° 83559 ING. MECANICO ELECTRICISTA	1.00

Moquegua, 2023

### 3.5. Procedimientos

En cumplimiento del artículo 109, capítulo IX agua subterránea, de la ley N° 29338 Ley de los recursos hídricos, se procedió a solicitar las autorizaciones respectivas, para el acceso a las **propiedades privadas** donde se ubican las estaciones de bombeo de agua subterránea, mismas que están debidamente habilitadas y cuentan con la autorización correspondiente de la entidad competente, de acuerdo con las pautas establecidas por la normativa peruana (INACAL NTP 360.101, 2018), la cual especifica que a nivel nacional la entidad competente es la Autoridad Nacional del Agua (ANA), para tal efecto, se procede a realizar el **análisis hidrogeológico** de las estaciones de bombeo investigadas; Los datos se compilaron utilizando las **fichas técnicas de observación e identificación** y las **fichas técnicas de validación** de los pozos profundos del recurso hídrico subterráneo, en el que se determinó la ubicación geográfica y la ubicación política, observándose directamente las características físicas de la construcción del pozo profundo en el sitio (INSITU). Así como, nombre del pozo profundo, código INRENA, coordenadas UTM, tipo de pozo, tipo de perforación, tipo de extracción de agua, condición actual, nivel freático (m), profundidad (m), diámetro (in), área del pozo (m<sup>2</sup>), volumen de pozo (m<sup>3</sup>), caudal (l/s), marca del motor, tipo de motor, potencia del motor (hp), marca de la bomba, tipo de bomba, filtro artificial (m), transmisión de energía, transformador, tablero eléctrico, acometidas, tipo de red eléctrica, diseño de filtro (m), espesor (in), diámetro del diseño (in) y registro geológico (logueo).

Procediéndose a efectuar el **levantamiento topográfico** en cada una de las estaciones de bombeo, mediante el cual se obtuvieron datos precisos y detallados del terreno, utilizando técnicas de georreferenciación y mediciones de coordenadas UTM WGS 84 zona 19S. Este proceso implica la identificación y marcado de vértices en el terreno, desde los cuales se realizan mediciones de distancias y ángulos. Las coordenadas obtenidas se utilizaron para elaborar un plano topográfico que representa con exactitud la ubicación y características de las estaciones de bombeo IRHS 045, IRHS 008, IRHS 009 e IRHS 035. Las mediciones se llevaron a cabo en relación con los ejes este y norte, garantizando una representación precisa de la disposición y la topografía del área en cuestión. Este

proceso es fundamental en ingeniería para el diseño, la planificación y la ejecución de proyectos, ya que proporciona información detallada sobre el terreno y sus características, lo que permite tomar decisiones informadas y precisas durante todas las etapas del proyecto.

Se llevaron a cabo investigaciones geofísicas indirectas utilizando el método de **tomografía de resistividad eléctrica** en las áreas destinadas a los cuatro pozos profundos: POZO IRHS – 045 La Chimba N°1, POZO IRHS - 035 La Cara (Ilo), POZO IRHS - 008 INIA N° 01 y POZO IRHS - 009 INIA N° 02, mencionados en el presente informe. El estudio se ejecutó en varias zonas de la Provincia de Mariscal Nieto e Ilo, divididas en las zonas A, B, C y D. La Zona A se localizó en el distrito El Algarrobal, mientras que las zonas B, C y D se ubicaron en el distrito de Moquegua, provincia de Mariscal Nieto, departamento de Moquegua. Se realizó una evaluación geológica y geomorfológica para identificar estructuras geológicas, anomalías geofísicas y determinar las resistividades de los materiales subsuperficiales, así como las zonas de alta concentración de agua subterránea o nivel freático en las estaciones de bombeo señaladas. Estos estudios también contribuyeron a la identificación de posibles fallas estructurales y contactos geológicos, así como a la caracterización estratigráfica del subsuelo mediante la resistividad y el espesor asociado. Se realizaron secciones de tomografía de resistividad eléctrica para visualizar las características eléctricas del terreno, así como el nivel freático y las zonas de saturación de agua. En la Zona A se llevaron a cabo cuatro ensayos de Tomografía de Resistividad Eléctrica (ERT) a lo largo de 940 metros de análisis, mientras que en las Zonas B y C se realizaron igualmente cuatro ensayos de ERT, y en la Zona D se ejecutó un ensayo de ERT a lo largo de 235 metros de análisis. Estos ensayos permitieron investigar el subsuelo hasta una profundidad aproximada de 80 metros.

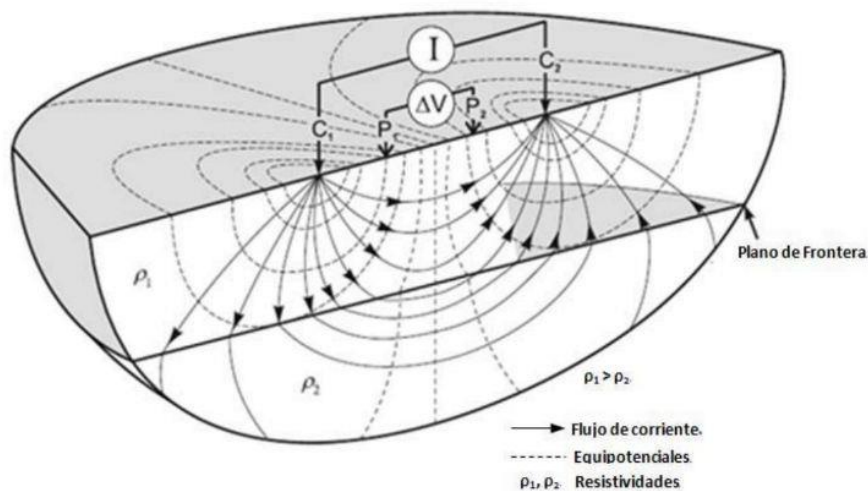
La tomografía de resistividad eléctrica se presenta como una técnica de exploración geofísica que genera representaciones visuales de la distribución de la resistividad en una superficie. Este método se basa en la medición de múltiples potenciales eléctricos que surgen como resultado de la aplicación de una corriente constante dentro de dicho volumen. Las imágenes obtenidas pueden ser en forma bidimensional, y revelan contrastes de resistividad que pueden estar relacionados



con estructuras geológicas, ambientales o geotécnicas de interés. La respuesta física de las rocas ante este método está influenciada por diversos factores como su contenido de agua, la forma y volumen de sus minerales, su porosidad, temperatura y presión. La resistividad eléctrica, medida en ohmios por metro ( $\Omega/m$ ), indica la dificultad que tiene un material para permitir el paso de corriente eléctrica. Tener en consideración que la medición de la resistividad del subsuelo es una práctica común con el propósito de detectar y localizar cuerpos y estructuras geológicas mediante el contraste resistivo que presentan. La precisión de estas mediciones depende de varios factores, incluyendo la distribución de resistividades en el subsuelo, la distancia entre electrodos y la intensidad de la corriente inyectada. La metodología se fundamenta en un principio físico que implica la inyección de corriente estacionaria a través de un par de electrodos puntuales [C1 y C2] mediante un dispositivo electrónico, mientras que la diferencia de potencial entre otro par de electrodos [P1 y P2] es registrada. La relación entre estas magnitudes brinda una resistividad aparente que varía en función de la resistencia de los materiales subsuperficiales.

**Figura 115.**

*El fundamento de la Tomografía de Resistividad Eléctrica.*



Fuente: [www.researchgate.net](http://www.researchgate.net)

Así también, se efectuaron **Pruebas de bombeo a régimen constante**, procediéndose a realizar la prueba durante al menos 2 días calendario, ajustando el tiempo en función de las características del acuífero. Para controlar el caudal de salida del pozo, se instaló un variador de frecuencias en el tablero que controla el

motor de la Electrobomba de eje vertical. La medición del caudal bombeado se realizó mediante un caudalímetro electrónico, instalado en la tubería de descarga. Al finalizar la prueba de bombeo, se midió la recuperación del nivel de agua subterránea en el pozo hasta alcanzar el nivel inicial medido antes de iniciar la prueba. Es importante destacar que se verificó la recuperación del nivel inicial de la prueba, lo que permitió determinar el tiempo total de recuperación del pozo. Durante los períodos de recuperación y bombeo, se tomaron medidas del nivel de agua en intervalos específicos empleando un sensor electrónico (pozómetro) con una precisión de 0.003m. Entonces, se realizó la lectura de los niveles del agua subterránea, en el pozo antes de prender la bomba y durante el bombeo, es decir, el nivel estático y los niveles dinámicos. Efectuándose el aforo del pozo, midiendo también el voltaje y amperaje del motor, midiendo las revoluciones del motor, registrando el tiempo de operación diaria y procediendo a medir la temperatura del agua. Las mediciones del nivel de agua subterránea se llevaron a cabo según el cronograma de procedimientos descritos a continuación:

**Tabla 50.**

*Programación de toma de niveles durante la prueba de bombeo.*

Descripción	Tiempo	Cantidad	Tiempo acumulado
Toma de niveles durante los 10 primeros minutos	Cada 01 min	11 medidas	10 min
Entre los 10 y 20 minutos siguientes	Cada 02 min	05 medidas	20 min
Entre los 20 y 50 minutos siguientes	Cada 05 min	06 medidas	50 min
Entre los 50 y 120 minutos siguientes	Cada 10 min	07 medidas	120 min
Entre los 120 y 180 minutos siguientes	Cada 20 min	03 medidas	180 min
Entre los 180 y 240 minutos siguientes	Cada 30 min	02 medidas	240 min
Después de los 240 minutos	Cada 60 min	20 medidas	1440 min

No obstante, se procedió a determinar los **Parámetros Físico-Químicos**, Inorgánicos, Microbiológicos y Parasitológicos del Agua, los cuales se refieren a las mediciones y análisis realizados para evaluar la calidad del agua en términos de sus características físicas, químicas, biológicas y parasitológicas, de acuerdo con el Reglamento de Estándar de Calidad Ambiental (ECA) aprobado mediante

DECRETO SUPREMO N° 4-2017-MINAM, específicamente en la categoría 3: Riego de vegetales y bebidas de animales, subcategoría D1: Riego de vegetales, subcategoría D2: Bebida de animales. Estos parámetros son fundamentales para determinar la idoneidad del agua subterránea extraída de las estaciones de bombeo IRHS 045, IRHS 008, IRHS 009 e IRHS 035 para su uso en actividades de riego y consumo animal. Los parámetros físico-químicos incluyen variables como el pH, la conductividad eléctrica, la temperatura, los sólidos disueltos totales, el oxígeno disuelto, entre otros, que proporcionan información sobre la composición y las propiedades del agua. Los parámetros inorgánicos abarcan la presencia de sustancias como metales pesados, nitratos, nitritos, cloruros, entre otros compuestos inorgánicos, cuyas concentraciones pueden afectar la calidad del agua. Por otro lado, los parámetros microbiológicos se centran en la detección de microorganismos indicadores de contaminación fecal, como coliformes fecales, *Escherichia coli*, entre otros, que pueden representar riesgos para la salud pública. Finalmente, los parámetros parasitológicos se enfocan en la identificación y cuantificación de parásitos como huevos helmintos, que pueden estar presentes en el agua y representar un riesgo para la salud humana. La evaluación integral de estos parámetros proporciona una visión completa de la calidad del agua y permite tomar medidas adecuadas para garantizar su potabilidad y seguridad en el uso con **finés agrícolas**.

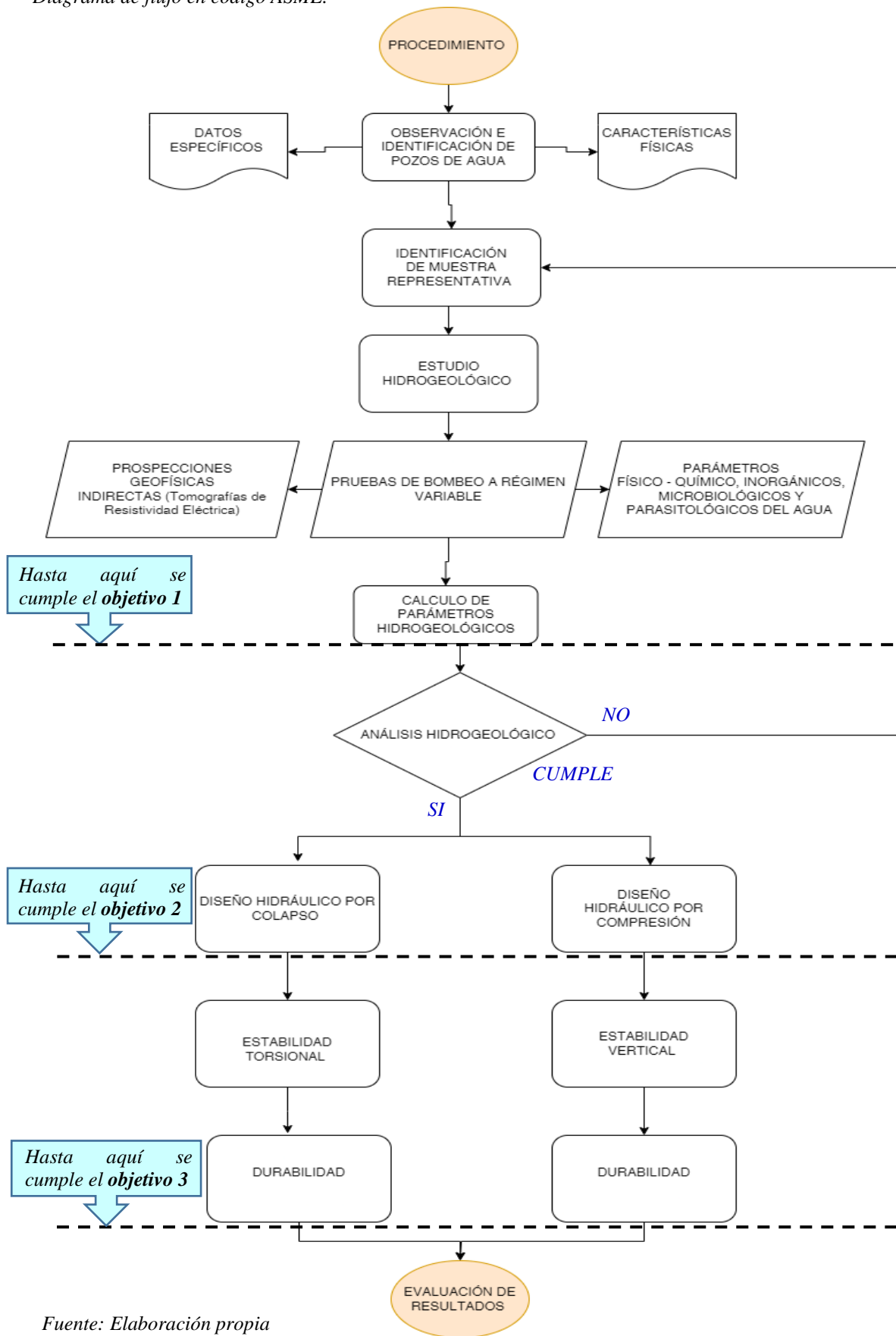
Asimismo, se procedió con el **diseño hidráulico por colapso** de la tubería, el cual se refiere al proceso fundamental en ingeniería hidráulica que se centra en la capacidad de las estructuras subterráneas, específicamente las tuberías de pozos profundos, para resistir los impactos sísmicos. Es crucial concebir su diseño con la capacidad de resistir las deformaciones del suelo durante un evento sísmico, considerando factores como el ángulo torsional y los esfuerzos radiales que actúan sobre la tubería. Estas estructuras están sujetas a esfuerzos significativos, incluyendo el esfuerzo de la formación geológica en la que se encuentran y el esfuerzo de la columna de agua que ejerce presión sobre ellas. La resistencia de la tubería está intrínsecamente ligada al material utilizado en su fabricación, así como al espesor y diámetro de la tubería. Por lo tanto, un diseño hidráulico efectivo por colapso de la tubería implicó un análisis detallado de estas variables,

garantizando que la tubería pueda resistir tanto los esfuerzos estáticos como los dinámicos que pueda enfrentar. Es esencial abordar estos aspectos de manera integral para asegurar la integridad estructural y la funcionalidad de las tuberías subterráneas en todo momento, minimizando así los riesgos asociados con el colapso durante condiciones sísmicas y otras cargas externas.

Por otro lado, se realizó el **diseño hidráulico por compresión** de la tubería, el cual es un proceso central en la ingeniería que se centra en la capacidad de las tuberías para resistir las fuerzas de compresión que actúan sobre ellas (enfoque de Timoshenko). La compresión de la tubería está estrechamente relacionada con las tensiones inherentes al material utilizado en su fabricación, así como con los esfuerzos axiales generados por la variación en la excentricidad a través de la tubería. Asimismo, este diseño debe tener en cuenta el esfuerzo de la formación geológica en la que se instalan las tuberías, ya que las características del suelo pueden afectar la capacidad de la tubería para soportar la compresión. Además, es esencial considerar las posibles implicaciones de las malas prácticas de construcción, las cuales podrían debilitar la estructura de la tubería y aumentar su susceptibilidad a la compresión. Por lo tanto, el diseño hidráulico por compresión de la tubería requirió un análisis exhaustivo de las propiedades del material de la tubería, así como de las condiciones geológicas y las prácticas de construcción, con el fin de asegurar su integridad estructural y su funcionamiento seguro bajo diversas condiciones de carga.

Plasmándose todos los procedimientos antes detallados en el siguiente diagrama de flujo en código ASME:

**Figura 116.**  
Diagrama de flujo en código ASME.



### **3.6. Métodos de análisis de datos**

Para el cálculo, demostración y el análisis de la información recopilada se efectuó la realización del análisis descriptivo. Mediante la aplicación de la Ley de Darcy, Condición de Dupuit, Condición de Dupuit – Forchheimer, Método de Theis, Método de Cooper – Jacob y Método Neuman; Los resultados recolectados fueron sometidos a análisis e interpretación mediante el uso de tablas, gráficos y otros recursos similares.

Efectuado el levantamiento de los puntos topográficos, se procesaron los mismos en el software AutoCAD 2019.

En lo que respecta a la tomografía de resistividad eléctrica, se emplearon los programas OASIS - GEOSOFT y PROSYS - Iris Instruments para procesar la información recopilada en campo y generar las pseudosecciones, mientras que las inversiones fueron llevadas a cabo mediante el uso del programa RES2DINV. Se realizaron análisis considerando la elevación y la ubicación específica de cada electrodo (dipolo).

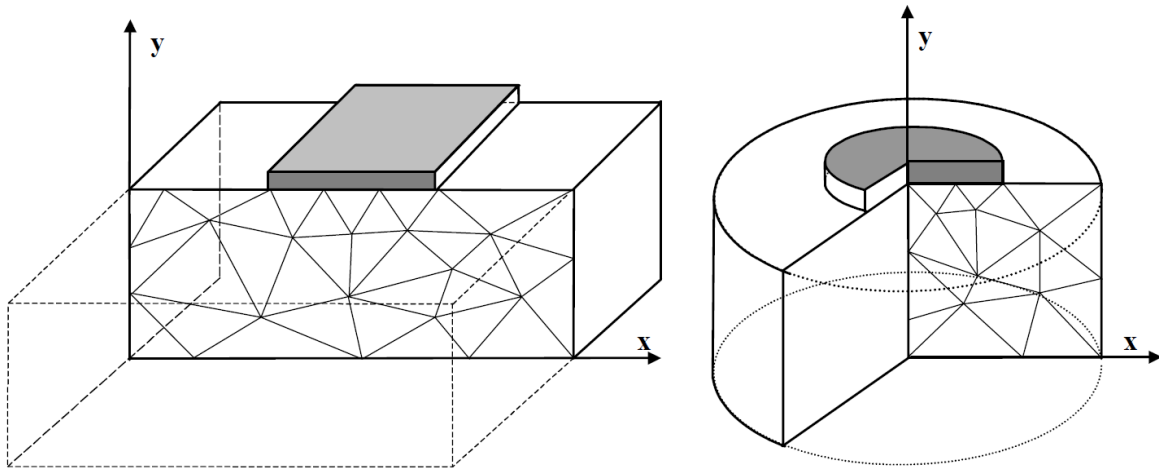
Así mismo, se efectuó la utilización del software AQTESOLV HydroSOLVE de (Duffield, 2007), el cual tuvo como objetivo el análisis de los datos obtenidos en las pruebas de bombeo. Este software se empleó con el propósito de hallar los parámetros hidráulicos relevantes para la caracterización del acuífero, tales como la conductividad hidráulica (K), la transmisividad (T) y el coeficiente de almacenamiento (S). Mediante la introducción de los datos de campo, incluyendo la información sobre los caudales de bombeo y las respuestas de los niveles piezométricos, AQTESOLV facilitó la realización de análisis de interferencia y ajuste de curvas para modelar el comportamiento del acuífero. Además, este software permitió la generación de gráficos y tablas que ayudan a visualizar y comprender mejor los resultados obtenidos, lo que facilitó la toma de decisiones en el diseño del presente proyecto, relacionado con recursos hídricos subterráneos. En resumen, la utilización de AQTESOLV HydroSOLVE proporcionó una herramienta integral y eficaz para el análisis e interpretación de datos de pruebas de bombeo en el campo de la ingeniería hidrogeológica.

Para el análisis y ejecución de cálculos fundamentales desarrollados en la presente tesis, vinculantes al diseño de obras hidráulicas, se utilizó el software MICROSOFT EXCEL. Este programa se empleó para la elaboración de fichas técnicas destinadas a la recopilación de información crucial para el desarrollo del proyecto, así como para la identificación precisa de elementos clave. Además, Microsoft Excel facilitó el cálculo detallado de las características hidráulicas del acuífero, incluyendo parámetros hidráulicos vitales para la comprensión del sistema subterráneo. Asimismo, se utilizó este software para llevar a cabo el cálculo del pozo, determinando el diámetro óptimo de la línea de impulsión y la potencia requerida para la bomba correspondiente. Del mismo modo, se empleó Microsoft Excel en el análisis del golpe de ariete, permitiendo evaluar y mitigar posibles riesgos asociados a la operación del sistema de bombeo. Además, se utilizaron funciones avanzadas de Microsoft Excel para calcular los esfuerzos a la compresión en tuberías y filtros, contribuyendo así a garantizar la integridad estructural y el rendimiento óptimo de los componentes del sistema hidráulico. En resumen, la utilización de Microsoft Excel como herramienta informática en proyectos hidrogeológicos proporcionó una plataforma versátil y eficiente para realizar cálculos precisos, elaborar documentación técnica detallada y tomar decisiones fundamentadas para la gestión y el diseño de sistemas hidráulicos subterráneos.

Para el diseño ante el riesgo de colapso debido a fuerzas dinámicas significativas, se empleó el software **PLAXIS**, el cual es una herramienta informática especializada en análisis de deformación y estabilidad de problemas geotécnicos mediante el método de elementos finitos bidimensionales. Este software permite modelar situaciones de deformación plana o con **axisimetría**, ofreciendo una aproximación precisa y detallada para evaluar la respuesta del terreno ante cargas dinámicas.

**Figura 117.**

Modelos para el análisis de deformación en PLAXIS.

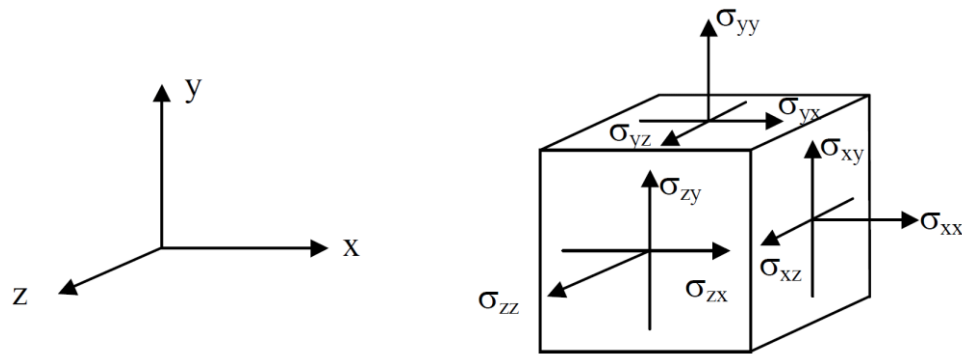


En el lado izquierdo se muestra un modelo de deformación PLANA, mientras que en el lado derecho se presenta un modelo con AXISIMETRÍA. Fuente: (Brinkgreve et al., 2002).

Incluso aunque la versión 8 del software PLAXIS sea un programa en dos dimensiones, las tensiones se definen utilizando un sistema de coordenadas cartesianas tridimensional (3D), como se ilustra en la figura siguiente.

**Figura 118.**

Configuración de coordenadas y tensiones en PLAXIS.



Durante un análisis con axisimetría, la coordenada "x" denota la radial, la coordenada "y" representa la axial, y "z" indica la dirección tangencial. Fuente: (Brinkgreve et al., 2002).



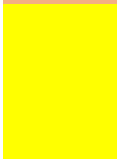


**Metodología para identificar la vulnerabilidad del acuífero en la cuenca del río Moquegua;** Se aborda la vulnerabilidad de los acuíferos en la cuenca del río Ilo-Moquegua desde una perspectiva preventiva. El estado actual de la cuenca en términos de riesgo de contaminación se refleja en el mapa de vulnerabilidad de acuíferos, detallado en el anexo. Este mapa se construyó utilizando la metodología GOD propuesta por Foster (1987), que asigna índices de 0 a 1 a tres variables clave: G (ocurrencia de agua subterránea), O (litología del acuífero) y D (profundidad al agua subterránea). La elaboración del mapa se llevó a cabo a nivel regional, tomando la cuenca hidrográfica como la unidad de análisis.

El gráfico utilizado para ponderar y valorar las unidades de vulnerabilidad a la contaminación se centra en medir aspectos físicos y propiedades de las unidades hidrogeológicas, sin tener en cuenta las particularidades específicas del contaminante. Al aplicar la metodología GOD, se evaluó y ponderó la vulnerabilidad de las formaciones geológicas presentes en la cuenca del río Ilo-Moquegua. La consideración de características intrínsecas como litología, espesor, permeabilidad y porosidad permitió identificar cinco categorías de vulnerabilidad en la cuenca. Estas categorías se presentan de manera visual en el mapa de vulnerabilidad de acuíferos de la cuenca Ilo-Moquegua (INGEMMET et al., 2019), detallado en el anexo del presente informe.

**Tabla 51.**

*Designación para el mapa de vulnerabilidad de acuíferos (metodología GOD.)*

N°	Característica de los materiales	Color	Categoría GOD
1	Formaciones geológicas donde los acuíferos son muy vulnerables. Zonas donde es necesario extremar las medidas preventivas. Materiales donde la contaminación puede propagarse velozmente y a grandes distancias.		Extrema (0.70 – 1.00)
2	Formaciones geológicas con acuíferos vulnerables, Terrenos donde la circulación subterránea es rápida.		Alta (0.51 - 0.69)
3	Formaciones geológicas donde los acuíferos se encuentran parcialmente protegidos de la entrada o de la propagación		Moderada (0.30 - 0.50)

	de agentes contaminantes, por ciertas características específicas de las rocas.		
4	Formaciones geológicas donde la contaminación puede revestir características variables, por ser poco extenso y de tipo muy diverso.		Baja (0.10 – 0.29)
5	Formaciones geológicas impermeables, en acuitardos o acuicludos, donde la contaminación es nula, no se excluye la existencia de pequeños acuíferos libres, muy vulnerables, situados en áreas donde existen fallas geológicas con propiedades de conducir aguas subterráneas.		Despreciable (0 – 0.09)

*Designación creada para confeccionar el mapa de vulnerabilidad de acuíferos utilizando la metodología GOD (Fuente: (IGME, 1976))*

**Referente a la vulnerabilidad de nuestros acuíferos analizados**, el POZO IRHS – 045 (La Chimba N°1), Pozo IRHS – 008 (INIA N°1) y el Pozo IRHS – 009 (INIA N°2), por tener una formación geológica con depósitos aluviales y cuya descripción litológica indica la presencia de conglomerado de gravas, arena gruesa, arcillas y limos, formándose acuíferos porosos no consolidados permeables, designándoseles un  $G=1$ ,  $O=0.8$  y  $D=0.95$ , obteniéndose un  $GOD=0.76$ , alcanzando la vulnerabilidad de **EXTREMA**; Así mismo, el pozo IRHS – 35 “La Cara”, por tener una formación geológica con depósitos eólicos y depósitos aluviales, cuya descripción litológica indica la presencia de arena suelta, depósitos fluvio aluviales saturados, conglomerados de grava, arena, arcillas y limos, formándose acuíferos porosos no consolidados permeables, designándoseles un  $G=1$ ,  $O=0.60$  y  $D=1$ , obteniéndose un  $GOD=0.60$ , alcanzando la vulnerabilidad de **ALTA**.

Dado que estos acuíferos están constituidos por materiales que permiten la filtración y tienen el nivel freático cercano a la superficie, existe la posibilidad de que se encuentren diversos agentes contaminantes en su proximidad. En esta categoría se engloban los depósitos aluviales, como en el caso del piso de valle de Moquegua (IRHS – 045, IRHS – 008 e IRHS – 009), y los glaciares y fluviales, como en el piso de valle de Ilo (IRHS – 35). Estos materiales representan depósitos con una alta permeabilidad, lo que facilita una rápida infiltración de agentes

contaminantes que alcanzan el subsuelo y las aguas subterráneas. Sobre estos depósitos cuaternarios se desarrollan diversas actividades agrícolas, ganaderas e industriales, y también se ubican ciudades y centros urbanos como Moquegua, Ilo, El Algarrobal, entre otros; por ende, presentan una alta susceptibilidad a la contaminación.

### **3.7. Aspectos éticos**

Con el fin de recopilar datos para la ficha de observación de este informe de estudio, se obtuvieron los permisos pertinentes de los propietarios del área donde se encuentran los pozos profundos para la extracción del recurso hídrico subterráneo. En este informe de investigación, para los estudios se respetaron las decisiones de los individuos involucrados en la investigación, tales como las autoridades, los dueños de terrenos agrícolas y la comunidad que se beneficiaría en general. Esto se hizo con el propósito de prevenir posibles complicaciones y dificultades con los implicados e interesados en la ejecución del proyecto.

## ASPECTOS ADMINISTRATIVOS

### Recursos y presupuesto

Cada proyecto es un paso hacia el descubrimiento y la innovación. Sin embargo, detrás de cada avance hay una cuidadosa planificación de recursos y presupuesto. En este capítulo, exploraremos en detalle los aspectos críticos relacionados con los elementos vitales para el éxito de este proyecto de investigación, lo cuales abarcan desde el talento humano, las herramientas, los equipos, hasta los activos duraderos, materiales esenciales y suministros. Además, incluyen consultorías expertas y servicios indispensables, así como los costos operativos que desempeñan un papel clave en la realización exitosa de esta investigación. Siendo conscientes de la importancia de un presupuesto bien gestionado, analizaremos cómo cada uno de estos elementos influye en la calidad y el alcance de nuestra investigación. Uno de los pilares fundamentales de cualquier proyecto de investigación es el investigador mismo. La dedicación y el tiempo que mi persona, como investigador, asigna al proyecto son recursos invaluableles. Cada paso, desde la etapa inicial de planificación hasta la fase de ejecución y análisis, este proyecto demanda una dedicación considerable en términos de tiempo y energía. La correcta distribución del tiempo entre investigación y otras responsabilidades es esencial para un desarrollo eficiente. Además, el pago de asesores y tesisistas agrega otra dimensión al presupuesto, asegurando una colaboración enriquecedora y un equipo competente para llevar a cabo el trabajo.

Una **base tecnológica** sólida resulta indispensable para asegurar el triunfo en todo proyecto de investigación. La adquisición de una computadora portátil Core i7 de alto rendimiento y un escritorio ergonómico ofrecen las herramientas imprescindibles para el análisis y el procesamiento de datos. El mobiliario de oficina adecuado crea un ambiente de trabajo cómodo y productivo. Estos **equipos y bienes duraderos** no solo mejoran la eficiencia del trabajo, sino que también influyen en la calidad del resultado final. La búsqueda de conocimiento requiere una amplia gama de materiales e insumos. La compra de manuales, libros especializados y acceso a bases de datos en línea enriquece la base de conocimientos del proyecto. Los softwares especializados permiten el análisis de

datos y la simulación de escenarios. Incluso la adquisición de alimentos para el equipo de investigación durante largas jornadas de trabajo es un factor a tener en cuenta para fomentar un entorno favorable para la imaginación y el enfoque concentrado. La colaboración con expertos en campos específicos es un componente valioso. Servicios como el procesamiento de muestras, la recolección de datos y pruebas especializadas como la tomografía eléctrica o la prueba de bombeo a régimen constante en un pozo profundo aportan información crucial para el desarrollo del proyecto. La evaluación de la calidad del recurso hídrico y la conectividad a través de servicios de internet, energía eléctrica y agua y desagüe son factores fundamentales en la conducción y la recopilación de datos precisos. Los **gastos operativos** abarcan una amplia gama de necesidades. La compra de útiles de escritorio, impresiones y transporte relacionado con el trabajo de campo son esenciales para el funcionamiento diario del proyecto. Además, la participación en cursos vinculados al proyecto de investigación permite mantenerse actualizado y conectado con la comunidad científica, aportando nuevos enfoques y perspectivas.

**En resumen**, el éxito de un proyecto de investigación se basa en una ecuación compleja de recursos y presupuesto. El talento humano, las herramientas, los equipos, hasta los activos duraderos, materiales esenciales y suministros; Además, incluyen consultorías expertas y servicios indispensables, así como los costos operativos, los cuales forman la columna vertebral del presente informe de investigación. La asignación cuidadosa de estos recursos garantiza la calidad y la efectividad de cada paso del proceso. El presente proyecto de investigación va más allá de los números y los recursos tangibles. El compromiso y la pasión del investigador, la colaboración con colegas y expertos, y la perseverancia en la búsqueda del conocimiento son elementos intangibles, pero igualmente esenciales. Estos aspectos impulsan la investigación hacia nuevos horizontes y contribuyen al avance de la ciencia en su conjunto.

**En última instancia**, la eficaz administración de los recursos y el presupuesto para el presente proyecto de investigación garantiza no solo resultados concretos, sino también un futuro prometedor para la colectividad científica y la sociedad en su conjunto. Cada paso bien planificado y ejecutado se suma al crecimiento de la base

de conocimientos humanos. Así, el compromiso con la excelencia y la inversión en los recursos adecuados son los cimientos sobre los cuales se construyen los pilares de la innovación y el progreso científico. No obstante, se detalla a continuación la estructura presupuestal del presente informe de investigación, acorde a los lineamientos consignados por específica de gasto según el MEF (Ministerio de Economía y Finanzas):

**Tabla 52.**

*Clasificación presupuestal de los insumos, suministros y recursos, acorde al MEF.*

<b>Clasificador (MEF)</b>	<b>Código B/S (MEF)</b>	<b>Descripción</b>	<b>Und.</b>	<b>Cant.</b>	<b>Precio (S/.)</b>	<b>Parcial (S/.)</b>
	<b>A)</b>	<b>BIENES</b>				<b>7,693.30</b>
<b>2.3.1</b>		<b>COMPRA DE BIENES</b>				<b>3,218.30</b>
<b>2.3.1.1.1</b>		<b>ALIMENTOS Y BEBIDAS</b>				<b>2,880.00</b>
2.3.1.1.1.1	09.79.0004.0157	DESAYUNO, ALMUERZO Y CENA	mes	8.00	360.00	2,880.00
<b>2.3.1.5.1</b>		<b>MATERIALES Y UTILES DE OFICINA</b>				<b>338.30</b>
<b>2.3.1.5.1.2</b>		<b>PAPELERIA EN GENERAL, UTILES Y MATERIALES DE OFICINA</b>				<b>338.30</b>
2.3.1.5.1.2	71.72.0005.0212	PAPEL BOND 75 g TAMAÑO A4	millar	4.00	22.00	88.00
2.3.1.5.1.2	71.60.0001.0208	BOLIGRAFO (LAPICERO) DE TINTA SECA PUNTA FINA COLOR AZUL	Und.	5.00	2.50	12.50
2.3.1.5.1.2	71.85.0005.0044	CLIP DE METAL 33 mm FORRADO CON PLASTICO X 100	Und.	2.00	2.50	5.00
2.3.1.5.1.2	71.11.0003.0005	CORRECTOR LIQUIDO TIPO LAPICERO	Und.	2.00	3.00	6.00
2.3.1.5.1.2	71.72.0003.0138	CUADERNO CUADRICULADO TAMAÑO A4 X 150 HOJAS	Und.	1.00	12.00	12.00
2.3.1.5.1.2	71.85.0008.0025	GRAPA 26/6 X 1000	Und.	3.00	3.50	10.50
2.3.1.5.1.2	71.50.0011.0033	ENGRAPADOR DE METAL DE OFICINA 26/6	Und.	1.00	36.00	36.00
2.3.1.5.1.2	71.06.0012.0067	MICA PORTA DOCUMENTO TRANSPARENTE TAMAÑO A4	Und.	100.00	0.60	60.00
2.3.1.5.1.2	71.60.0011.0028	MINA DE LAPIZ DE 0.9 mm 2B X 24	Und.	1.00	2.20	2.20
2.3.1.5.1.2	71.50.0044.0001	MOTA PARA PIZARRA ACRILICA	Und.	1.00	3.50	3.50
2.3.1.5.1.2	71.03.0012.0145	NOTA AUTOADHESIVA 7.3 cm X 7.3 X 100 HOJAS	Und.	2.00	3.00	6.00
2.3.1.5.1.2	71.60.0006.0378	PLUMON PARA PIZARRA ACRILICA PUNTA GRUESA	Und.	5.00	3.50	17.50

Clasificador (MEF)	Código B/S (MEF)	Descripción	Und.	Cant.	Precio (S/.)	Parcial (S/.)
2.3.15.1.2	71.60.0006.0385	PLUMON RESALTADOR PUNTA MEDIANA BISELADA	Und.	3.00	5.50	16.50
2.3.15.1.2	71.60.0007.0002	PORTAMINA 0.5 mm	Und.	2.00	14.00	28.00
2.3.15.1.2	71.50.0020.0007	SACAGRAPA DE METAL TIPO MARIPOSA	Und.	1.00	3.00	3.00
2.3.15.1.2	71.50.0021.0040	TABLERO ACRILICO TAMAÑO A4 CON SUJETADOR DE METAL TIPO GANCHO	Und.	2.00	11.00	22.00
2.3.15.1.2	71.06.0004.0004	FOLDER MANILA TAMAÑO A4	Und.	12.00	0.80	9.60
<b>2.6.3</b>		<b>ADQUISICION DE VEHICULOS, MAQUINARIAS Y OTROS</b>				<b>4,475.00</b>
<b>2.6.3.2</b>		<b>ADQUISICION DE MAQUINARIAS, EQUIPO Y MOBILIARIO</b>				<b>4,475.00</b>
<b>2.6.3.2.1</b>		<b>PARA OFICINA</b>				<b>1,275.00</b>
<b>2.6.3.2.1.2</b>		<b>MOBILIARIO</b>				<b>1,275.00</b>
2.6.3.2.1.2	74.64.3712.0179	ESCRITORIO DE MADERA 50 cm X 75 cm X 1.50 m	Und.	1.00	530.00	530.00
2.6.3.2.1.2	74.64.8390.0044	SILLA GIRATORIA DE METAL CON BRAZOS	Und.	1.00	345.00	345.00
2.6.3.2.1.2	74.64.7305.0089	PIZARRA ACRILICA DE 1.20 m X 2 m	Und.	1.00	400.00	400.00
<b>2.6.3.2.3</b>		<b>ADQUISICION DE EQUIPOS INFORMATICOS</b>				<b>3,200.00</b>
<b>2.6.3.2.3.1</b>		<b>EQUIPOS COMPUTACIONALES Y PERIFERICOS</b>				<b>3,200.00</b>
2.6.3.2.3.1	74.08.0500.0037	COMPUTADORA PERSONAL PORTATIL DE 1.6 GHz PANTALLA DE 17.3 in	Und.	1.00	3,200.00	3,200.00
	<b>B)</b>	<b>SERVICIOS</b>				<b>9,653.60</b>
<b>2.3.2</b>		<b>CONTRATAION DE SERVICIOS</b>				<b>9,653.60</b>
<b>2.3.2.1</b>		<b>VIAJES</b>				<b>1,080.00</b>
<b>2.3.2.1.2</b>		<b>VIAJES DOMESTICOS</b>				<b>1,080.00</b>
<b>2.3.2.1.2.1</b>		<b>PASAJES Y GASTOS DE TRANSPORTE</b>				<b>1,080.00</b>
2.3.2.1.2.1	90.10.0001.0003	SERVICIO DE PASAJES TERRESTRE	Serv.	1.00	1,080.00	1,080.00
<b>2.3.2.2</b>		<b>SERVICIOS BASICOS</b>				<b>973.60</b>
<b>2.3.2.2.1</b>		<b>SERVICIOS DE ENERGIA ELECTRICA, AGUA Y GAS</b>				<b>413.60</b>
<b>2.3.2.2.1.1</b>		<b>SERVICIO DE SUMINISTRO DE ENERGIA ELECTRICA</b>				<b>329.60</b>
2.3.2.2.1.1	87.01.0002.0003	SERVICIO DE ENERGÍA ELÉCTRICA	mes	8.00	41.20	329.60
<b>2.3.2.2.1.2</b>		<b>SERVICIO DE AGUA Y DESAGUE</b>				<b>84.00</b>

Clasificador (MEF)	Código B/S (MEF)	Descripción	Und.	Cant.	Precio (S/.)	Parcial (S/.)
2.3.22.12	87.01.0001.0002	SERVICIO DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO	mes	8.00	10.50	84.00
<b>2.3.22.2</b>		<b>SERVICIOS DE TELEFONIA E INTERNET</b>				<b>560.00</b>
<b>2.3.22.23</b>		<b>SERVICIO DE INTERNET</b>				<b>560.00</b>
2.3.22.23	87.05.0003.0019	SERVICIO DE INTERNET	mes	8.00	70.00	560.00
<b>2.3.27</b>		<b>SERVICIOS PROFESIONALES Y TECNICOS</b>				<b>7,600.00</b>
<b>2.3.27.1</b>		<b>SERVICIOS DE CONSULTORIAS Y SIMILARES DESARROLLADOS POR PERSONAS JURIDICAS</b>				<b>5,800.00</b>
<b>2.3.27.17</b>		<b>INVESTIGACIONES (ASESORIA) CURSO</b>				<b>5,800.00</b>
2.3.27.17	35.20.0001.3534	ASESORAMIENTO DE PROYECTO DE TESIS	Serv.	1.00	5,800.00	5,800.00
<b>2.3.27.11</b>		<b>OTROS SERVICIOS</b>				<b>1,800.00</b>
<b>2.3.27.116</b>		<b>SERVICIO DE IMPRESIONES</b>				<b>300.00</b>
2.3.27.116	50.01.0005.1553	SERVICIO DE FOTOCOPIADO, IMPRESIONES Y ESCANEADO	Serv.	1.00	300.00	300.00
<b>2.3.27.1199</b>		<b>SERVICIOS DIVERSOS</b>				<b>1,500.00</b>
2.3.27.1199	21.01.0001.0922	OTROS SERVICIOS	Glb.	1.00	1,500.00	1,500.00
<b>TOTAL (A+B)</b>					<b>S/ 17,346.90</b>	

Fuente: Elaboración propia

## Financiamiento

El respaldo financiero desempeña un rol fundamental en el progreso y la consecución exitosa de un proyecto. En mi caso, opté por un enfoque **autofinanciado** para solventar los gastos de mi proyecto de investigación. Desde el inicio hasta la conclusión, la totalidad de los gastos fue asumida por mí, lo que me permitió llevar a cabo mi estudio de manera independiente y dedicada. El financiamiento de mi proyecto de investigación se convirtió en una tarea desafiante pero gratificante. Decidí asumir todos los gastos involucrados, lo que implicó una inversión personal significativa. A lo largo del proceso, me dediqué a buscar y aprovechar recursos disponibles para maximizar el alcance de mi investigación.



Esta decisión no solo me permitió mantener un control total sobre los recursos utilizados, sino que también demostró mi compromiso y dedicación hacia la investigación.

La elección de autofinanciar mi proyecto de investigación me brindó una valiosa autonomía y flexibilidad. Al no depender de financiamiento externo, pude tomar decisiones rápidas y ajustar mi enfoque según las necesidades cambiantes de mi investigación. Esta agilidad me permitió adaptarme a desafíos imprevistos y optimizar mis recursos de manera eficiente. Afrontar el desafío de autofinanciar mi proyecto también implicó superar obstáculos financieros. La gestión rigurosa de los gastos fue esencial para evitar agotar los recursos disponibles. Sin embargo, las recompensas fueron significativas. Cada inversión en equipos, materiales e insumos contribuyó directamente a la calidad de mi investigación y al logro de resultados sólidos y confiables. Mi experiencia en el autofinanciamiento de mi proyecto de investigación me ha dejado valiosas lecciones y una profunda comprensión de la importancia de una planificación financiera sólida. Si bien es una elección personal, considero que este enfoque tiene el potencial de ser una estrategia viable para investigadores comprometidos que deseen mantener el control total sobre su trabajo y ser capaces de tomar decisiones ágiles.

**Tabla 53.**

*Financiamiento presupuestal.*

<b>Asignación presupuestal</b>	<b>Monto</b>	<b>Porcentaje</b>
Autofinanciado	S/ 17,346.90	100 %

*Fuente: Elaboración propia.*

**Cronograma de ejecución**

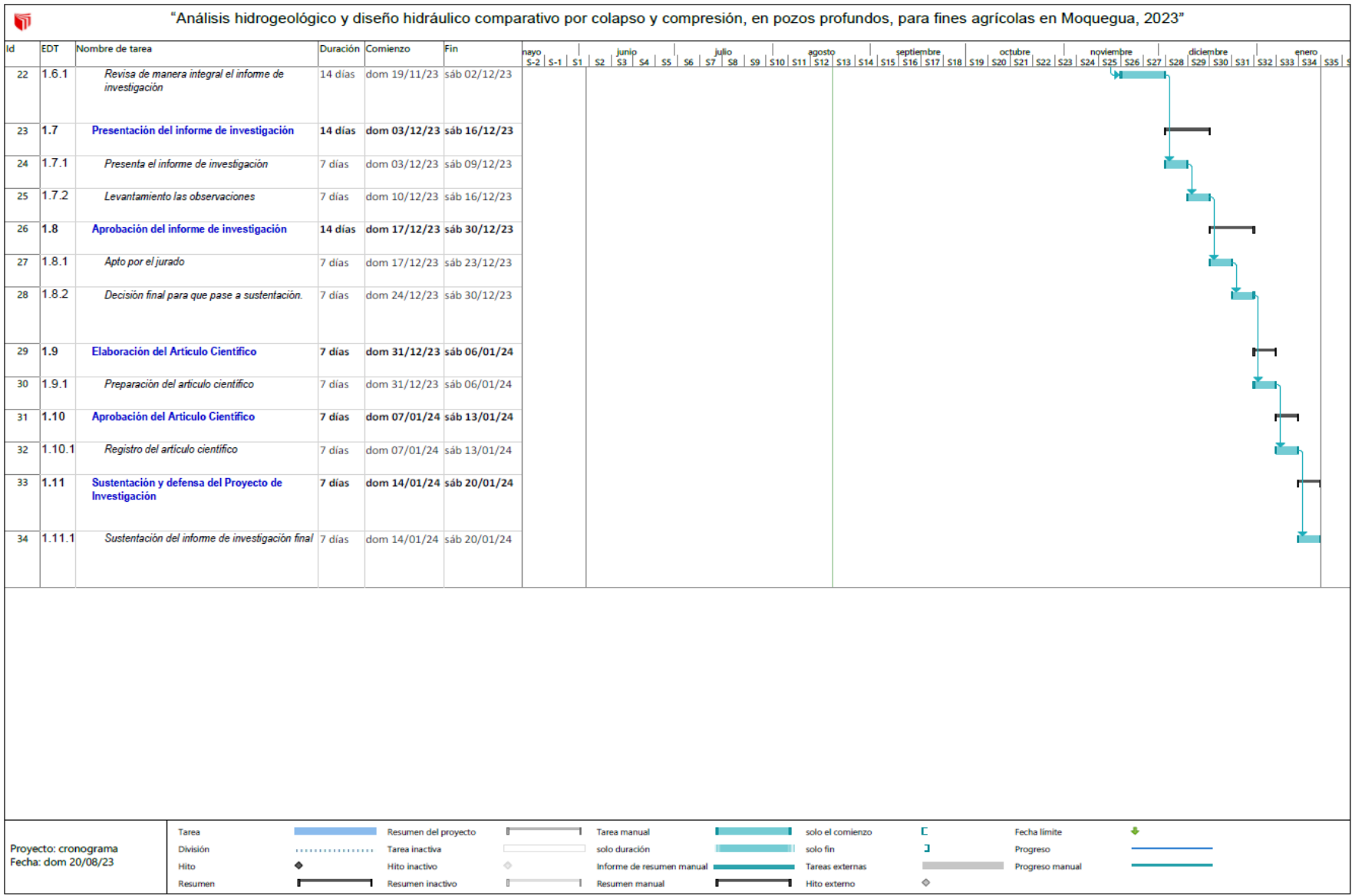
Un factor preponderante del presente informe de investigación es la planificación y gestión efectiva del tiempo en que se llevaron a cabo las actividades programadas. Un elemento fundamental en este proceso es el diagrama de Gantt, una herramienta visual que me permite representar de manera clara y detallada el cronograma de ejecución. El diagrama de Gantt se ha desarrollado hasta convertirse en una herramienta indispensable en la gestión de proyectos,

incluyendo el presente informe de investigación. Este gráfico muestra el tiempo en que se realizarán cada una de las actividades programadas, brindando una vista panorámica de la secuencia y duración de cada etapa. Cada actividad se representa como una barra horizontal, cuya longitud indica la duración, y se ubica en el período de tiempo correspondiente. Esta representación visual facilita la identificación de interdependencias entre tareas y la detección de posibles solapamientos. La planificación estratégica se torna fundamental para el logro exitoso de cualquier investigación. Un cronograma de ejecución bien elaborado permite asignar de manera eficiente los recursos disponibles y previene la redundancia de labores. Al definir plazos realistas para cada actividad; El diagrama de Gantt no solo es útil para la planificación inicial, sino también para el control y seguimiento de avances. A medida que las actividades avanzan, pude comparar los resultados reales con las metas establecidas en el cronograma. Esto me permitió identificar desviaciones tempranas y tomar medidas correctivas para evitar retrasos significativos. No obstante, a continuación de aprecia el diagrama Gantt del presente Proyecto de Investigación:

**Figura 119.**  
Cronograma de Ejecución.



**Figura**



#### IV. RESULTADOS

Durante el avance de este capítulo en particular, se incorporaron minuciosamente todos los resultados que se derivaron de la recopilación de datos en campo realizada en los cuatro pozos de aguas subterráneas. Dicha recopilación se llevó a cabo mediante fichas de observación y análisis específicamente diseñadas para el estudio de las aguas subterráneas contenidas en estos pozos. El propósito fundamental de esta investigación fue la de efectuar el análisis hidrogeológico de dichos acuíferos y mediante la comparación de diseños hidráulicos en pozos profundos, optando por el diseño más óptimo, el cual establezca y garantice un sistema de abastecimiento de aguas subterráneas que se tradujera en beneficios tangibles para la industria agrícola de Moquegua.

#### Figura 120.

*Tablero de control con variador de frecuencia (pruebas de bombeo).*

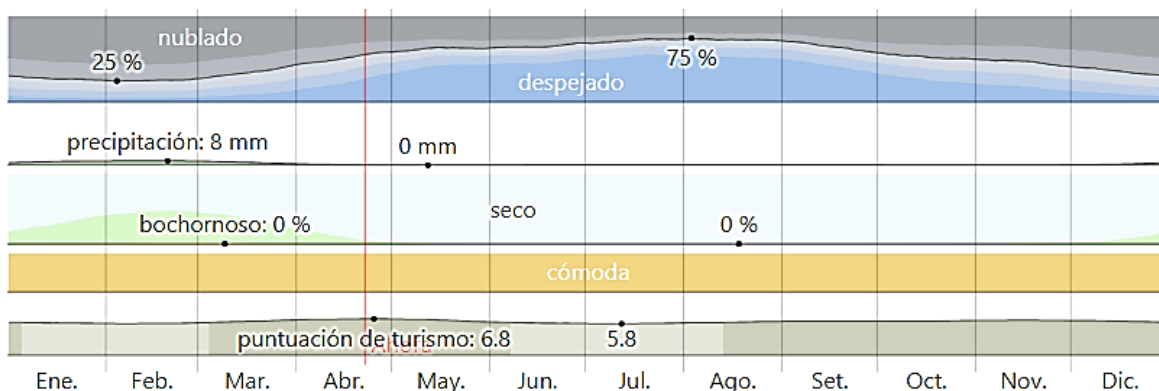


*Tablero de control con variador de frecuencia, durante pruebas de desempeño del acuífero, en pozo profundo IRHS – 045 (Fuente: Propio).*

En cuanto al **clima** en Moquegua, se caracteriza por veranos prolongados, cálidos y secos, con cierta presencia de nubes, mientras que los inviernos son breves, frescos, con baja humedad y mayormente despejados. A lo largo del año, las temperaturas oscilan generalmente entre los 10 °C y los 24 °C, siendo poco común que descendieran por debajo de los 9 °C o superaran los 25 °C.

### Figura 121.

Variaciones climáticas en Moquegua.

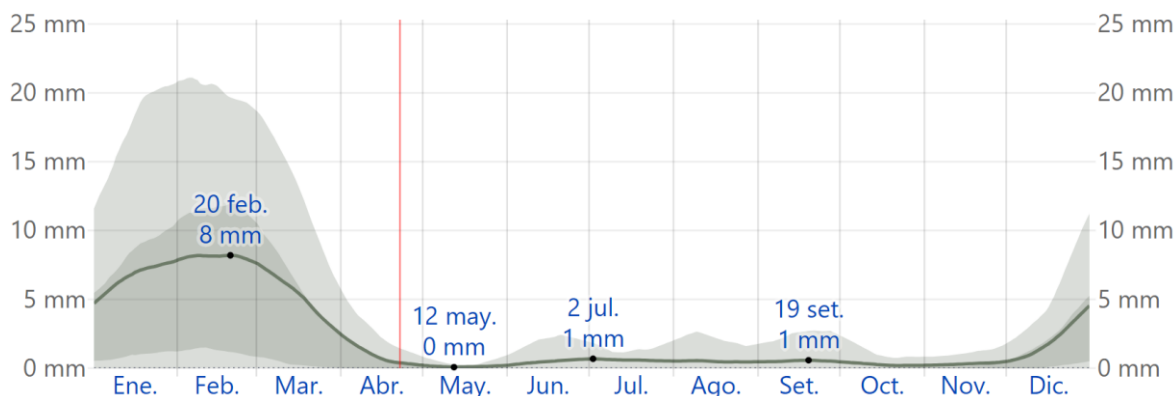


Condiciones climáticas en Moquegua a lo largo de los diferentes meses del año. Fuente: WeatherSpark.com

En Moquegua, la cantidad de lluvia experimenta cambios menores de un mes a otro, dependiendo de la estación, por ejemplo, febrero se destaca como el mes con la mayor cantidad de precipitaciones, con un promedio de 8 milímetros, mientras que mayo se caracterizaba por ser el mes más seco, con un promedio de 0 milímetros de lluvia.

### Figura 122.

Media mensual de precipitación en Moquegua.



La figura se refiere a la acumulación de lluvia promedio a lo largo de un periodo de 31 días, representada por una línea sólida en una escala móvil. Fuente: WeatherSpark.com

En relación a la topografía de Moquegua, se registraron las coordenadas geográficas del área, que indicaban una latitud de  $-17.198^\circ$ , una longitud de  $-70.936^\circ$  y una elevación de 1,440 metros sobre el nivel del mar. Se observaron variaciones significativas en la altitud dentro de un radio de 3 kilómetros alrededor de Moquegua, con un cambio máximo de 360 metros y una altitud promedio de 1,425 metros sobre el nivel del mar. Dentro de un radio de 16 kilómetros, se notaron variaciones aún más marcadas en la altitud, alcanzando hasta los 2,122 metros.

Asimismo, en un radio de 80 kilómetros, se encontraron variaciones extremas en la altitud, llegando hasta los 5,808 metros.

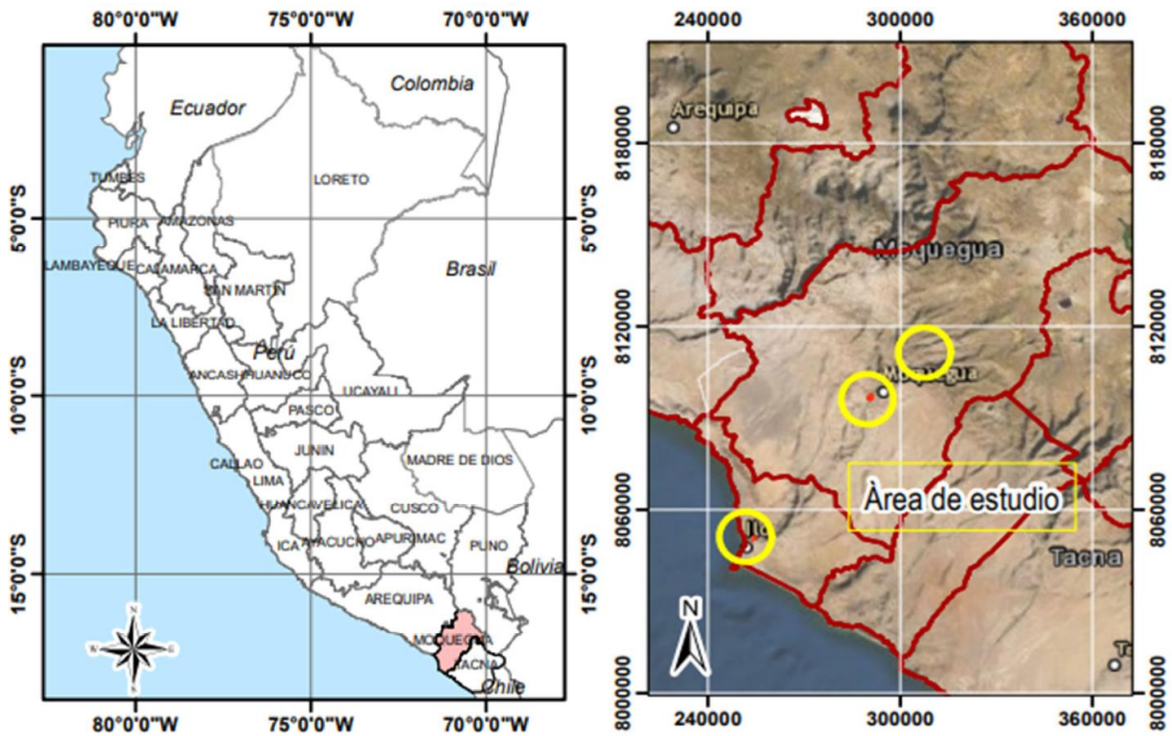
El equipo utilizado para la georreferenciación comprendió un dispositivo de mano GPS con conectividad inalámbrica de la marca GARMIN, modelo GPS Map 62s. Este dispositivo estaba equipado con una antena GPS Cuadrifilar de alta sensibilidad, una pantalla a colores de 2.6 pulgadas y una brújula de tres ejes con altímetro barométrico. Con este dispositivo, se llevaron a cabo las operaciones de georreferenciación de las estaciones de bombeo analizadas. Mediante el uso de la antena GPS Cuadrifilar, se logró una recepción precisa de las señales satelitales, permitiendo determinar con exactitud las coordenadas UTM y el cuadrante al que pertenecían las estaciones de bombeo de agua subterránea. Además, la pantalla a colores facilitó la visualización clara de los mapas topográficos, contribuyendo a una toma de decisiones más informada durante el proceso de georreferenciación. La brújula de tres ejes, junto con el altímetro barométrico, permitió determinar la cota de las estaciones con respecto al nivel del mar, proporcionando información adicional para la caracterización del terreno. En resumen, el equipo usado para la georreferenciación demostró ser una herramienta fundamental para la obtención de datos precisos y completos en el análisis de las estaciones de bombeo, integrando tecnología avanzada con funcionalidades específicas para la ingeniería.

La **ubicación** de los pozos profundos, donde se realizó el estudio hidrogeológico, es el siguiente: **a) POZO IRHS – 045 (La Chimba N°1)**, cuya ubicación política es en el departamento de Moquegua, provincia de Mariscal Nieto, distrito de Moquegua y sector “La Chimba – Santa Rosa”; Y en cuanto a la ubicación geográfica, el pozo profundo se ubica en las coordenadas Este UTM 292722 y norte UTM 8099636 a una cota de 1350 m.s.n.m. **b) POZO IRHS – 008 (INIA N°1)**, cuya ubicación política es en el departamento de Moquegua, provincia de Mariscal Nieto, distrito de Moquegua y sector “INIA – Santa Rosa”; Y en cuanto a la ubicación geográfica, el pozo profundo se ubica en las coordenadas Este UTM 290784 y norte UTM 8096850 a una cota de 1261 m.s.n.m. **c) POZO IRHS – 009 (INIA N°2)**, cuya ubicación política es en el departamento de Moquegua, provincia de Mariscal Nieto, distrito de Moquegua y sector “INIA – Santa Rosa”; Y en cuanto a la ubicación geográfica, el pozo profundo se ubica en las coordenadas Este UTM 290596 y norte

UTM 8096401 a una cota de 1250 m.s.n.m. **d) POZO IRHS-035 – (LA CARA)**, cuya ubicación política es en el departamento de Moquegua, provincia de Ilo, distrito de “El Algarrobal” y sector “La Cara”; Y en cuanto a la ubicación geográfica, el pozo profundo se ubica en las coordenadas Este UTM 254065 y norte UTM 8050334 a una cota de 31 m.s.n.m.

**Figura 123.**

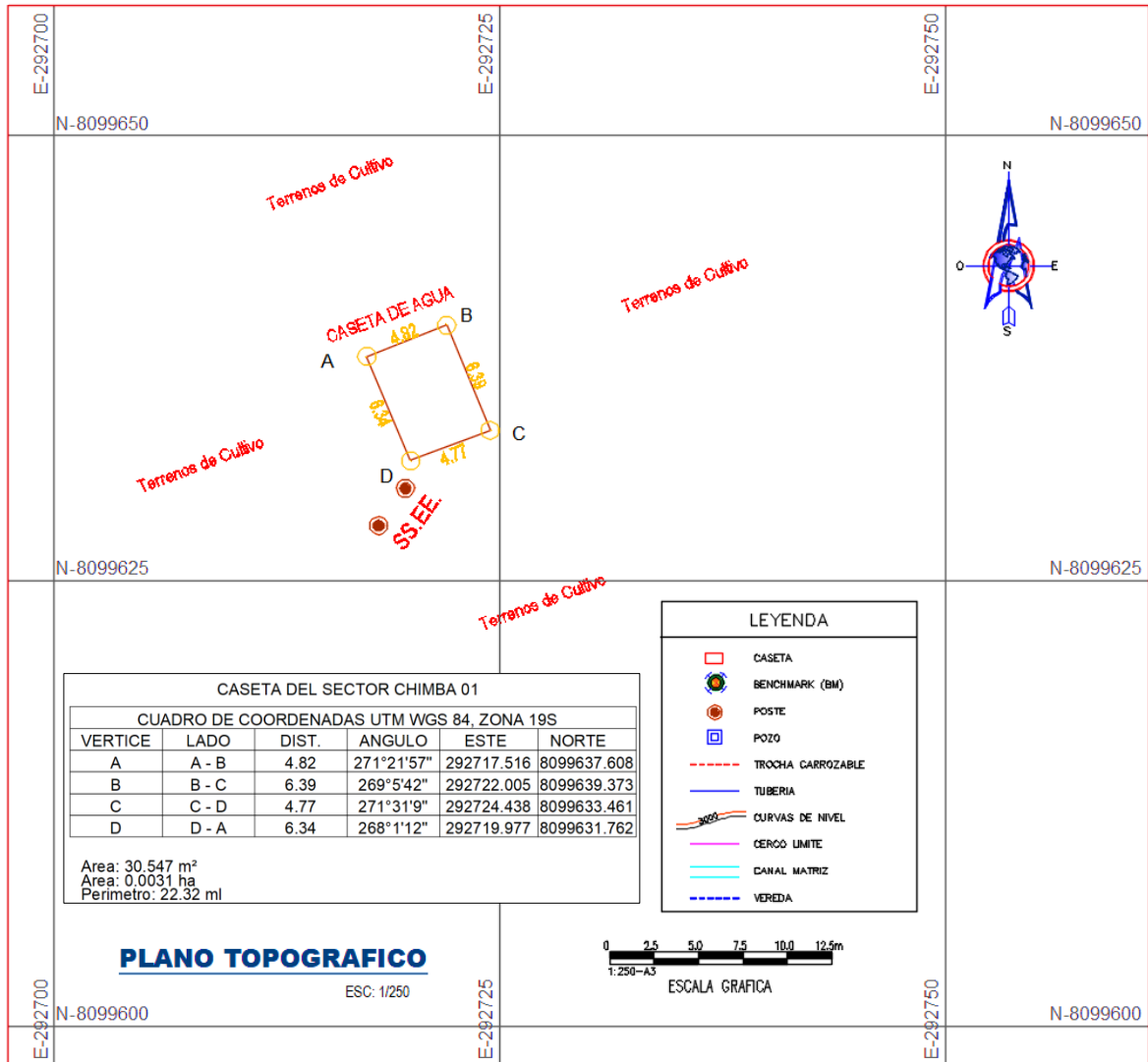
*Ubicación y localización del área de estudio*





**Figura 124.**

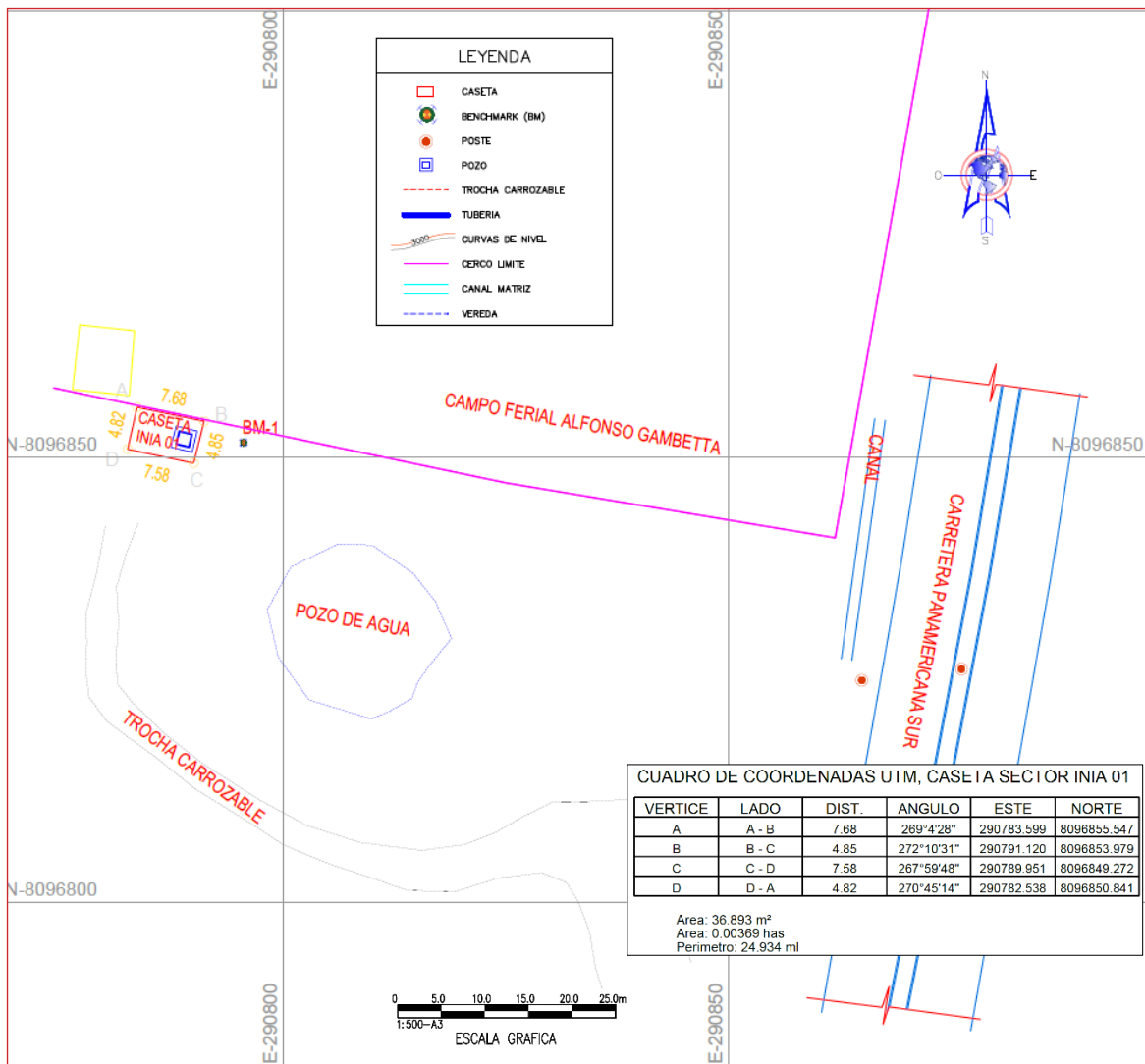
Plano topográfico de la estación de bombeo IRHS – 045.



Plano topográfico de estación de bombeo, donde se ubica el POZO IRHS – 045 La Chimba N° 01. (Fuente: Elaboración propia)

**Figura 125.**

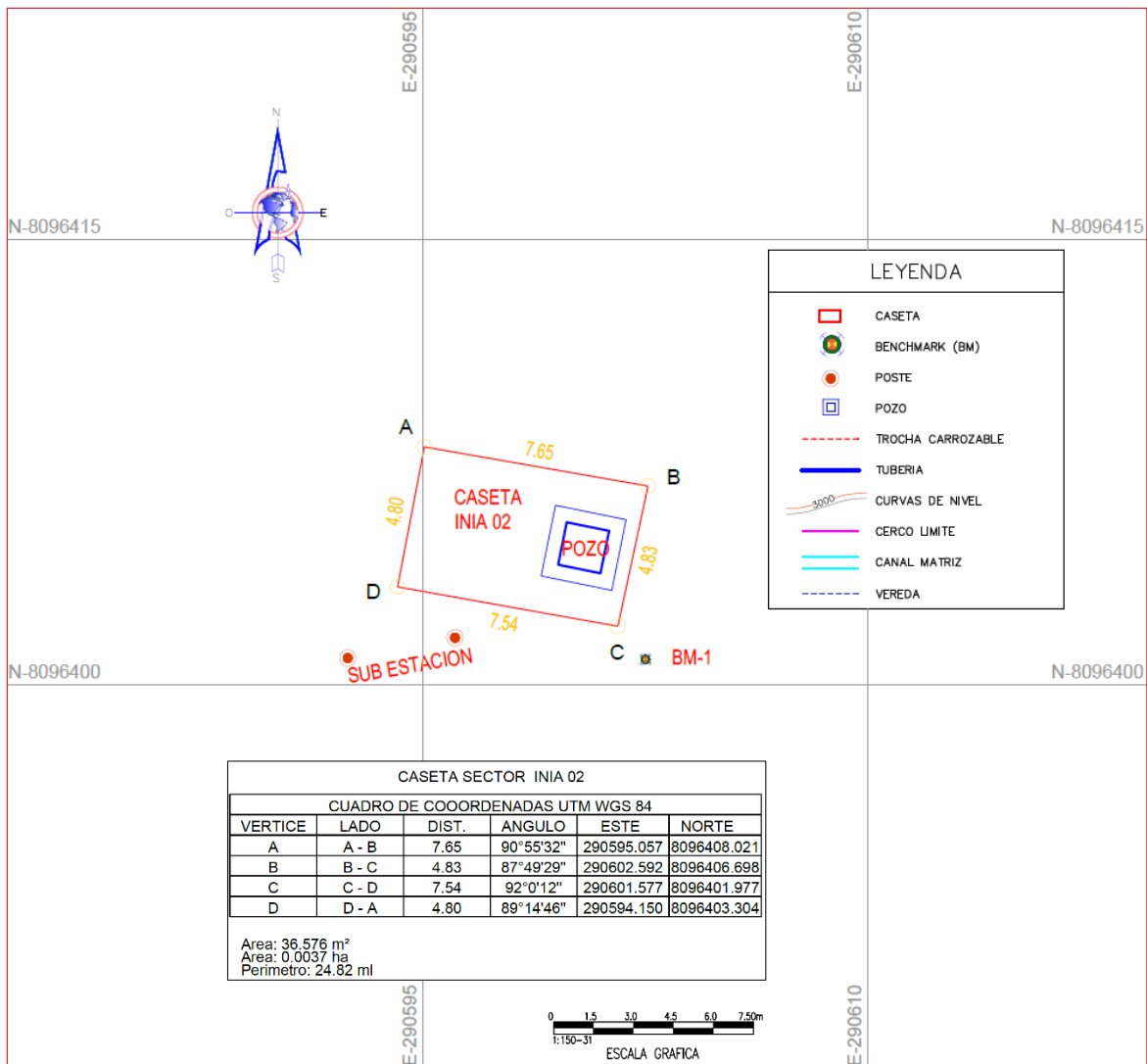
Plano topográfico de la estación de bombeo IRHS – 008.



Plano topográfico de estación de bombeo, donde se ubica el POZO IRHS – 008 INIA N° 01. (Fuente: Elaboración propia)

**Figura 126.**

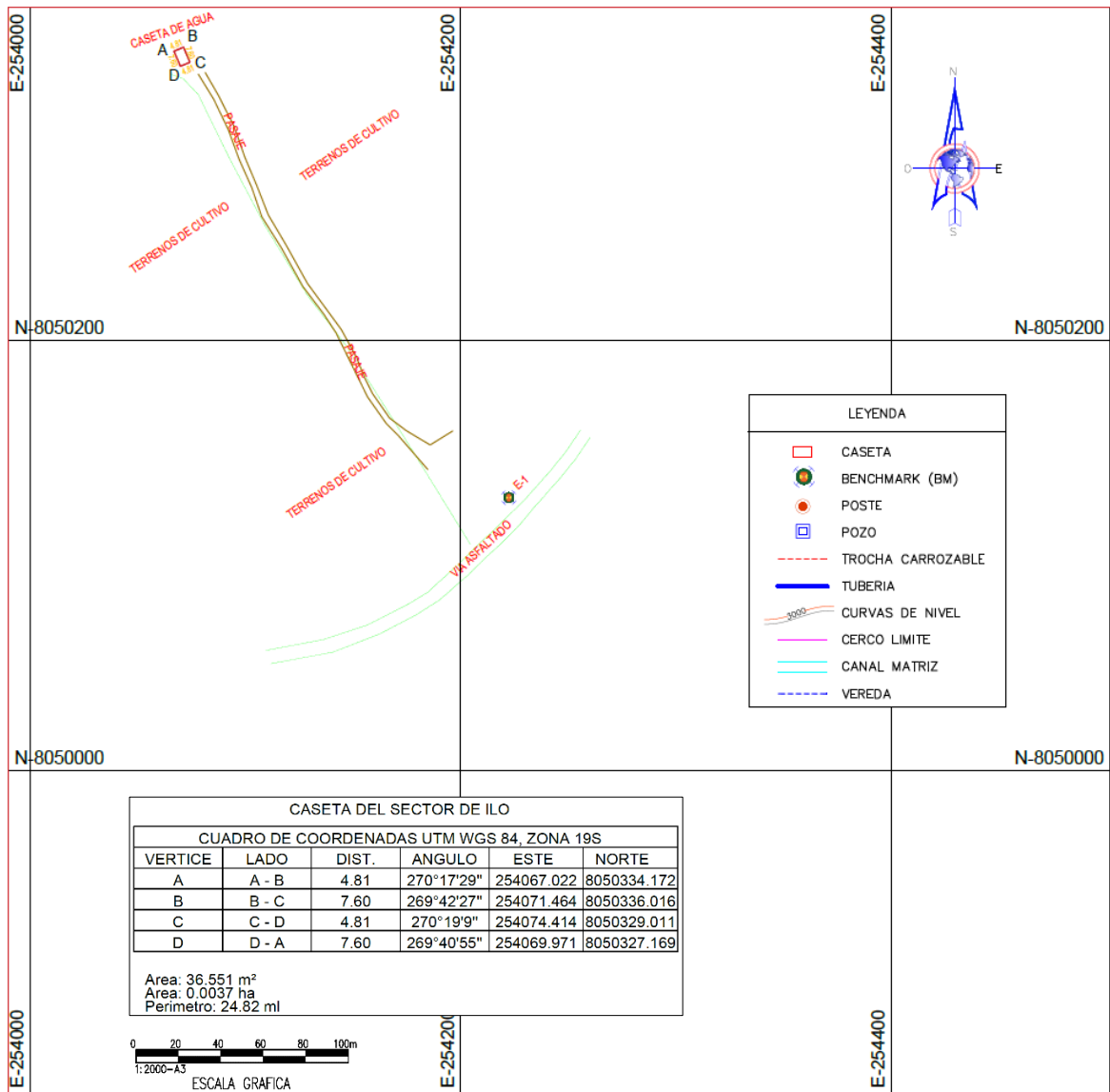
Plano topográfico de la estación de bombeo IRHS – 009.



Plano topográfico de estación de bombeo, donde se ubica el POZO IRHS – 009 INIA N° 02. (Fuente: Elaboración propia).

**Figura 127.**

Plano topográfico de la estación de bombeo IRHS – 035.



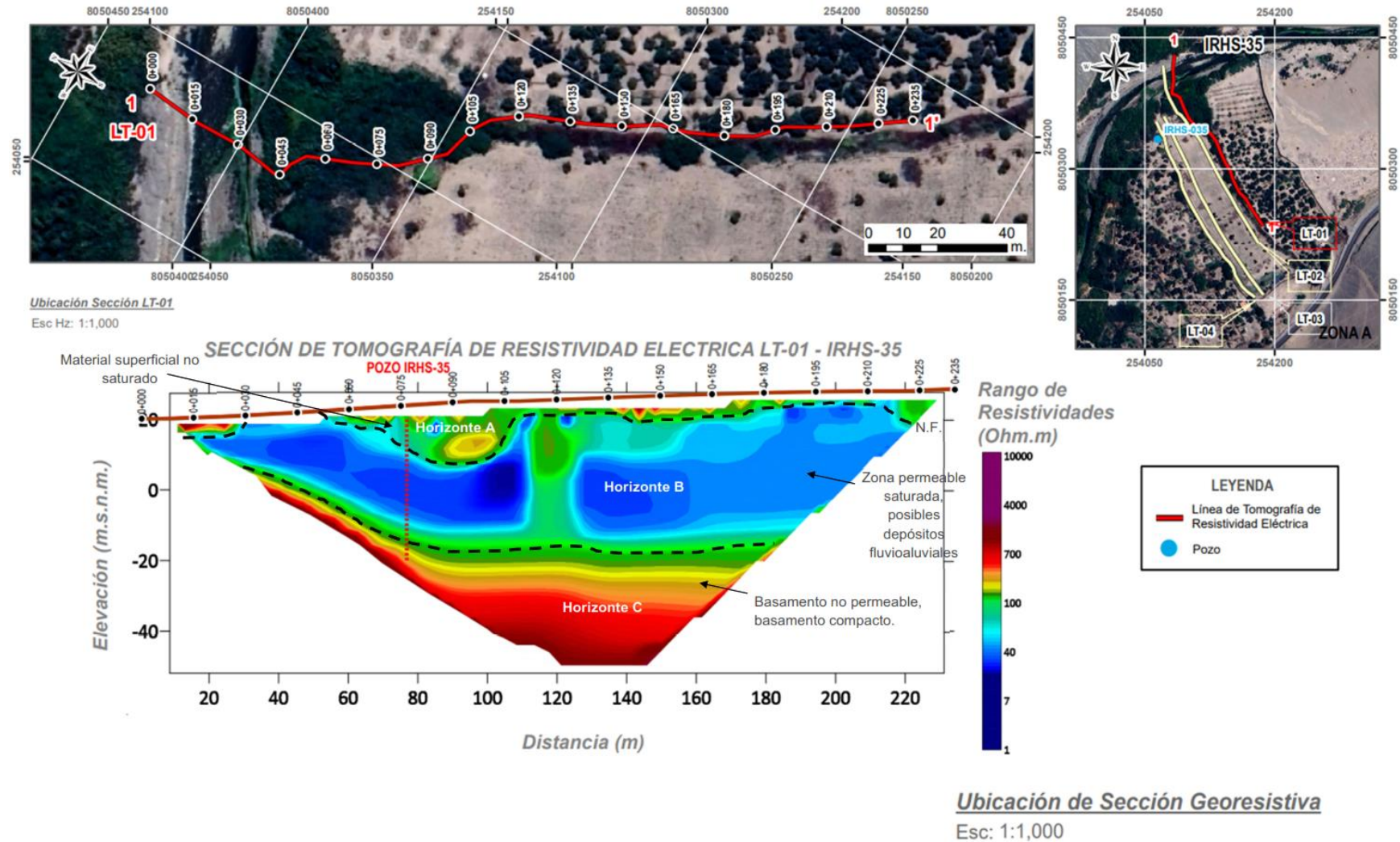
Plano topográfico de estación de bombeo, donde se ubica el POZO IRHS – 035 LA CARA. (Fuente: Elaboración propia).

Se llevaron a cabo investigaciones geofísicas mediante la aplicación de un enfoque indirecto conocido como prospecciones geofísicas. Este método se emplea para la identificación de las distintas capas del subsuelo a través de las propiedades específicas asociadas a cada capa (Misstear et al., 2017). En este contexto, se optó por la utilización de la técnica de tomografía de resistividad eléctrica (TRE) como parte del proceso de prospección.

El instrumental empleado para llevar a cabo la tomografía de resistividad eléctrica comprendía un Receptor/Transmisor Resistivímetro, específicamente el modelo Ares I fabricado por GF Instruments, el cual estaba configurado con 48 canales y 96 contactos. La unidad Transmisor disponía de una potencia de 850 W, operando con una corriente de 5A y una tensión adecuada para la tarea en cuestión de 2000 V pico-pico. En contraste, el dispositivo Receptor exhibía una alta impedancia de entrada de 20 m $\Omega$  y un rango de tensión  $\pm$  5 V pico-pico, asegurando así una recepción precisa de las señales eléctricas. Se estableció un espaciado uniforme de 5 metros entre los canales para garantizar una cobertura óptima del área bajo estudio. Este conjunto de instrumentos permitió realizar mediciones detalladas de la resistividad eléctrica en el subsuelo, proporcionando datos esenciales para la construcción de imágenes bidimensionales de las características geológicas subterráneas. La combinación de potencia elevada, precisión en la recepción y diseño eficiente de la matriz de electrodos facilitó la obtención de resultados fiables y de alta resolución, siendo fundamentales para la interpretación geofísica y la toma de decisiones en proyectos de exploración y análisis del subsuelo.

**Figura 128.**

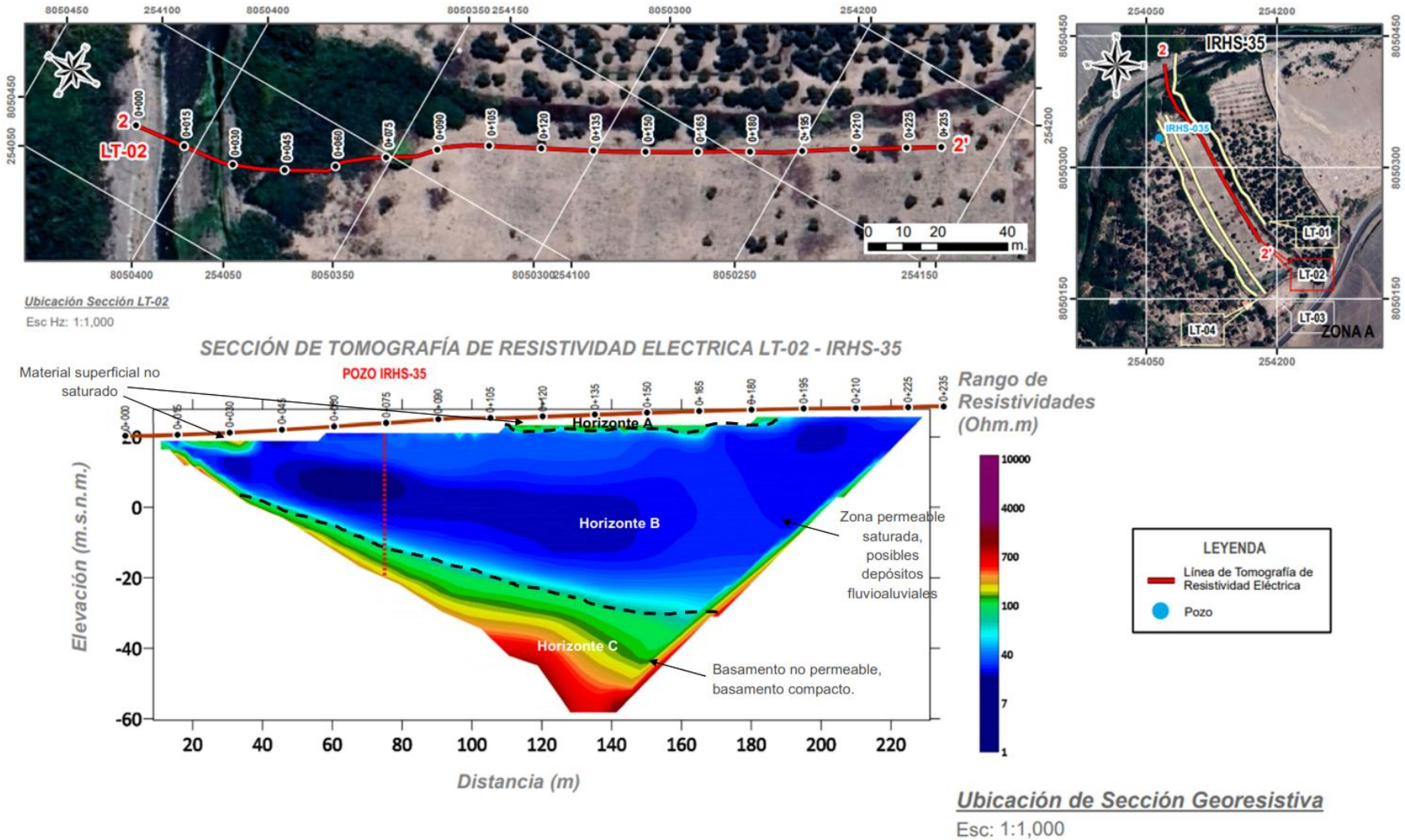
Sección de tomografía de resistividad eléctrica en IRHS – 35 (Zona A, LT-01).



Fuente: RES2DINV

**Figura 129.**

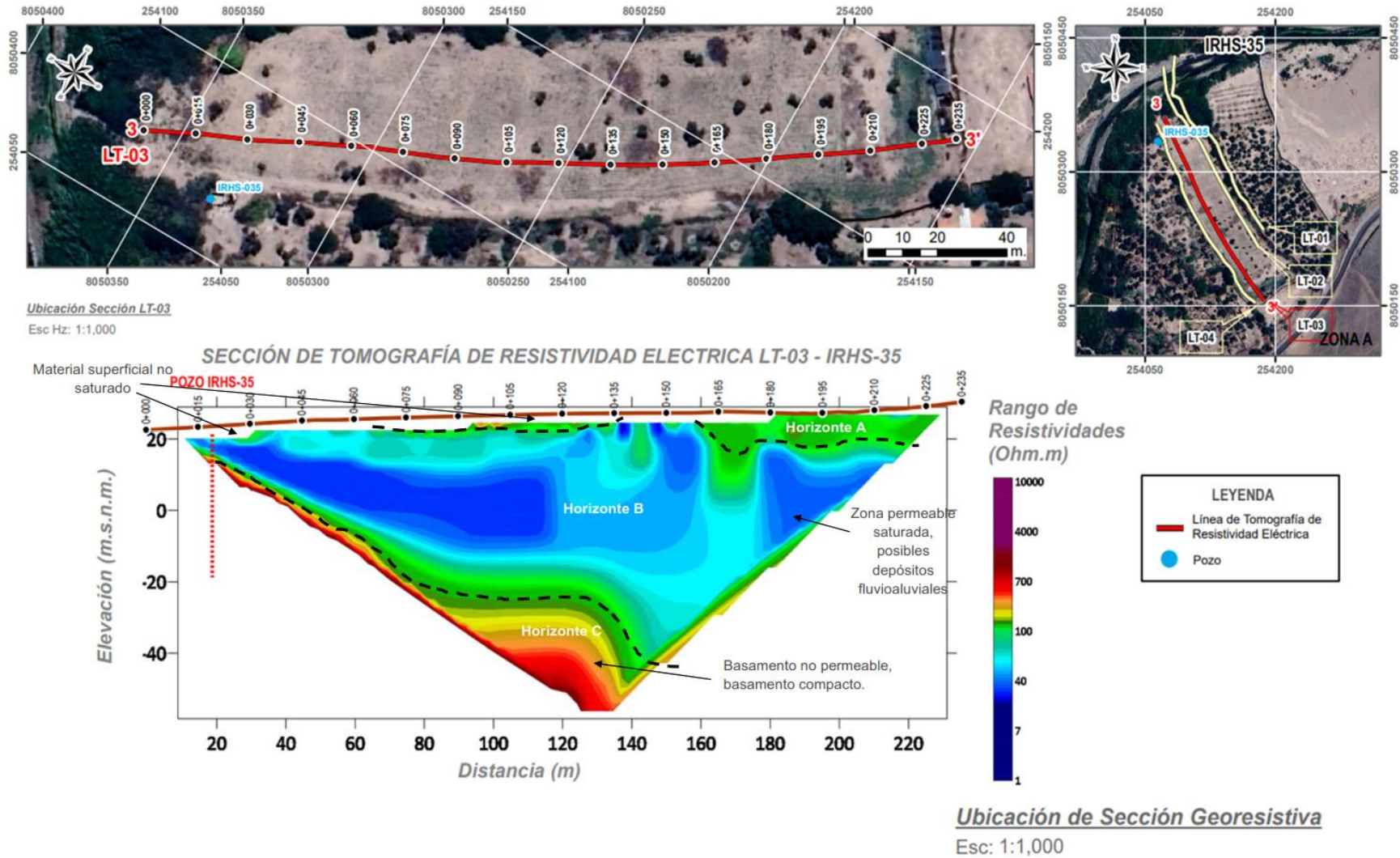
Sección de tomografía de resistividad eléctrica en IRHS – 35 (Zona A, LT-02).



Fuente: RES2DINV

**Figura 130.**

Sección de tomografía de resistividad eléctrica en IRHS – 35 (Zona A, LT-03).

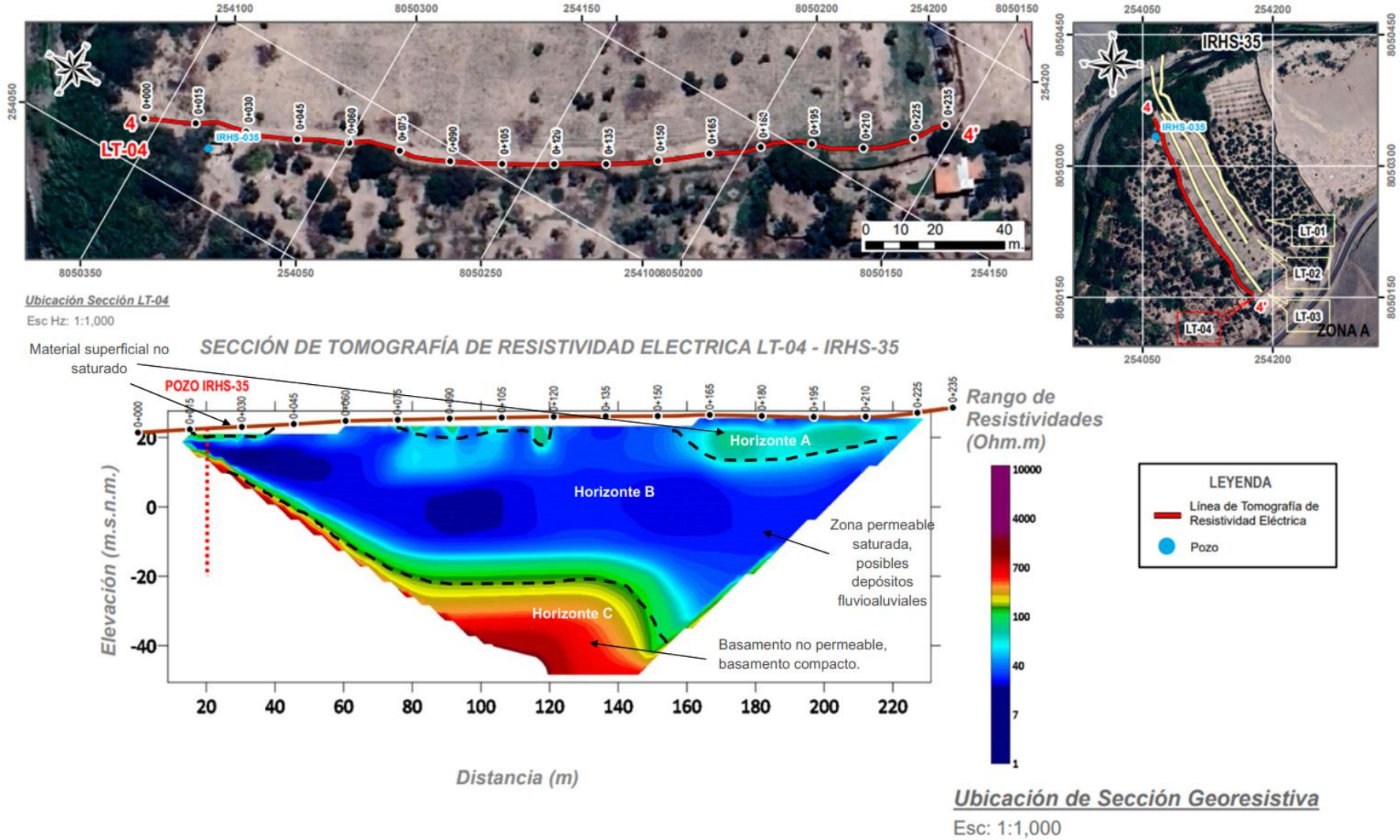


Fuente: RES2DINV



**Figura 131.**

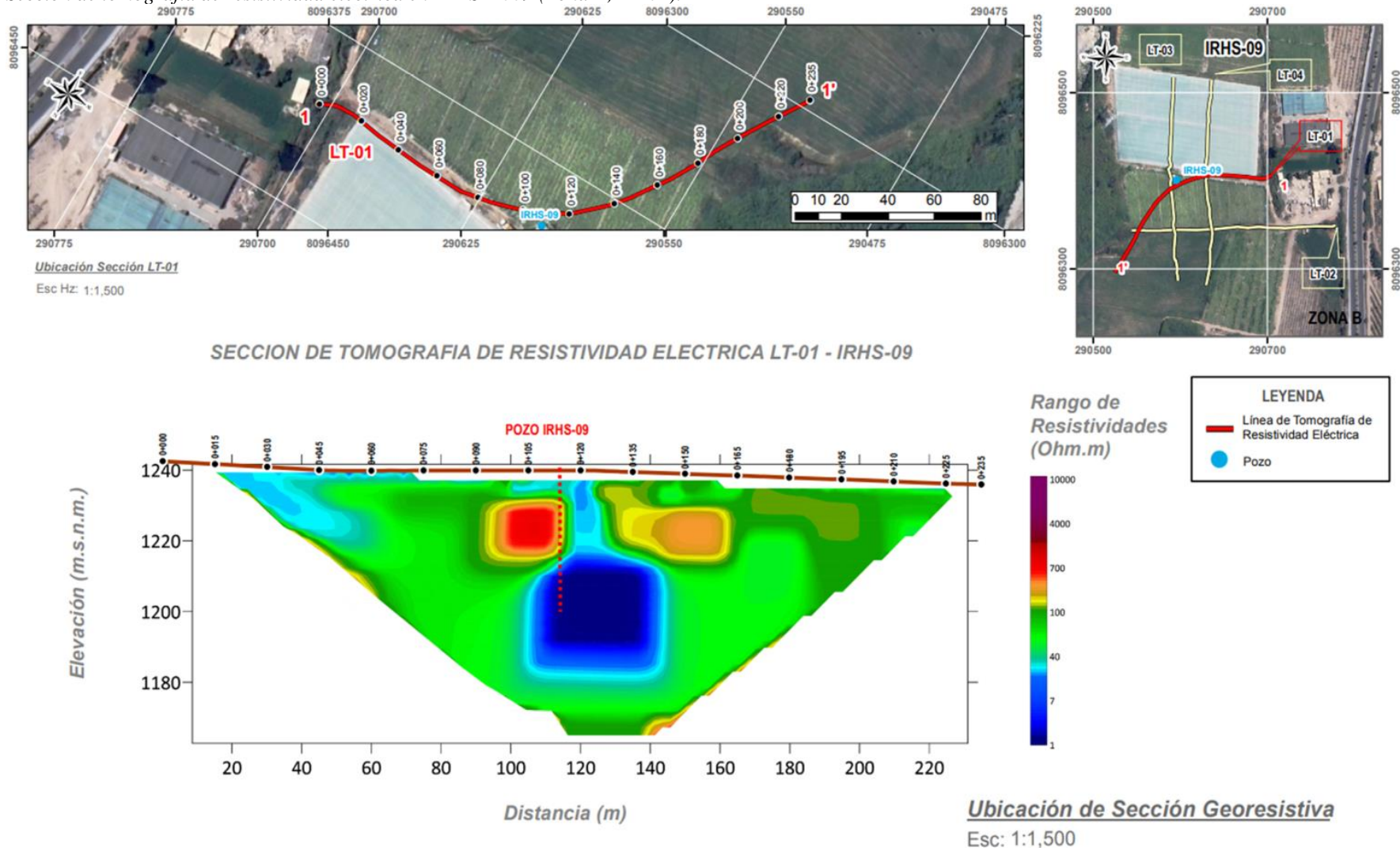
Sección de tomografía de resistividad eléctrica en IRHS – 35 (Zona A, LT-04).



Fuente: RES2DINV

**Figura 132.**

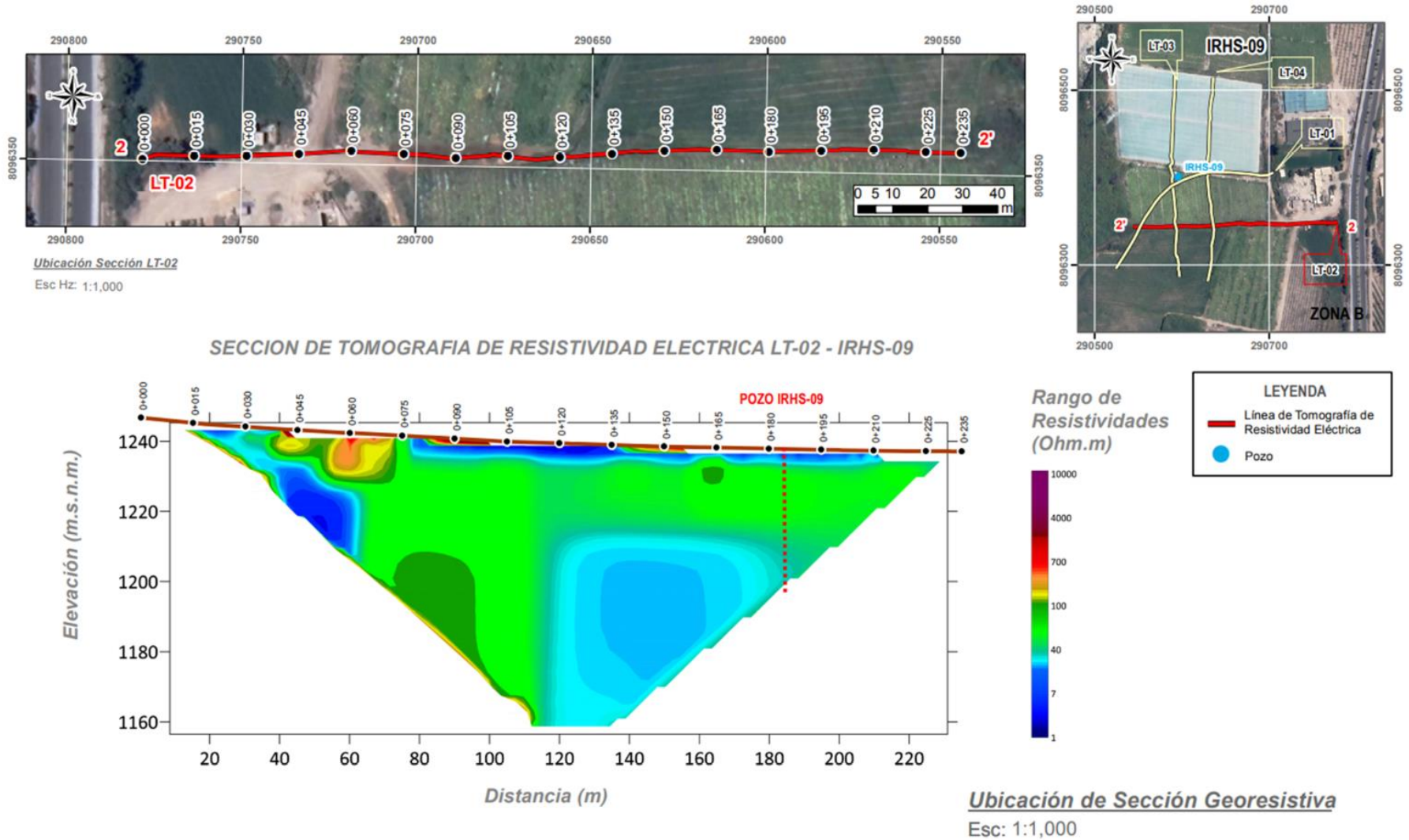
Sección de tomografía de resistividad eléctrica en IRHS – 009 (Zona B, LT-01).



Fuente: RES2DINV

**Figura 133.**

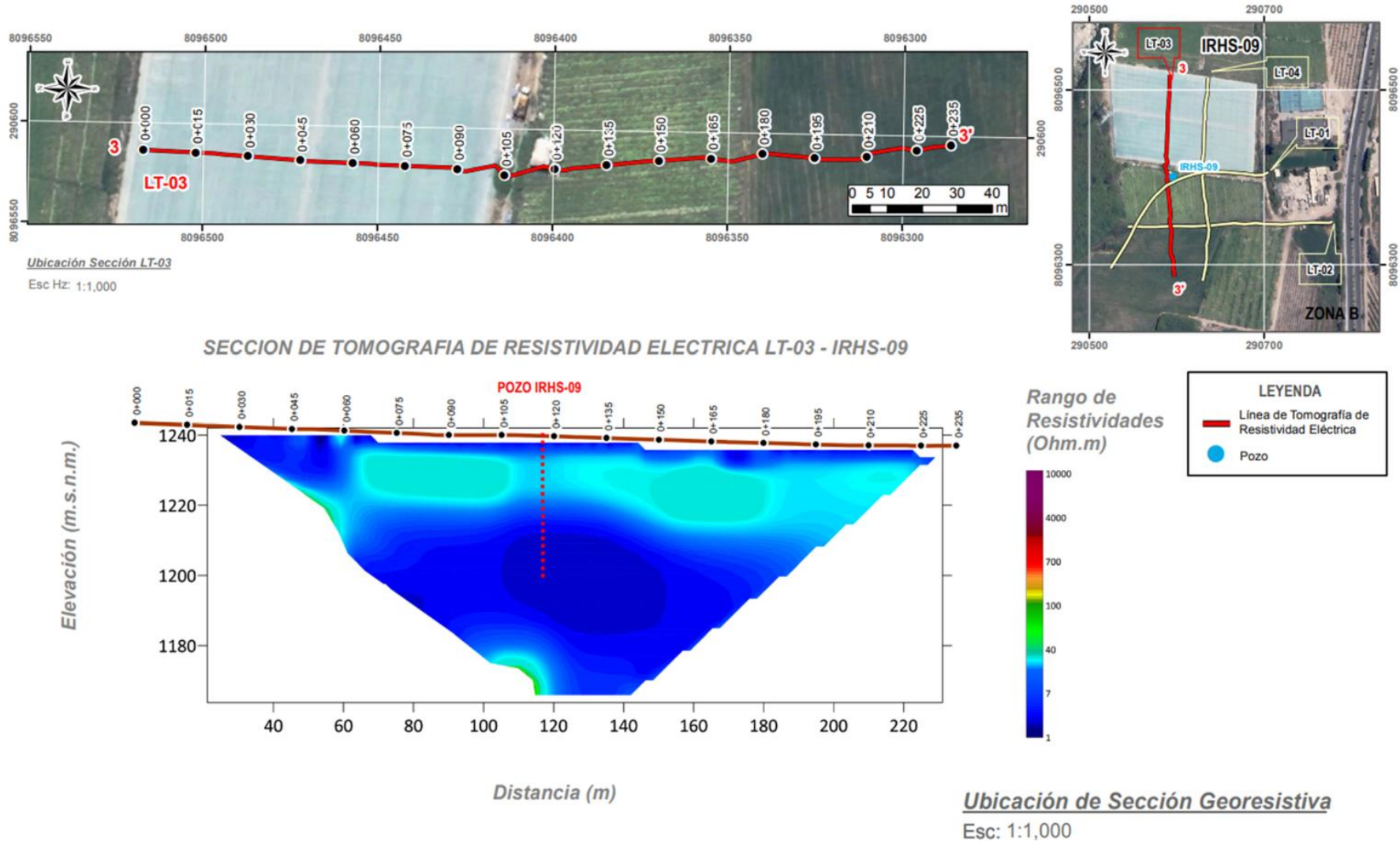
Sección de tomografía de resistividad eléctrica en IRHS – 009 (Zona B, LT-02).



Fuente: RES2DINV

**Figura 134.**

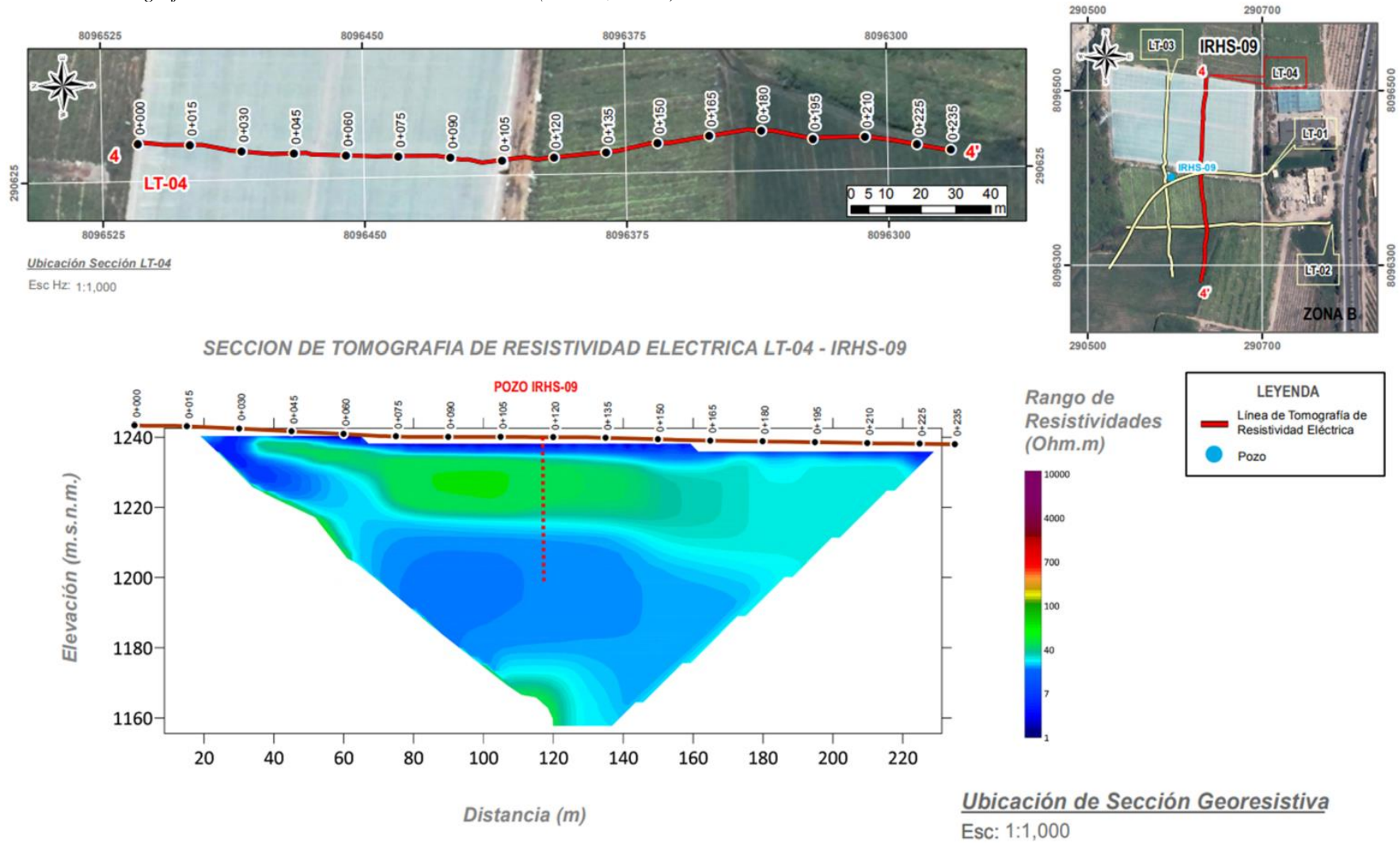
Sección de tomografía de resistividad eléctrica en IRHS – 009 (Zona B, LT-03).



Fuente: RES2DINV

**Figura 135.**

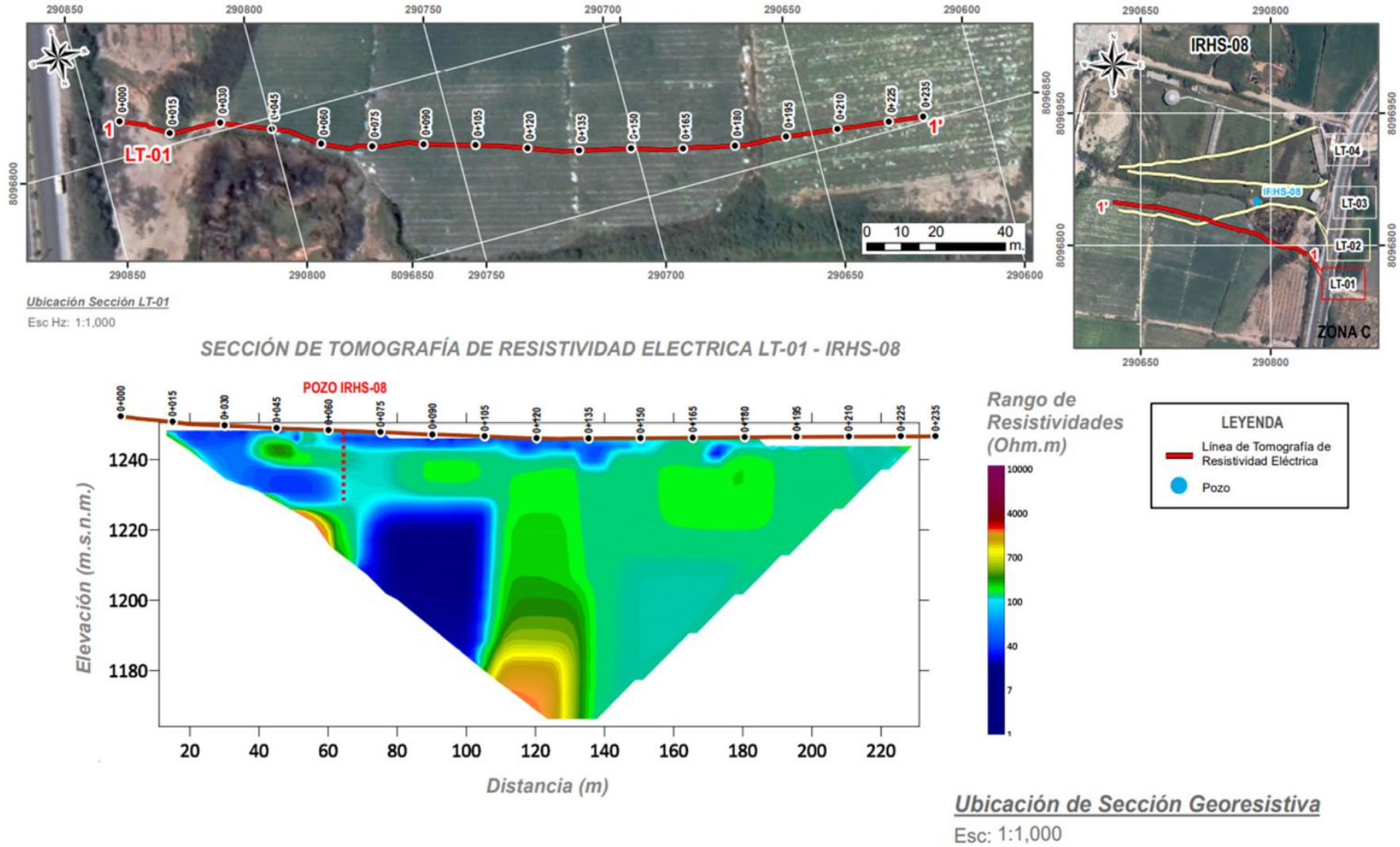
Sección de tomografía de resistividad eléctrica en IRHS – 009 (Zona B, LT-04).



Fuente: RES2DINV

**Figura 136.**

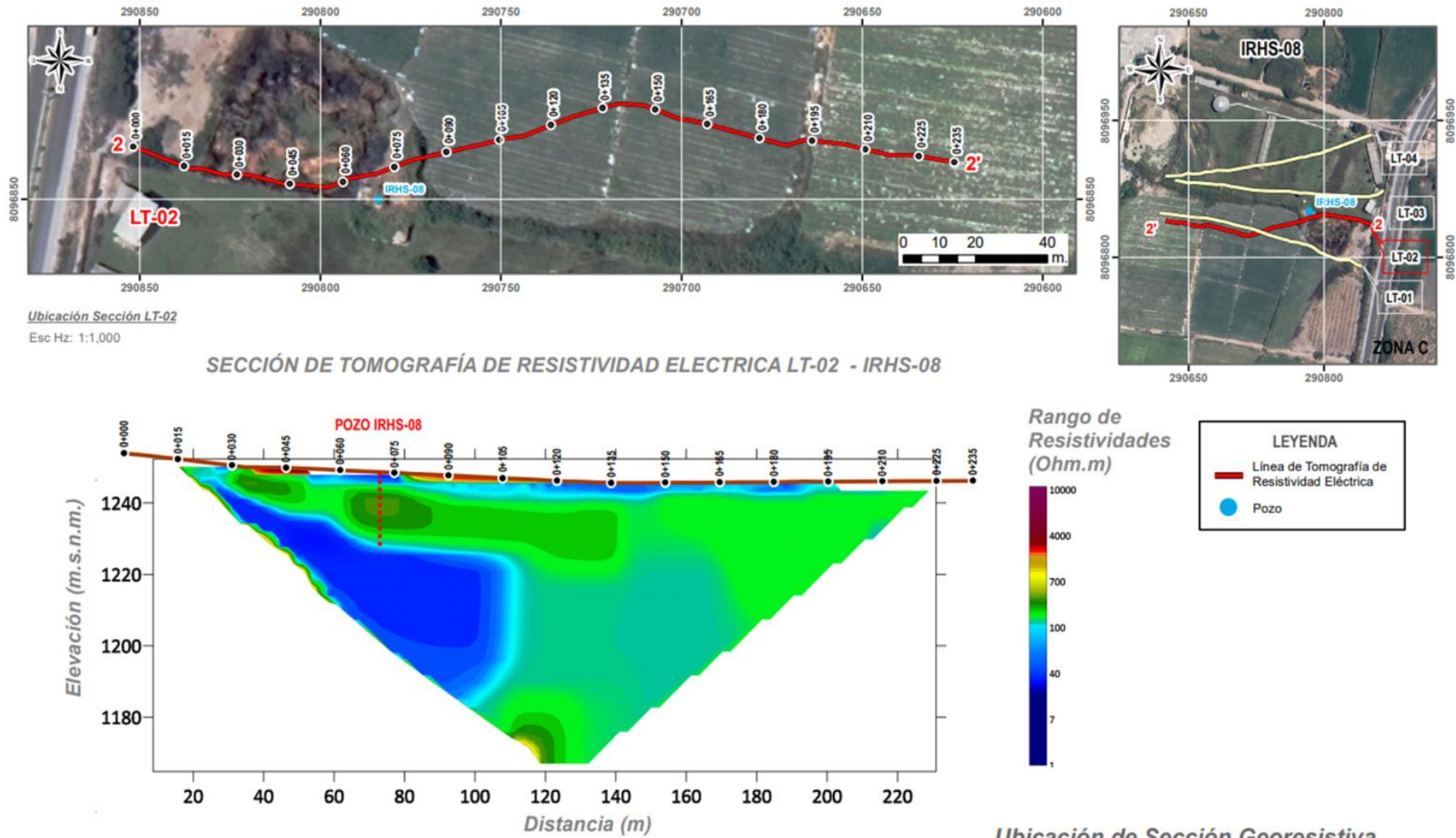
Sección de tomografía de resistividad eléctrica en IRHS – 008 (Zona C, LT-01).



Fuente: RES2DINV

**Figura 137.**

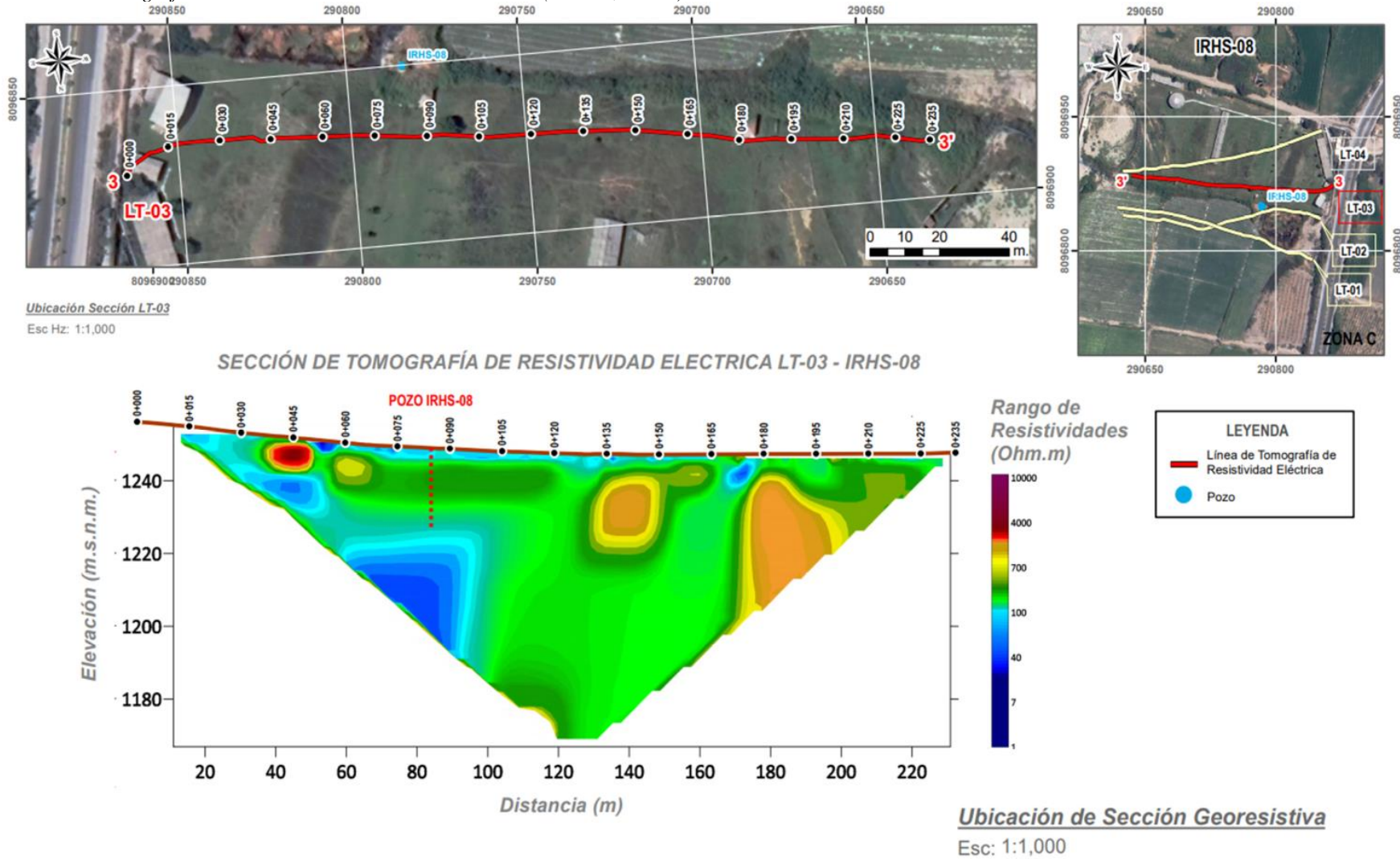
Sección de tomografía de resistividad eléctrica en IRHS – 008 (Zona C, LT-02).



Fuente: RES2DINV

**Figura 138.**

Sección de tomografía de resistividad eléctrica en IRHS – 008 (Zona C, LT-03).

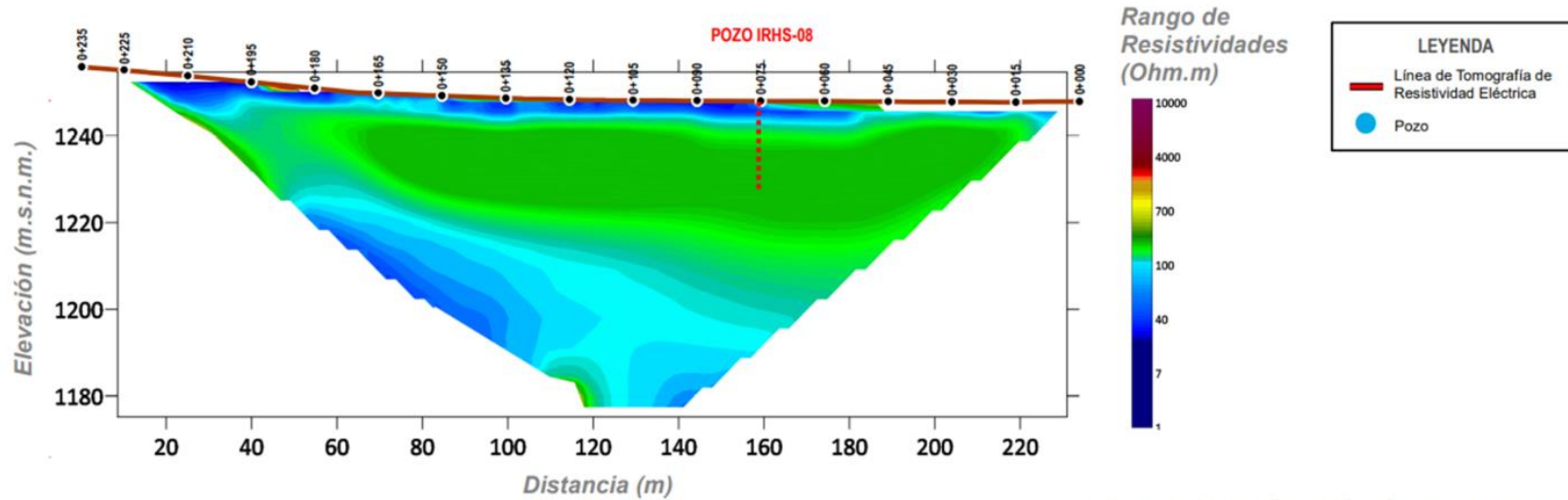


Fuente: RES2DINV



**Figura 139.**

Sección de tomografía de resistividad eléctrica en IRHS – 008 (Zona C, LT-04).



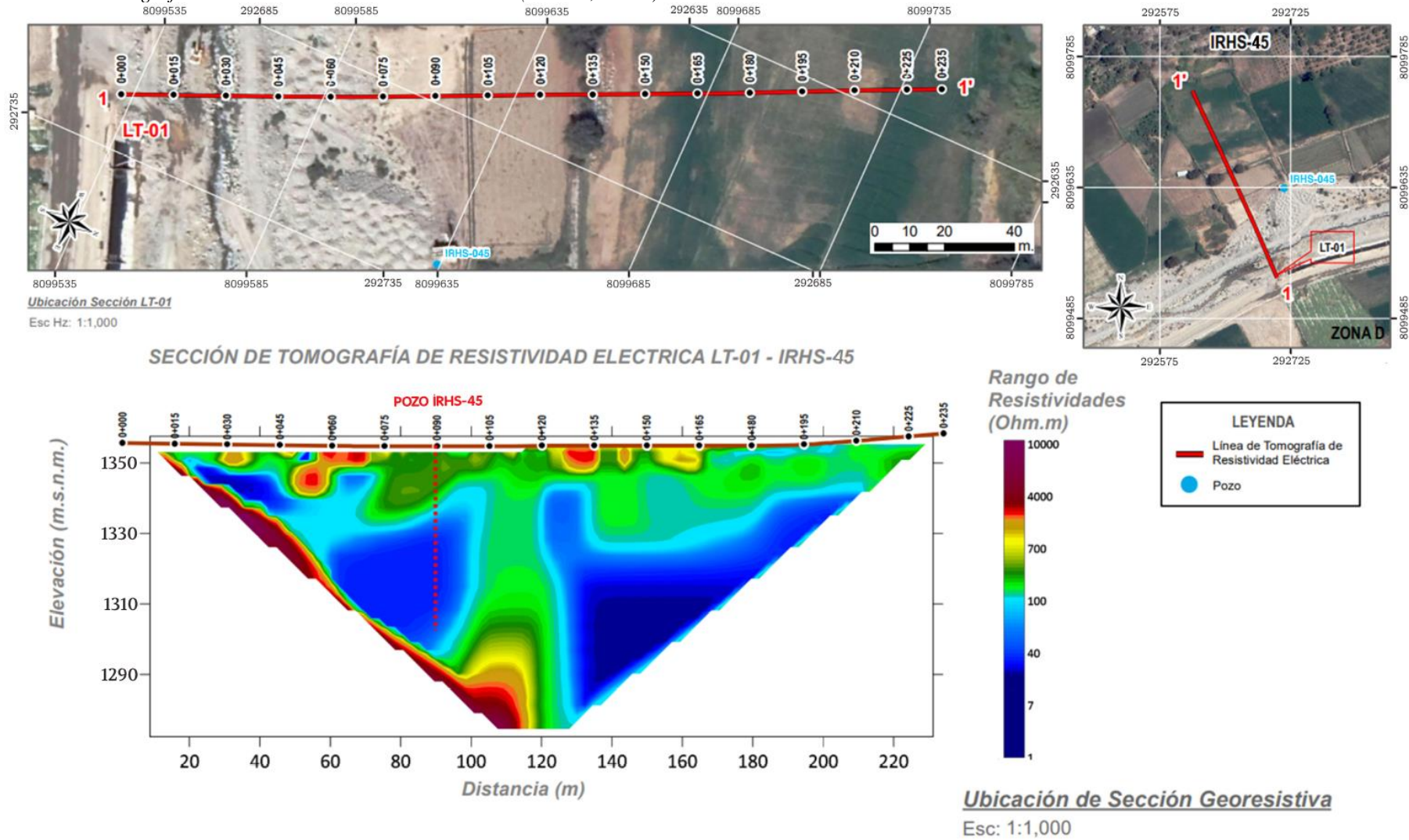
Ubicación de Sección Georesistiva

Esc: 1:1,000

Fuente: RES2DINV

**Figura 140.**

Sección de tomografía de resistividad eléctrica en IRHS – 45 (Zona D, LT-01).



Fuente: RES2DINV

Los análisis realizados mediante tomografía de resistividad eléctrica en la **zona A** (IRHS – 035) arrojaron los perfiles de resistividad eléctrica (LT-01, LT-02, LT-03, LT-04) que se detallan a continuación: El estrato A exhibe un nivel georesistivo de moderada a alta resistividad, con valores que oscilan entre 150 y 1500 Ohm/m. Estas resistividades corresponden a los materiales superficiales presentes en la región de estudio. Su espesor abarca desde la superficie hasta una profundidad de 15 metros. El estrato B exhibe un nivel georesistivo que va desde baja a muy baja resistividad, con valores de resistividad inferiores a 140 Ohm/m. Este horizonte está compuesto por depósitos fluvioaluviales que se encuentran saturados. El estrato C exhibe un nivel georesistivo de alta resistividad, con valores de resistividad superiores a 1500 Ohm/m. Este horizonte está asociado con un posible basamento no permeable y compacto. Se extiende desde la elevación -40 hacia abajo en profundidad.

Los análisis realizados mediante tomografía de resistividad eléctrica en la **zona B** (IRHS – 009) arrojaron los perfiles de resistividad eléctrica (LT-01, LT-02, LT-03, LT-04) que se detallan a continuación: En el estrato A se observa un nivel georesistivo que abarca desde moderada hasta alta resistividad, con valores de resistividad oscilando entre 150 y 1500 Ohm/m. Estas resistividades están asociadas a los materiales superficiales presentes en el área de estudio, con un espesor que se extiende desde la superficie hasta los 20 metros de profundidad. Por otro lado, en el estrato B se identifica un nivel georesistivo que va desde baja a muy baja resistividad, con valores de resistividad menores a 140 Ohm/m. Este horizonte está compuesto por depósitos fluvioaluviales saturados. Finalmente, en el estrato C se observa un nivel georesistivo de baja resistividad, con valores de resistividad que van desde 70 hasta 150 Ohm/m. Estas resistividades corresponden a depósitos aluviales o fluvioaluviales con una mayor concentración de gravas o bolonería.

Los análisis realizados mediante tomografía de resistividad eléctrica en la **zona C** (IRHS – 008) arrojaron los perfiles de resistividad eléctrica (LT-01, LT-02, LT-03, LT-04) que se detallan a continuación: En el estrato A se identifica un nivel georesistivo caracterizado por una baja a muy baja resistividad, con valores inferiores a 140 Ohm/m. Este horizonte está conformado por depósitos de arcillas

o materiales limosos que se encuentran saturados. Su espesor abarca desde la superficie hasta una profundidad de 10 metros. Por otro lado, en el estrato B se observa un nivel georesistivo de resistividad moderada, con valores que van desde 140 hasta 250 Ohm/m. Este estrato está compuesto por depósitos fluvioaluviales saturados, con una mayor presencia de gravas y/o bolonería. Finalmente, en el estrato C se presenta un nivel georesistivo de baja resistividad, con valores que oscilan entre 70 y 150 Ohm/m. Estos depósitos están formados por material aluvial o fluvioaluvial con una mayor concentración de matriz limo arenosa.

Los análisis realizados mediante tomografía de resistividad eléctrica en la **zona D** (IRHS – 045) arrojó el perfil de resistividad eléctrica (LT-01) que se detalla a continuación: El estrato A exhibe un nivel georesistivo que varía de moderado a alto, con resistividades que oscilan entre 150 y 1500 Ohm/m, y estas están asociadas a los materiales superficiales en la zona de estudio. Este estrato tiene un espesor que abarca desde la superficie hasta una profundidad de 20 metros. Por otro lado, el estrato B muestra un nivel georesistivo que va desde bajo hasta muy bajo, con resistividades inferiores a 140 Ohm/m, y se relaciona con depósitos fluvioaluviales saturados. En cuanto al estrato C, revela un nivel georesistivo de alta resistividad, con valores superiores a 1500 Ohm/m, y estas resistividades se atribuyen a un posible basamento no permeable y compacto, que se encuentra desde la cota -60 hacia la profundidad.

En el contexto de la presente investigación para evaluar el potencial de las aguas subterráneas y la planificación de los recursos hídricos, resulta imperativo identificar los valores de las constantes hidrogeológicas de Transmisividad (T), Coeficiente de almacenamiento (S) y Conductividad hidráulica (K), las cuales describen las propiedades hidrogeológicas del acuífero, tales como su capacidad de almacenamiento y transmisión de agua. Con este propósito, se llevó a cabo una prueba de bombeo a caudal constante en el pozo IRHS POZO IRHS – 045 (La Chimba N°1), Pozo IRHS – 008 INIA N°1, Pozo IRHS – 009 INIA N°2 y POZO IRHS-035 – La Cara.

En la conducción de este estudio, se emplearon **pruebas de bombeo**, una metodología de campo que implica la extracción controlada de agua desde un pozo profundo, mediante la utilización de una bomba que mantiene un flujo constante. En simultáneo, se monitoreó la disminución en el nivel freático en el interior del pozo de bombeo a través de sondas especializadas, para este estudio se empleó un pozómetro modelo KM50 de la serie KMCABLE, cuya especificación técnica indica que está integrado por una sonda de 14 mm con conductores de acero inoxidable, una cinta de acero recubierta con polietileno de alta precisión marcada a intervalos de un metro. Esta sonda se caracterizó por su estructura metálica robusta, equipada con un sistema de freno y la capacidad de ajustar la sensibilidad para evitar lecturas inexactas. Para mayor utilidad, se incorporaron alarmas audibles y visibles, que se activaban en el instante en que la sonda entraba en contacto con el agua, proporcionando una señal clara de su presencia. La fuente de energía, una batería de 9 voltios, se diseñó pensando en la comodidad del reemplazo. Además, la sonda demostró su resistencia al funcionar en un rango de temperaturas que abarcaba desde los -40°C hasta los 70°C, y se incluyó una funda de protección para el transporte, así como una cinta de acero adicional revestida con HDPE.

**Tabla 54.**

*Resultados de la prueba de bombeo en POZO IRHS – 045.*

FECHA	HORA	TIEMPO (min)	PROF. DEL AGUA (m)	DESCENSO (m)	CAUDAL (l/s)	OBSERVACIONES
14/09/2023	08:00:00	0	18.00	22.00	15	Agua turbia - 2800 rpm

FECHA	HORA	TIEMPO (min)	PROF. DEL AGUA (m)	DESCENSO (m)	CAUDAL (l/s)	OBSERVACIONES
14/09/2023	08:01:00	1	17.92	22.08	15	Agua turbia - 2800 rpm
14/09/2023	08:02:00	2	17.70	22.30	15	Agua turbia - 2800 rpm
14/09/2023	08:03:00	3	16.40	23.60	15	Agua turbia - 2800 rpm
14/09/2023	08:04:00	4	15.88	24.12	15	Agua turbia - 2800 rpm
14/09/2023	08:05:00	5	15.68	24.32	15	Agua turbia - 2800 rpm
14/09/2023	08:06:00	6	15.15	24.85	15	Agua turbia - 2800 rpm
14/09/2023	08:07:00	7	14.78	25.22	15	Agua turbia - 2800 rpm
14/09/2023	08:08:00	8	14.64	25.36	15	Agua turbia - 2800 rpm
14/09/2023	08:09:00	9	13.68	26.32	15	Agua turbia - 2800 rpm
14/09/2023	08:10:00	10	13.58	26.42	15	Agua turbia - 2800 rpm
14/09/2023	08:12:00	12	13.54	26.46	15	Agua turbia - 2800 rpm
14/09/2023	08:14:00	14	13.45	26.55	15	Agua turbia - 2800 rpm
14/09/2023	08:16:00	16	13.43	26.57	15	Agua clara
14/09/2023	08:18:00	18	13.39	26.61	15	Agua clara
14/09/2023	08:20:00	20	13.34	26.66	15	Agua clara
14/09/2023	08:25:00	25	13.26	26.74	15	Agua clara
14/09/2023	08:30:00	30	13.17	26.83	15	Agua clara
14/09/2023	08:35:00	35	13.05	26.95	15	Agua clara
14/09/2023	08:40:00	40	12.95	27.05	15	Agua clara
14/09/2023	08:45:00	45	12.67	27.33	15	Agua clara
14/09/2023	08:50:00	50	11.98	28.02	15	Agua clara
14/09/2023	09:00:00	60	11.88	28.12	15	1 h
14/09/2023	09:10:00	70	11.77	28.23	15	Agua clara
14/09/2023	09:20:00	80	11.55	28.45	15	Agua clara
14/09/2023	09:30:00	90	11.42	28.58	15	Agua clara
14/09/2023	09:40:00	100	11.35	28.65	15	Agua clara
14/09/2023	09:50:00	110	11.22	28.78	15	Agua clara
14/09/2023	10:00:00	120	11.15	28.85	15	2 h
14/09/2023	10:20:00	140	11.02	28.98	15	Agua clara
14/09/2023	10:40:00	160	10.92	29.08	15	Agua clara
14/09/2023	11:00:00	180	10.82	29.18	15	3 h
14/09/2023	11:30:00	210	10.76	29.24	15	Agua clara
14/09/2023	12:00:00	240	10.67	29.33	15	4 h
14/09/2023	13:00:00	300	10.55	29.45	15	5 h
14/09/2023	14:00:00	360	10.52	29.48	15	6 h
14/09/2023	15:00:00	420	10.50	29.50	15	7 h
14/09/2023	16:00:00	480	10.46	29.54	15	8 h
14/09/2023	17:00:00	540	10.44	29.56	15	9 h
14/09/2023	18:00:00	600	10.41	29.59	15	10 h
14/09/2023	19:00:00	660	9.50	30.50	15	11 h
14/09/2023	20:00:00	720	8.57	31.43	15	12 h
14/09/2023	21:00:00	780	7.96	32.05	15	13 h
14/09/2023	22:00:00	840	7.43	32.57	15	14 h
14/09/2023	23:00:00	900	7.25	32.75	15	15 h
15/09/2023	00:00:00	960	7.18	32.82	15	16 h
15/09/2023	01:00:00	1020	7.12	32.88	15	17 h
15/09/2023	02:00:00	1080	7.08	32.92	15	18 h
15/09/2023	03:00:00	1140	7.03	32.97	15	19 h

FECHA	HORA	TIEMPO (min)	PROF. DEL AGUA (m)	DESCENSO (m)	CAUDAL (l/s)	OBSERVACIONES
15/09/2023	04:00:00	1200	6.84	33.16	15	20 h
15/09/2023	05:00:00	1260	6.32	33.68	15	21 h
15/09/2023	06:00:00	1320	6.08	33.92	15	22 h
15/09/2023	07:00:00	1380	5.87	34.13	15	23 h
15/09/2023	08:00:00	1440	5.78	34.22	15	24 h

(Fuente: Elaboración propia)

**Tabla 55.**

Resultados de la prueba de recuperación en POZO IRHS – 045.

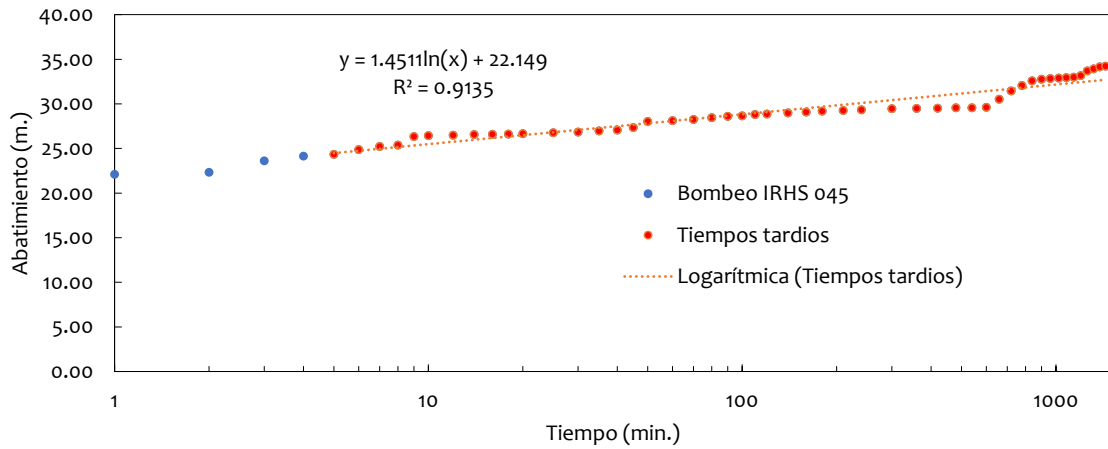
FECHA	HORA	TIEMPO (min)	PROF. DEL AGUA (m)	ASCENSO (m)	CAUDAL (l/s)	OBSERVACIONES
15/09/2023	08:00:00	0	5.78	34.22	15	Recuperación de caudal
15/09/2023	08:01:00	1	9.30	30.70	15	Recuperación de caudal
15/09/2023	08:02:00	2	10.54	29.46	15	Recuperación de caudal
15/09/2023	08:03:00	3	10.63	29.37	15	Recuperación de caudal
15/09/2023	08:04:00	4	10.74	29.26	15	Recuperación de caudal
15/09/2023	08:05:00	5	10.76	29.24	15	Recuperación de caudal
15/09/2023	08:06:00	6	10.83	29.17	15	Recuperación de caudal
15/09/2023	08:07:00	7	10.87	29.13	15	Recuperación de caudal
15/09/2023	08:08:00	8	10.89	29.11	15	Recuperación de caudal
15/09/2023	08:09:00	9	10.93	29.07	15	Recuperación de caudal
15/09/2023	08:10:00	10	10.96	29.04	15	Recuperación de caudal
15/09/2023	08:12:00	12	11.02	28.98	15	Recuperación de caudal
15/09/2023	08:14:00	14	11.20	28.80	15	Recuperación de caudal
15/09/2023	08:16:00	16	11.34	28.66	15	Recuperación de caudal
15/09/2023	08:18:00	18	11.52	28.48	15	Recuperación de caudal
15/09/2023	08:20:00	20	12.85	27.15	15	Recuperación de caudal
15/09/2023	08:25:00	25	13.95	26.05	15	Recuperación de caudal
15/09/2023	08:30:00	30	14.15	25.85	15	Recuperación de caudal
15/09/2023	08:35:00	35	14.43	25.57	15	Recuperación de caudal
15/09/2023	08:40:00	40	14.56	25.44	15	Recuperación de caudal
15/09/2023	08:45:00	45	14.69	25.31	15	Recuperación de caudal
15/09/2023	08:50:00	50	14.81	25.19	15	Recuperación de caudal
15/09/2023	09:00:00	60	15.06	24.94	15	1 h
15/09/2023	09:10:00	70	15.25	24.75	15	Recuperación de caudal
15/09/2023	09:20:00	80	15.41	24.59	15	Recuperación de caudal
15/09/2023	09:30:00	90	15.55	24.45	15	Recuperación de caudal
15/09/2023	09:40:00	100	15.65	24.35	15	Recuperación de caudal
15/09/2023	09:50:00	110	15.75	24.25	15	Recuperación de caudal
15/09/2023	10:00:00	120	15.87	24.13	15	2 h
15/09/2023	10:20:00	140	16.06	23.94	15	Recuperación de caudal
15/09/2023	10:40:00	160	16.23	23.77	15	Recuperación de caudal
15/09/2023	11:00:00	180	16.46	23.54	15	3 h
15/09/2023	11:30:00	210	17.20	22.80	15	Recuperación de caudal
15/09/2023	12:00:00	240	17.63	22.37	15	4 h

FECHA	HORA	TIEMPO (min)	PROF. DEL AGUA (m)	ASCENSO (m)	CAUDAL (l/s)	OBSERVACIONES
	13:00:00	300			15	5 h
	14:00:00	360			15	6 h
	15:00:00	420			15	7 h
	16:00:00	480			15	8 h

(Fuente: Elaboración propia)

### Figura 141.

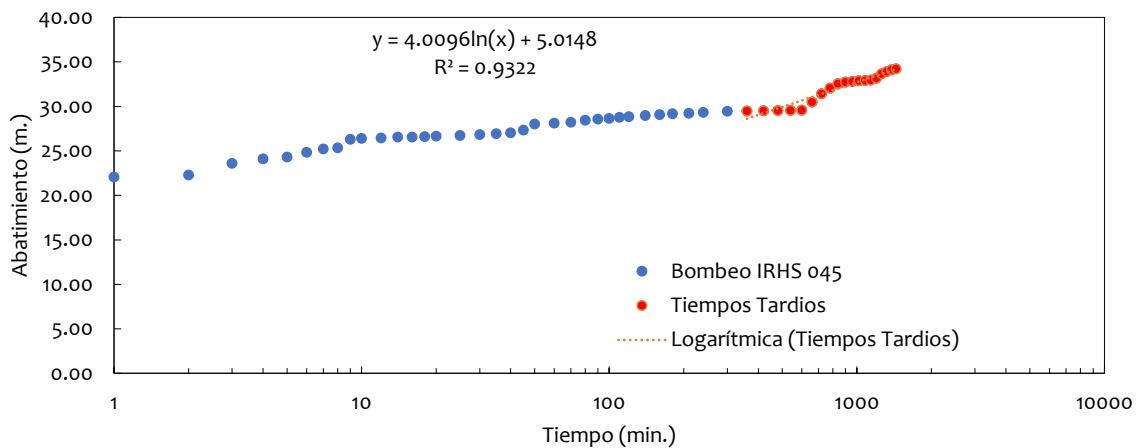
Gráfico del abatimiento respecto al tiempo, del pozo IRHS-045.



Fuente: Elaboración propia.

### Figura 142.

Ajuste del coeficiente de determinación (R), en el abatimiento del pozo IRHS-045.

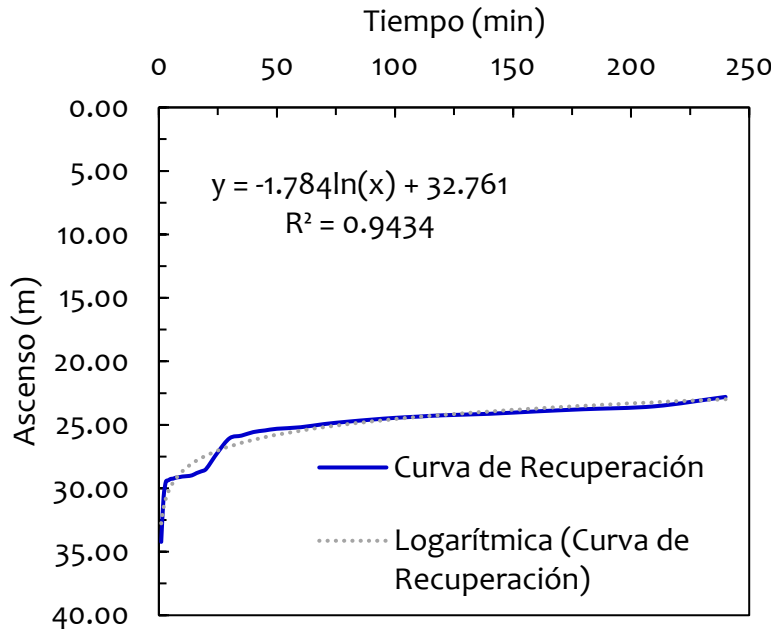


Fuente: Elaboración propia.



**Figura 143.**

Curva de recuperación respecto al tiempo, del pozo IRHS-045.



Tras llevar a cabo las pruebas de recuperación en el pozo, se determinó que el tiempo requerido para que el pozo volviera a su nivel estático normal fue de 240 minutos. Fuente: Elaboración propia.

**Figura 144.**

Cálculo de parámetros hidrogeológicos del pozo IRHS-045.

UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO			
CÁLCULO DE LAS CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS DEL SISTEMA ACUÍFERO			
PROYECTO:	Análisis Hidrogeológico y Diseño Hidráulico Comparativo por Colapso y Compresión, en Pozos Profundos, para fines agrícolas en Moquegua, 2023*	REF.:	B53-7003130196
UBICACIÓN:	POZO IRHS - 045 (La Chimba N°1), Este UTM: 292722, Norte UTM: 8099636	FECHA:	28/04/2024
DISEÑO:	Bach. Boris Leonardo Aranda Huacan	CÁLCULO:	Obras Hidráulicas

**Transmisividad y Coef. de almacenamiento (Acuífero Libre) / Cooper y Jacob**

Diámetro del pozo		D =	18	in	0.457	m
Tiempo de bombeo	$s(r, t) = \frac{2.3Q}{4\pi T} \log\left(\frac{2.25T t_0}{r^2 S}\right) = \frac{Q}{4\pi T} \ln\left(\frac{2.25T t_0}{r^2 S}\right)$	$t_0 =$	24	h.	1	día
Caudal		Q =	15	l/s	1296	m³/día
Radio del pozo		r =	0.2286	m		
Espesor del Acuífero	$T = \frac{2.3Q}{4\pi \Delta s'} = 0.183 * \frac{Q}{\Delta s'}$	b =	18.00	m		
Pendiente de la línea de tendencia (Ec. del gráfico)		y =	4.0096			
Segunda componente de la línea de tendencia (Ec. del gráfico)	$R = \sqrt{\frac{2.25T t_0}{S}}$		5.0148			
Ajuste de la recta de regresión lineal con el eje de las abscisas		$t_0 =$	0.286304794	min	0.000199	día
Variación del abatimiento (Pendiente de la recta del grafico)		$\Delta s' =$	9.22208	m		
Transmisividad	$K = \frac{T}{b}$	T =	25.7174	m²/día		
Conductividad Hidráulica		K =	1.428745	m/día		
Conductividad Hidráulica (Cooper - Jacob)	$S = \frac{2.25 * T * t_0}{r^2}$	K =	1.87E-05	m/s		
Coefficiente de Almacenamiento		S =	2.20E-01	(adimensional)		
Radio de Influencia	$Pendiente = \Delta s' = 0.183 \frac{Q}{T}$	R =	16.21	m		

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 56.**

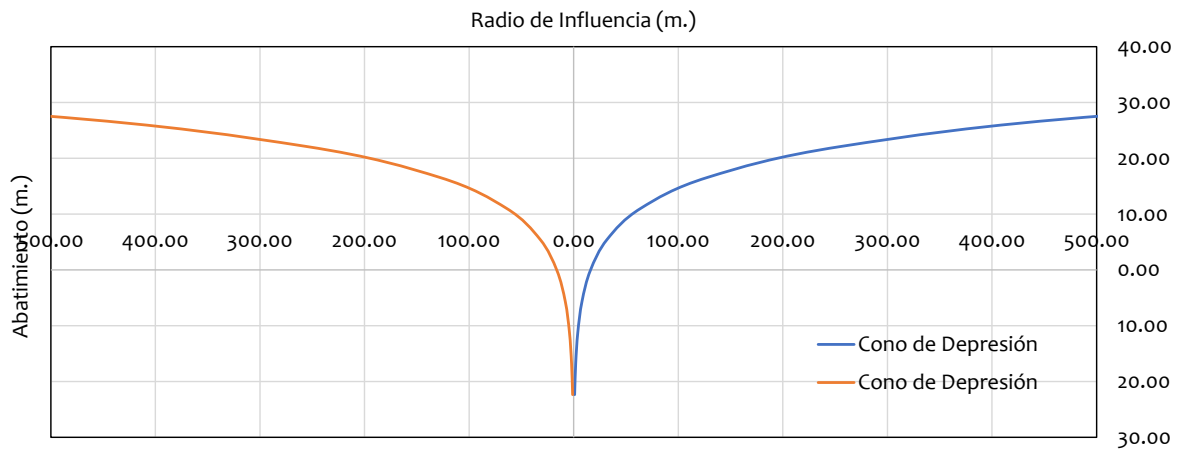
*Iterando hasta estabilizar el abatimiento del pozo IRHS-045.*

Radio de Influencia (r)	Abatimiento (s)
1.00	22.34
2.00	16.78
4.00	11.22
8.00	5.67
16.00	0.11
32.00	5.45
64.00	11.01
128.00	16.57
256.00	22.13
512.00	27.69
1024.00	33.25
2048.00	38.81
4096.00	44.37
8192.00	49.93
16384.00	55.49
32768.00	61.05
65536.00	66.61

*Fuente: Elaboración propia.*

**Figura 145.**

*Cono de depresión en pozo IRHS-045.*

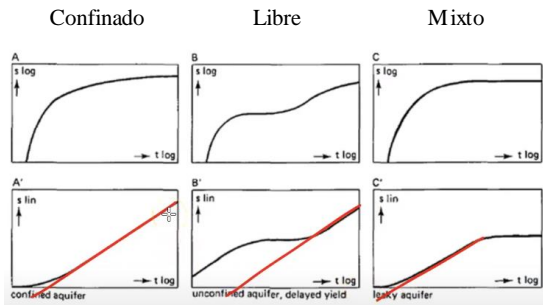


*Tras el período de bombeo en el pozo IRHS-045, se observó la formación de un cono de depresión, y se pudo notar que el radio de influencia coincidía con el obtenido a través de cálculos y fórmulas previas; Es decir, luego de 24 horas de bombeo, el radio de influencia alcanzó los 16.21 metros. (Fuente: Elaboración propia.)*

## Figura 146.

Evidencia hidráulica del tipo de acuífero, para el pozo IRHS-045.

### Evidencia hidráulica



- En escala logarítmica se forma la recta de Cooper – Jacob.
- En escala doble logarítmica se forma la curva de Theis.

### Condición de Dupuit

$$N_D = \text{Nivel Dinámico} = 34.22 \text{ m.}$$

$$N_E = \text{Nivel Estático} = 22.00 \text{ m.}$$

$$\text{Cond. Dupuit} = 20.3872768 \text{ m.}$$

$$\text{Indice Determinación} = 59.58\% \quad \text{OK!!}$$

$$(N_D)^2 = (N_E)^2 + \frac{Q}{\pi T} \ln\left(\frac{r}{R}\right)$$

- Se sugiere efectuar más horas de bombeo.

### Condición de Newman

$$S_y = \text{Coef. Almac.} = 2.20\text{E-}01 \quad \text{OK!!}$$

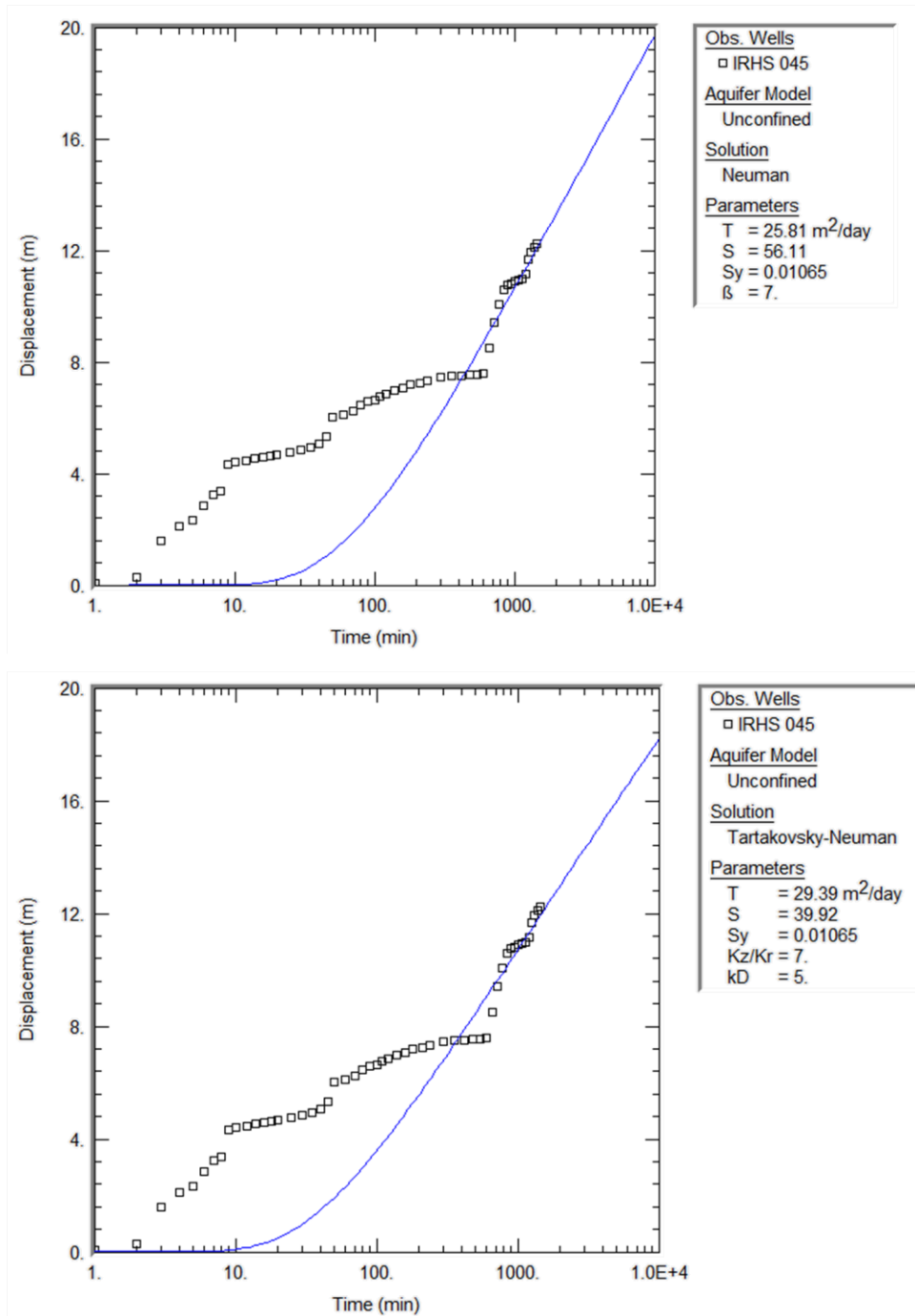
$$S_y = \frac{2.25Tt_0}{r^2}$$

- Se sugiere instalar piezómetros.

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 147.**

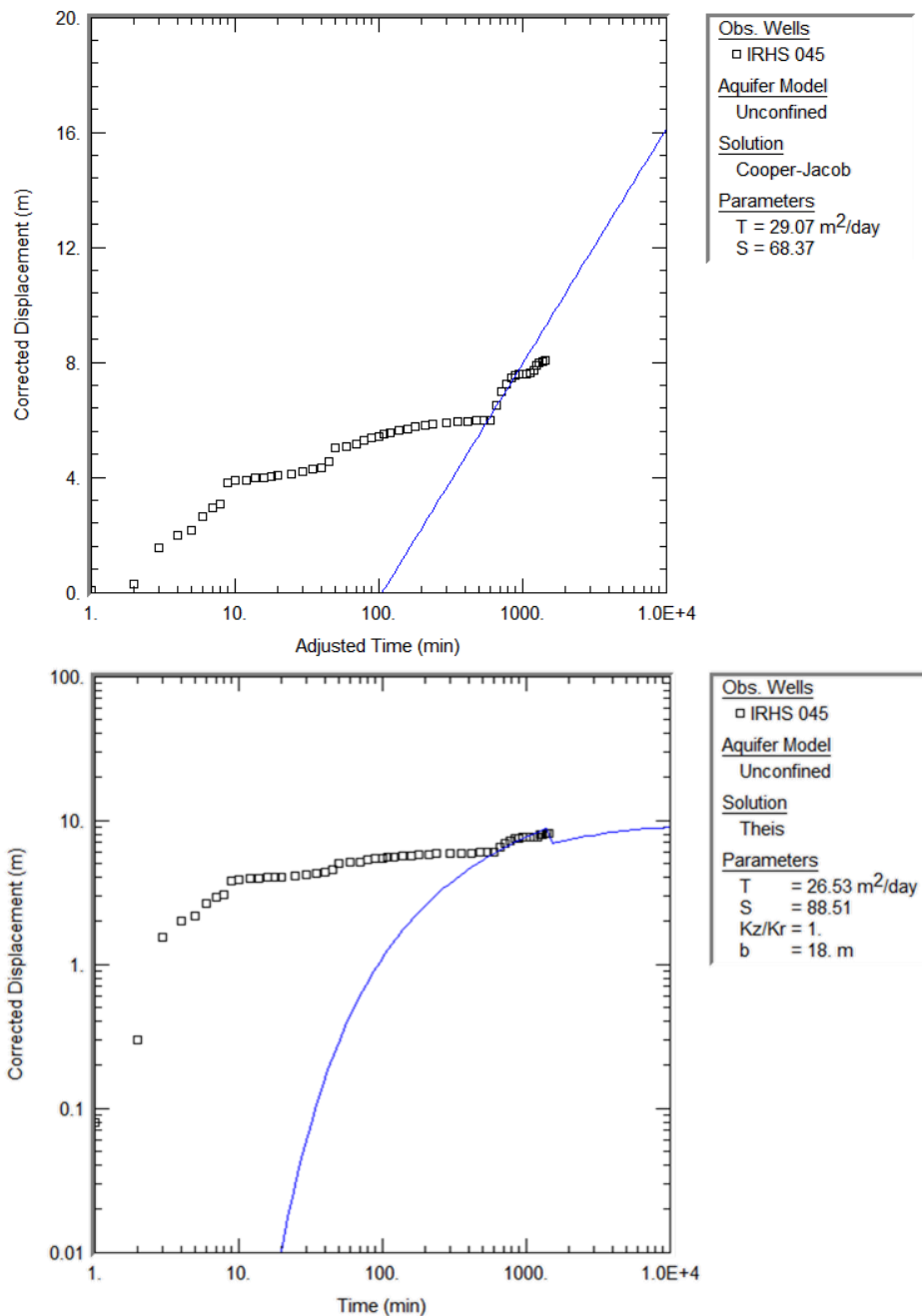
Cálculo de parámetros hidráulicos, mediante el método de Neuman y Tartakovsky-Neuman (IRHS-0045).



Mediante el método de Neuman, para el pozo IRHS – 045 (La Chimba N°1), se obtuvo una **transmisividad** de 25.81 m<sup>2</sup>/día y un **coeficiente de almacenamiento** de 56.11; Y mediante el método de Tartakovsky-Neuman, se obtuvo una transmisividad de 29.39 m<sup>2</sup>/día y un coeficiente de almacenamiento de 39.92, apreciándose que efectivamente coinciden con el obtenido a través de cálculos y fórmulas previas, obteniéndose la evidencia hidráulica, por la curvatura de la gráfica tiempo – abatimiento, de que se trata de un acuífero libre y por el valor de la transmisividad y almacenamiento de que se trata de un acuífero permeable con una clasificación de la formación del acuífero de regular a bueno. Se encontró evidencia hidráulica adicional que respalda la clasificación del acuífero como libre. Esto se basa en los valores obtenidos para el coeficiente de almacenamiento (S) mediante ambos métodos, los cuales superan 0.01 ( $>10^{-2}$ ). Esto es significativo ya que valores de S dentro del rango de  $10^{-5}$  y  $10^{-3}$  indican la presencia de un acuífero confinado, fortaleciendo así la conclusión de que se trata de un acuífero libre. Fuente: AQTESOLV.

**Figura 148.**

Cálculo de parámetros hidráulicos, mediante el método de Cooper-Jacob y Theis (IRHS-045).



Utilizando la metodología de Cooper-Jacob, se realizaron pruebas en el pozo IRHS-045 (La Chimba N°1), donde se determinó una transmisividad de 29.07 m<sup>2</sup>/día y un coeficiente de almacenamiento de 68.37. Además, se evidencia la “**recta de Cooper-Jacob**” en una escala semilogarítmica con integración a tiempos tardíos. Por otro lado, mediante el método de Theis, se obtuvo una transmisividad de 26.53 m<sup>2</sup>/día y un coeficiente de almacenamiento de 88.51, visualizando la “**curva de Theis**” en escala doble logarítmica también con integración a tiempos tardíos. Es relevante destacar que estos resultados concuerdan con los obtenidos mediante cálculos y fórmulas anteriores, proporcionando evidencia hidráulica. Esta evidencia se fundamenta en la curvatura de la gráfica tiempo-abatimiento, indicando la presencia de un acuífero libre, y en los valores de transmisividad y almacenamiento, sugiriendo la permeabilidad del acuífero, clasificando la formación del acuífero de regular a bueno. Se encontró evidencia hidráulica adicional que respalda la clasificación del acuífero como libre. Esto se basa en los valores obtenidos para el coeficiente de almacenamiento (S) mediante ambos métodos, los cuales superan 0.01 ( $>10^{-2}$ ). Esto es significativo ya que valores de S dentro del rango de  $10^{-5}$  y  $10^{-3}$  indican la presencia de un acuífero confinado, fortaleciendo así la conclusión de que se trata de un acuífero libre. Fuente: AQTESOLV.

**Tabla 57.***Resultados de la prueba de bombeo en POZO IRHS – 008.*

FECHA	HORA	TIEMPO (min)	PROF. DEL AGUA (m)	DESCENSO (m)	CAUDAL (l/s)	OBSERVACIONES
21/09/2023	09:00:00	0	18.65	1.35	15	Agua turbia - Rpm = 1200
21/09/2023	09:01:00	1	17.08	2.92	15	Agua turbia - Rpm = 1200
21/09/2023	09:02:00	2	16.94	3.06	15	Agua turbia - Rpm = 1200
21/09/2023	09:03:00	3	16.92	3.08	15	Agua turbia - Rpm = 1200
21/09/2023	09:04:00	4	16.91	3.09	15	Agua turbia - Rpm = 1200
21/09/2023	09:05:00	5	16.89	3.11	15	Agua turbia - Rpm = 1200
21/09/2023	09:06:00	6	16.87	3.13	15	Agua turbia - Rpm = 1200
21/09/2023	09:07:00	7	16.84	3.16	15	Agua turbia - Rpm = 1200
21/09/2023	09:08:00	8	16.82	3.18	15	Agua turbia - Rpm = 1200
21/09/2023	09:09:00	9	16.79	3.21	15	Agua turbia - Rpm = 1200
21/09/2023	09:10:00	10	16.74	3.26	15	Agua turbia - Rpm = 1200
21/09/2023	09:12:00	12	16.72	3.28	15	Agua turbia - Rpm = 1200
21/09/2023	09:14:00	14	16.65	3.35	15	Agua turbia - Rpm = 1200
21/09/2023	09:16:00	16	16.61	3.39	15	Agua turbia - Rpm = 1200
21/09/2023	09:18:00	18	16.58	3.42	15	Agua turbia - Rpm = 1200
21/09/2023	09:20:00	20	16.52	3.48	15	Agua turbia - Rpm = 1200
21/09/2023	09:25:00	25	16.46	3.54	15	Agua turbia - Rpm = 1200
21/09/2023	09:30:00	30	16.38	3.62	15	Agua turbia - Rpm = 1200
21/09/2023	09:35:00	35	16.26	3.74	15	Agua turbia - Rpm = 1200
21/09/2023	09:40:00	40	16.16	3.84	15	Agua turbia - Rpm = 1200
21/09/2023	09:45:00	45	16.07	3.93	15	Agua turbia - Rpm = 1200
21/09/2023	09:50:00	50	15.99	4.01	15	Agua turbia - Rpm = 1200
21/09/2023	10:00:00	60	15.88	4.12	15	1 h
21/09/2023	10:10:00	70	15.83	4.17	15	Agua turbia - Rpm = 1200
21/09/2023	10:20:00	80	15.75	4.25	15	Agua clara - Rpm=1200
21/09/2023	10:30:00	90	15.68	4.32	15	Agua clara - Rpm=1200
21/09/2023	10:40:00	100	15.52	4.48	15	Agua clara - Rpm=1200
21/09/2023	10:50:00	110	15.44	4.56	15	Agua clara - Rpm=1200
21/09/2023	11:00:00	120	15.38	4.62	15	2 h
21/09/2023	11:20:00	140	15.23	4.77	15	Agua clara - Rpm=1200
21/09/2023	11:40:00	160	15.11	4.89	15	Agua clara - Rpm=1200
21/09/2023	12:00:00	180	15.07	4.93	15	3 h
21/09/2023	12:30:00	210	15.02	4.98	15	Agua clara - Rpm=1200
21/09/2023	13:00:00	240	14.80	5.20	15	4 h
21/09/2023	14:00:00	300	14.60	5.40	15	5 h
21/09/2023	15:00:00	360	14.39	5.61	15	6 h
21/09/2023	16:00:00	420	14.31	5.69	15	7 h
21/09/2023	17:00:00	480	14.23	5.77	15	8 h
21/09/2023	18:00:00	540	14.18	5.82	15	9 h
21/09/2023	19:00:00	600	14.12	5.88	15	10 h
21/09/2023	20:00:00	660	13.97	6.03	15	11 h
21/09/2023	21:00:00	720	13.86	6.14	15	12 h
21/09/2023	22:00:00	780	13.75	6.25	15	13 h
21/09/2023	23:00:00	840	13.62	6.38	15	14 h
22/09/2023	00:00:00	900	13.53	6.47	15	15 h

FECHA	HORA	TIEMPO (min)	PROF. DEL AGUA (m)	DESCENSO (m)	CAUDAL (l/s)	OBSERVACIONES
22/09/2023	01:00:00	960	13.42	6.58	15	16 h
22/09/2023	02:00:00	1020	13.35	6.65	15	17 h
22/09/2023	03:00:00	1080	13.22	6.78	15	18 h
22/09/2023	04:00:00	1140	13.17	6.83	15	19 h
22/09/2023	05:00:00	1200	13.04	6.96	15	20 h
22/09/2023	06:00:00	1260	12.90	7.10	15	21 h
22/09/2023	07:00:00	1320	12.90	7.10	15	22 h
22/09/2023	08:00:00	1380	12.88	7.12	15	23 h
22/09/2023	09:00:00	1440	12.88	7.12	15	24 h

(Fuente: Elaboración propia)

**Tabla 58.**

Resultados de la prueba de recuperación en POZO IRHS – 008.

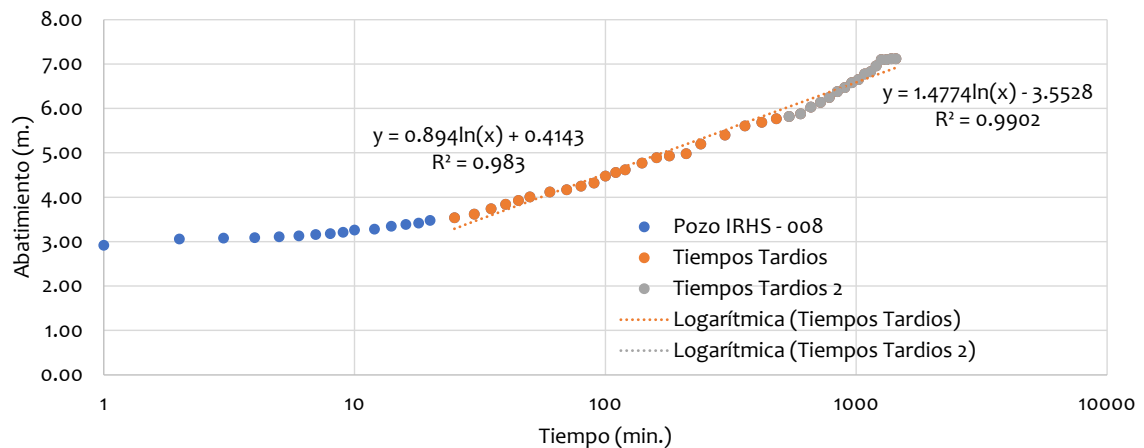
FECHA	HORA	TIEMPO (min)	PROF. DEL AGUA (m)	ASCENSO (m)	CAUDAL (l/s)	OBSERVACIONES
22/09/2023	09:00:00	0	12.88	7.12	15	Recuperación de caudal
22/09/2023	09:01:00	1	13.17	6.83	15	Recuperación de caudal
22/09/2023	09:02:00	2	13.28	6.72	15	Recuperación de caudal
22/09/2023	09:03:00	3	13.66	6.34	15	Recuperación de caudal
22/09/2023	09:04:00	4	13.72	6.28	15	Recuperación de caudal
22/09/2023	09:05:00	5	13.82	6.18	15	Recuperación de caudal
22/09/2023	09:06:00	6	13.93	6.07	15	Recuperación de caudal
22/09/2023	09:07:00	7	14.07	5.93	15	Recuperación de caudal
22/09/2023	09:08:00	8	14.19	5.81	15	Recuperación de caudal
22/09/2023	09:09:00	9	14.27	5.73	15	Recuperación de caudal
22/09/2023	09:10:00	10	14.39	5.61	15	Recuperación de caudal
22/09/2023	09:12:00	12	14.46	5.54	15	Recuperación de caudal
22/09/2023	09:14:00	14	14.60	5.40	15	Recuperación de caudal
22/09/2023	09:16:00	16	14.79	5.21	15	Recuperación de caudal
22/09/2023	09:18:00	18	14.92	5.08	15	Recuperación de caudal
22/09/2023	09:20:00	20	15.00	5.00	15	Recuperación de caudal
22/09/2023	09:25:00	25	15.18	4.82	15	Recuperación de caudal
22/09/2023	09:30:00	30	15.24	4.76	15	Recuperación de caudal
22/09/2023	09:35:00	35	15.30	4.70	15	Recuperación de caudal
22/09/2023	09:40:00	40	15.36	4.64	15	Recuperación de caudal
22/09/2023	09:45:00	45	15.49	4.51	15	Recuperación de caudal
22/09/2023	09:50:00	50	15.80	4.20	15	Recuperación de caudal
22/09/2023	10:00:00	60	15.88	4.12	15	1 h
22/09/2023	10:10:00	70	16.09	3.91	15	Recuperación de caudal
22/09/2023	10:20:00	80	16.17	3.83	15	Recuperación de caudal
22/09/2023	10:30:00	90	16.59	3.41	15	Recuperación de caudal
22/09/2023	10:40:00	100	16.82	3.18	15	Recuperación de caudal
22/09/2023	10:50:00	110	17.63	2.37	15	Recuperación de caudal
22/09/2023	11:00:00	120	17.87	2.13	15	2 h
22/09/2023	11:20:00	140	17.91	2.09	15	Recuperación de caudal

FECHA	HORA	TIEMPO (min)	PROF. DEL AGUA (m)	ASCENSO (m)	CAUDAL (l/s)	OBSERVACIONES
22/09/2023	11:40:00	160	18.67	1.33	15	Recuperación de caudal
22/09/2023	12:00:00	180	18.70	1.30	15	3 h
22/09/2023	12:30:00	210	18.88	1.12	15	Recuperación de caudal
	13:00:00	240			15	4 h
	14:00:00	300			15	5 h

(Fuente: Elaboración propia)

### Figura 149.

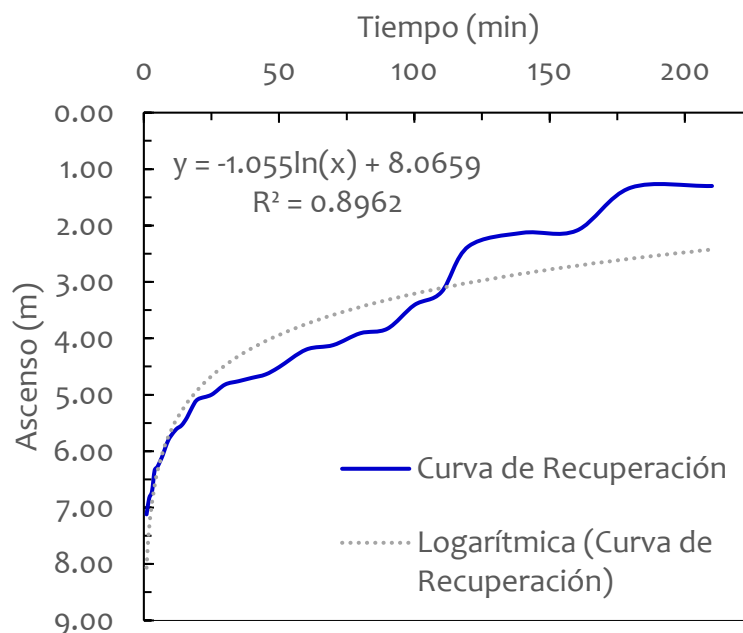
Gráfico del abatimiento respecto al tiempo, del pozo IRHS-008.



Fuente: Elaboración propia.

### Figura 150.

Curva de recuperación respecto al tiempo, del pozo IRHS-008.



Tras llevar a cabo las pruebas de recuperación en el pozo, se determinó que el tiempo requerido para que el pozo volviera a su nivel estático normal fue de 210 minutos. Fuente: Elaboración propia.



**Figura 151.**

*Cálculo de parámetros hidrogeológicos del pozo IRHS-008.*

 <b>UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO</b> <b>CÁLCULO DE LAS CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS DEL SISTEMA ACUÍFERO</b>			
PROYECTO:	*Análisis Hidrogeológico y Diseño Hidráulico Comparativo por Colapso y Compresión, en Pozos Profundos, para fines agrícolas en Moquegua, 2023*.	REF.:	B53-7003130196
UBICACIÓN:	POZO IRHS - 008 INIA N° 01, Este UTM: 290784, Norte UTM: 8096850	FECHA:	03/05/2024
DISEÑO:	Bach. Boris Leonardo Aranda Huacan	CÁLCULO:	Obras Hidráulicas

**Transmisividad y Coef. de almacenamiento (Acuífero Libre) / Cooper y Jacob**

Diámetro del pozo	$s(r, t) = \frac{2.3Q}{4\pi T} \log\left(\frac{2.25Tt_0}{r^2 S}\right) = \frac{Q}{4\pi T} \ln\left(\frac{2.25Tt_0}{r^2 S}\right)$	D =	18	in	0.457	m
Tiempo de bombeo		$t_0 =$	24	h.	1	día
Caudal	$T = \frac{2.3Q}{4\pi \Delta s'} = 0.183 * \frac{Q}{\Delta s'}$	Q =	15	l/s	1296	m <sup>3</sup> /día
Radio del pozo		r =	0.2286	m		
Espesor del Acuífero	$R = \sqrt{\frac{2.25Tt_0}{S}}$	b =	18.65	m		
Pendiente de la línea de tendencia (Ec. del gráfico)		y =	0.8940			
Segunda componente de la línea de tendencia (Ec. del gráfico)	$K = \frac{T}{b}$	$t_0 =$	0.62912657	min	0.000437	día
Ajuste de la recta de regresión lineal con el eje de las abscisas		$\Delta s' =$	2.0562	m		
Variación del abatimiento (Pendiente de la recta del grafico)	$S = \frac{2.25 * T * t_0}{r^2}$	T =	115.3429	m <sup>2</sup> /día		
Transmisividad		K =	6.184604	m/día		
Conductividad Hidráulica	$Pendiente = \Delta s' = 0.183 \frac{Q}{T}$	K =	7.16E-05	m/s		
Conductividad Hidráulica (Cooper - Jacob)		S =	2.17E+00	(adimensional)		
Coeficiente de Almacenamiento		R =	10.94	m		
Radio de Influencia						
Iterando (Hasta estabilizar el abatimiento)						

*Fuente: Elaboración propia.*

**Tabla 59.**

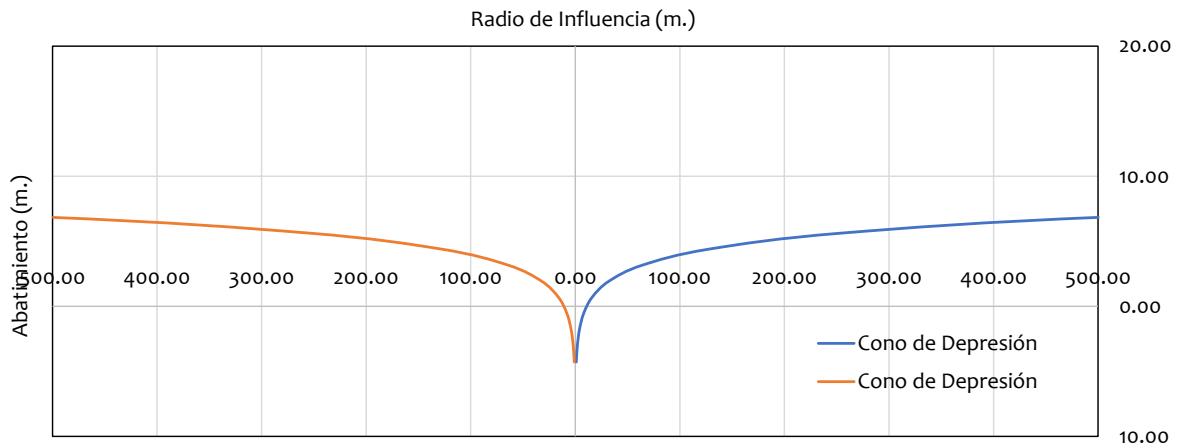
*Iterando hasta estabilizar el abatimiento del pozo IRHS-008*

Radio de Influencia (r)	Abatimiento (s)
1.00	4.28
2.00	3.04
4.00	1.80
8.00	0.56
16.00	0.68
32.00	1.92
64.00	3.16
128.00	4.40
256.00	5.64
512.00	6.88
1024.00	8.12
2048.00	9.36
4096.00	10.60
8192.00	11.84
16384.00	13.08
32768.00	14.32
65536.00	15.55

*Fuente: Elaboración propia.*

**Figura 152.**

Cono de depresión en pozo IRHS-008.

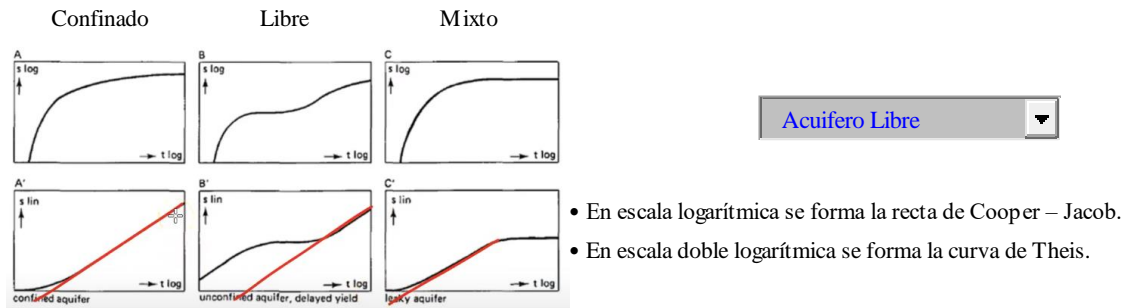


Tras el período de bombeo en el pozo IRHS-008, se observó la formación de un cono de depresión, y se pudo notar que el radio de influencia coincidía con el obtenido a través de cálculos y fórmulas previas; Es decir, luego de 24 horas de bombeo, el radio de influencia alcanzó los 10.94 metros. (Fuente: Elaboración propia.)

**Figura 153.**

Evidencia hidráulica del tipo de acuífero, para el pozo IRHS-008.

**Evidencia hidráulica**



**Condición de Dupuit**

$N_D =$  Nivel Dinámico  m.

$N_E =$  Nivel Estático  m.

Cond. Dupuit =  m.

Indice Determinación =  **OK!!**

$$(N_D)^2 = (N_E)^2 + \frac{Q}{\pi T} \ln\left(\frac{r}{R}\right)$$

• Se sugiere efectuar más horas de bombeo.

**Condición de Newman**

$S_y =$  Coef. Almac.  **OK!!**

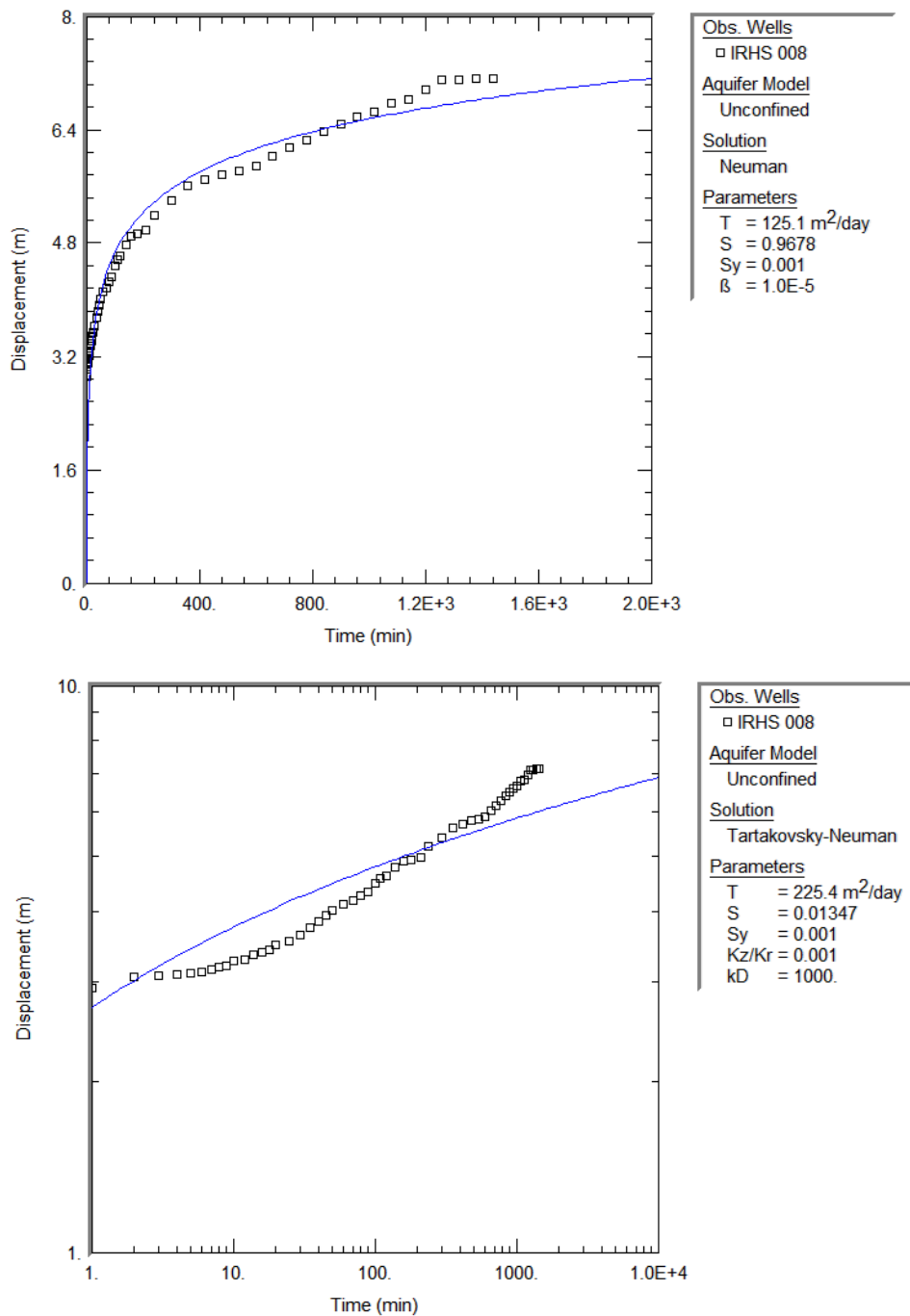
$$S_y = \frac{2.25Tt_0}{r^2}$$

• Se sugiere instalar piezómetros.

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 154.**

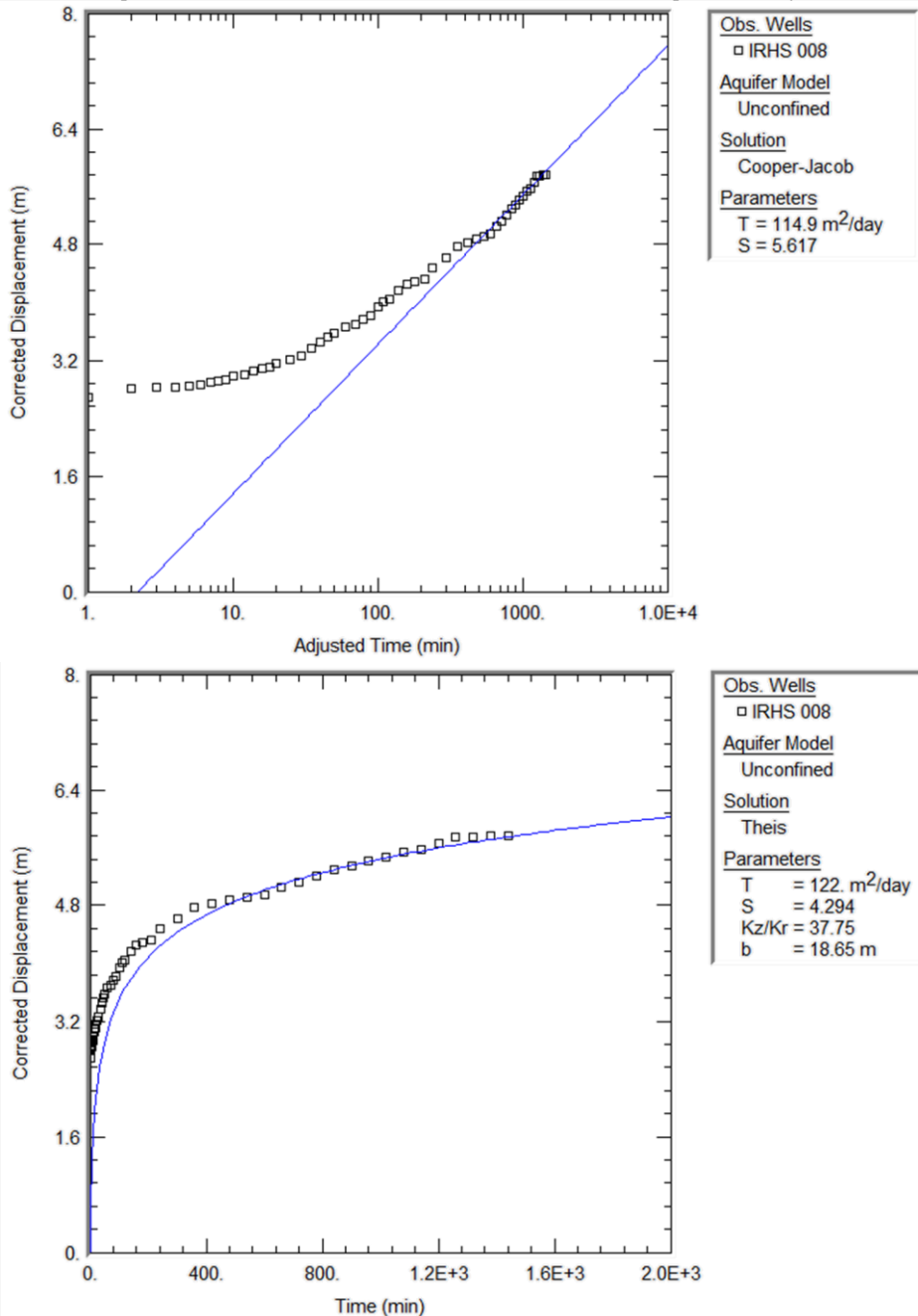
Cálculo de parámetros hidráulicos, mediante el método de Neuman y Tartakovsky-Neuman (IRHS-008).



Mediante el método de Neuman, para el pozo IRHS – 008 (INIA N° 01), se obtuvo una transmisividad de 125.10 m<sup>2</sup>/día y un coeficiente de almacenamiento de 0.9678; Y mediante el método de Tartakovsky-Neuman, se obtuvo una transmisividad de 225.40 m<sup>2</sup>/día y un coeficiente de almacenamiento de 0.01347, apreciándose que efectivamente coinciden con el obtenido a través de cálculos y fórmulas previas, obteniéndose la evidencia hidráulica, por la curvatura de la gráfica tiempo – abatimiento, de que se trata de un acuífero libre y por el valor de la transmisividad y almacenamiento de que se trata de un acuífero muy permeable con una clasificación de la formación del acuífero de regular a bueno con arena y grava limpia. Se encontró evidencia hidráulica adicional que respalda la clasificación del acuífero como libre. Esto se basa en los valores obtenidos para el coeficiente de almacenamiento (S) mediante ambos métodos, los cuales superan 0.01 (>10<sup>-2</sup>). Esto es significativo ya que valores de S dentro del rango de 10<sup>-5</sup> y 10<sup>-3</sup> indican la presencia de un acuífero confinado, fortaleciendo así la conclusión de que se trata de un acuífero libre. Fuente: AQTESOLV.

**Figura 155.**

Cálculo de parámetros hidráulicos, mediante el método de Cooper-Jacob y Theis (IRHS-008).



Utilizando la metodología de Cooper-Jacob, se realizaron pruebas en el pozo IRHS – 008 (INIA N° 01), donde se determinó una transmisividad de 114.90 m<sup>2</sup>/día y un coeficiente de almacenamiento de 5.617. Además, se evidencia la “**recta de Cooper-Jacob**” en una escala semilogarítmica con integración a tiempos tardíos. Por otro lado, mediante el método de Theis, se obtuvo una transmisividad de 122.00 m<sup>2</sup>/día y un coeficiente de almacenamiento de 4.294, visualizando la “**curva de Theis**” en escala aritmética también con integración a tiempos tardíos. Es relevante destacar que estos resultados concuerdan con los obtenidos mediante cálculos y fórmulas anteriores, proporcionando evidencia hidráulica. Esta evidencia se fundamenta en la curvatura de la gráfica tiempo-abatimiento, indicando la presencia de un acuífero libre, y en los valores de transmisividad y almacenamiento, sugiriendo la permeabilidad del acuífero, clasificando la formación del acuífero de regular a bueno. Se encontró evidencia hidráulica adicional que respalda la clasificación del acuífero como libre. Esto se basa en los valores obtenidos para el coeficiente de almacenamiento (S) mediante ambos métodos, los cuales superan 0.01 ( $>10^{-2}$ ). Esto es significativo ya que valores de S dentro del rango de  $10^{-5}$  y  $10^{-3}$  indican la presencia de un acuífero confinado, fortaleciendo así la conclusión de que se trata de un acuífero libre. Fuente: AQTESOLV.

**Tabla 60.***Resultados de la prueba de bombeo en POZO IRHS – 009.*

FECHA	HORA	TIEMPO (min)	PROF. DEL AGUA (m)	DESCENSO (m)	CAUDAL (l/s)	OBSERVACIONES
27/09/2023	08:00:00	0	37.93	2.07	35	Agua turbia - Rpm = 3100
27/09/2023	08:01:00	1	37.20	2.80	35	Agua turbia - Rpm = 3100
27/09/2023	08:02:00	2	36.76	3.24	35	Agua turbia - Rpm = 3100
27/09/2023	08:03:00	3	36.62	3.38	35	Agua turbia - Rpm = 3100
27/09/2023	08:04:00	4	36.51	3.49	35	Agua turbia - Rpm = 3100
27/09/2023	08:05:00	5	36.38	3.62	35	Agua turbia - Rpm = 3100
27/09/2023	08:06:00	6	36.22	3.78	35	Agua turbia - Rpm = 3100
27/09/2023	08:07:00	7	36.13	3.87	35	Agua turbia - Rpm = 3100
27/09/2023	08:08:00	8	36.01	3.99	35	Agua turbia - Rpm = 3100
27/09/2023	08:09:00	9	35.79	4.21	35	Agua turbia - Rpm = 3100
27/09/2023	08:10:00	10	35.57	4.43	35	Agua turbia - Rpm = 3100
27/09/2023	08:12:00	12	35.32	4.68	35	Agua turbia - Rpm = 3100
27/09/2023	08:14:00	14	35.13	4.87	35	Agua turbia - Rpm = 3100
27/09/2023	08:16:00	16	34.98	5.02	35	Agua turbia - Rpm = 3100
27/09/2023	08:18:00	18	34.82	5.18	35	Agua turbia - Rpm = 3100
27/09/2023	08:20:00	20	34.66	5.34	35	Agua turbia - Rpm = 3100
27/09/2023	08:25:00	25	34.52	5.48	35	Agua turbia - Rpm = 3100
27/09/2023	08:30:00	30	34.34	5.66	35	Agua turbia - Rpm = 3100
27/09/2023	08:35:00	35	34.22	5.78	35	Agua turbia - Rpm = 3100
27/09/2023	08:40:00	40	34.16	5.84	35	Agua turbia - Rpm = 3100
27/09/2023	08:45:00	45	34.02	5.98	35	Agua turbia - Rpm = 3100
27/09/2023	08:50:00	50	33.84	6.16	35	Agua turbia - Rpm = 3100
27/09/2023	09:00:00	60	33.63	6.37	35	1 h
27/09/2023	09:10:00	70	33.32	6.68	35	Agua turbia - Rpm = 3100
27/09/2023	09:20:00	80	32.66	7.34	35	Agua clara - Rpm=3100
27/09/2023	09:30:00	90	32.04	7.96	35	Agua clara - Rpm=3100
27/09/2023	09:40:00	100	31.62	8.38	35	Agua clara - Rpm=3100
27/09/2023	09:50:00	110	31.16	8.84	35	Agua clara - Rpm=3100
27/09/2023	10:00:00	120	30.90	9.10	35	2 h
27/09/2023	10:20:00	140	30.32	9.68	35	Agua clara - Rpm=3100
27/09/2023	10:40:00	160	30.16	9.84	35	Agua clara - Rpm=3100
27/09/2023	11:00:00	180	29.88	10.12	35	3 h
27/09/2023	11:30:00	210	29.42	10.58	35	Agua clara - Rpm=3100
27/09/2023	12:00:00	240	29.22	10.78	35	4 h
27/09/2023	13:00:00	300	28.98	11.02	35	5 h
27/09/2023	14:00:00	360	28.52	11.48	35	6 h
27/09/2023	15:00:00	420	28.28	11.72	35	7 h
27/09/2023	16:00:00	480	27.92	12.08	35	8 h
27/09/2023	17:00:00	540	27.47	12.53	35	9 h
27/09/2023	18:00:00	600	27.02	12.98	35	10 h
27/09/2023	19:00:00	660	26.48	13.52	35	11 h
27/09/2023	20:00:00	720	26.19	13.81	35	12 h
27/09/2023	21:00:00	780	25.72	14.28	35	13 h
27/09/2023	22:00:00	840	25.51	14.49	35	14 h
27/09/2023	23:00:00	900	25.12	14.88	35	15 h

FECHA	HORA	TIEMPO (min)	PROF. DEL AGUA (m)	DESCENSO (m)	CAUDAL (l/s)	OBSERVACIONES
28/09/2023	00:00:00	960	24.82	15.18	35	16 h
28/09/2023	01:00:00	1020	24.19	15.81	35	17 h
28/09/2023	02:00:00	1080	23.87	16.13	35	18 h
28/09/2023	03:00:00	1140	23.26	16.74	35	19 h
28/09/2023	04:00:00	1200	22.80	17.20	35	20 h
28/09/2023	05:00:00	1260	21.98	18.02	35	21 h
28/09/2023	06:00:00	1320	21.47	18.53	35	22 h
28/09/2023	07:00:00	1380	21.20	18.80	35	23 h
28/09/2023	08:00:00	1440	21.18	18.82	35	24 h

(Fuente: Elaboración propia)

**Tabla 61.**

Resultados de la prueba de recuperación en POZO IRHS – 009.

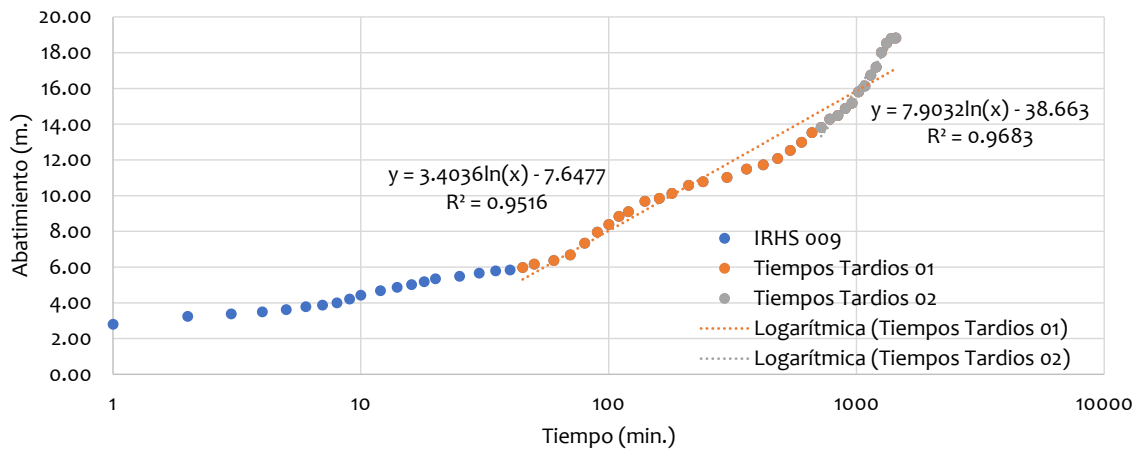
FECHA	HORA	TIEMPO (min)	PROF. DEL AGUA (m)	ASCENSO (m)	CAUDAL (l/s)	OBSERVACIONES
28/09/2023	08:00:00	0	21.18	18.82	35	Recuperación de caudal
28/09/2023	08:01:00	1	21.69	18.31	35	Recuperación de caudal
28/09/2023	08:02:00	2	23.90	16.10	35	Recuperación de caudal
28/09/2023	08:03:00	3	25.42	14.58	35	Recuperación de caudal
28/09/2023	08:04:00	4	25.79	14.21	35	Recuperación de caudal
28/09/2023	08:05:00	5	25.98	14.02	35	Recuperación de caudal
28/09/2023	08:06:00	6	26.18	13.82	35	Recuperación de caudal
28/09/2023	08:07:00	7	26.43	13.57	35	Recuperación de caudal
28/09/2023	08:08:00	8	26.60	13.40	35	Recuperación de caudal
28/09/2023	08:09:00	9	26.68	13.32	35	Recuperación de caudal
28/09/2023	08:10:00	10	27.48	12.52	35	Recuperación de caudal
28/09/2023	08:12:00	12	27.90	12.10	35	Recuperación de caudal
28/09/2023	08:14:00	14	28.17	11.83	35	Recuperación de caudal
28/09/2023	08:16:00	16	28.64	11.36	35	Recuperación de caudal
28/09/2023	08:18:00	18	29.16	10.84	35	Recuperación de caudal
28/09/2023	08:20:00	20	29.19	10.81	35	Recuperación de caudal
28/09/2023	08:25:00	25	29.73	10.27	35	Recuperación de caudal
28/09/2023	08:30:00	30	29.92	10.08	35	Recuperación de caudal
28/09/2023	08:35:00	35	30.09	9.91	35	Recuperación de caudal
28/09/2023	08:40:00	40	30.16	9.84	35	Recuperación de caudal
28/09/2023	08:45:00	45	30.58	9.42	35	Recuperación de caudal
28/09/2023	08:50:00	50	30.82	9.18	35	Recuperación de caudal
28/09/2023	09:00:00	60	31.23	8.77	35	1 h
28/09/2023	09:10:00	70	31.42	8.58	35	Recuperación de caudal
28/09/2023	09:20:00	80	31.61	8.39	35	Recuperación de caudal
28/09/2023	09:30:00	90	32.16	7.84	35	Recuperación de caudal
28/09/2023	09:40:00	100	32.53	7.47	35	Recuperación de caudal
28/09/2023	09:50:00	110	32.95	7.05	35	Recuperación de caudal
28/09/2023	10:00:00	120	33.10	6.90	35	2 h
28/09/2023	10:20:00	140	33.47	6.53	35	Recuperación de caudal

FECHA	HORA	TIEMPO (min)	PROF. DEL AGUA (m)	ASCENSO (m)	CAUDAL (l/s)	OBSERVACIONES
28/09/2023	10:40:00	160	33.84	6.16	35	Recuperación de caudal
28/09/2023	11:00:00	180	34.26	5.74	35	3 h
28/09/2023	11:30:00	210	34.52	5.48	35	Recuperación de caudal
28/09/2023	12:00:00	240	35.20	4.80	35	4 h
28/09/2023	13:00:00	300	35.57	4.43	35	5 h
28/09/2023	14:00:00	360	36.02	3.98	35	6 h
28/09/2023	15:00:00	420	36.17	3.83	35	7 h
28/09/2023	16:00:00	480	36.40	3.60	35	8 h
28/09/2023	17:00:00	540	36.91	3.09	35	9 h
28/09/2023	18:00:00	600	37.22	2.78	35	10 h
28/09/2023	19:00:00	660	37.69	2.31	35	11 h
28/09/2023	20:00:00	720	37.82	2.18	35	12 h
28/09/2023	21:00:00	780	37.98	2.02	35	13 h
	22:00:00	840			35	14 h
	23:00:00	900			35	15 h
	00:00:00	960			35	16 h
	01:00:00	1020			35	17 h

(Fuente: Elaboración propia)

**Figura 156.**

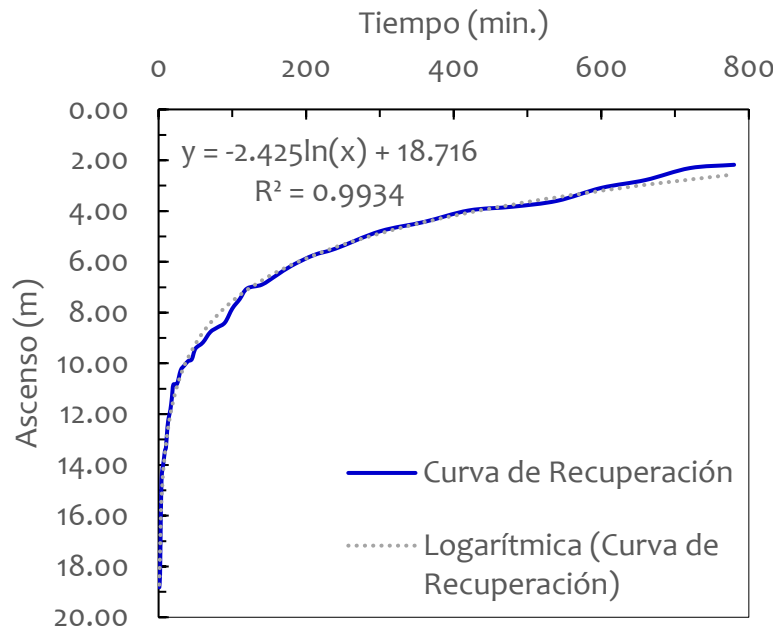
Gráfico del abatimiento respecto al tiempo, del pozo IRHS-009.



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 157.**

Curva de recuperación respecto al tiempo, del pozo IRHS-009.



Tras llevar a cabo las pruebas de recuperación en el pozo, se determinó que el tiempo requerido para que el pozo volviera a su nivel estático normal fue de 780 minutos. Fuente: Elaboración propia.

**Figura 158.**

Cálculo de parámetros hidrogeológicos del pozo IRHS-009.

UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO CÁLCULO DE LAS CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS DEL SISTEMA ACUÍFERO			
PROYECTO:	"Análisis Hidrogeológico y Diseño Hidráulico Comparativo por Colapso y Compresión, en Pozos Profundos, para fines agrícolas en Moquegua, 2023".	REF.:	B53-7003130196
UBICACIÓN:	POZO IRHS - 009 INIA N° 02, Este UTM: 290596, Norte UTM: 8096401	FECHA:	04/05/2024
DISEÑO:	Bach. Boris Leonardo Aranda Huacan	CÁLCULO:	Obras Hidráulicas

**Transmisividad y Coef. de almacenamiento (Acuífero Libre) / Cooper y Jacob**

Diámetro del pozo	$s(r, t) = \frac{2.3Q}{4\pi T} \log\left(\frac{2.25Tt_0}{r^2S}\right) = \frac{Q}{4\pi T} \ln\left(\frac{2.25Tt_0}{r^2S}\right)$	D =	18	in	0.457	m
Tiempo de bombeo		$t_0 =$	24	h.	1	día
Caudal		Q =	35	l/s	3024	m³/día
Radio del pozo	$T = \frac{2.3Q}{4\pi\Delta s'} = 0.183 * \frac{Q}{\Delta s'}$	r =	0.2286	m		
Espesor del Acuífero		b =	37.93	m		
Pendiente de la línea de tendencia (Ec. del gráfico)		y =	3.4036			
Segunda componente de la línea de tendencia (Ec. del gráfico)	$R = \sqrt{\frac{2.25Tt_0}{S}}$		-7.6477			
Ajuste de la recta de regresión lineal con el eje de las abscisas		$t_0 =$	9.458789469	min	0.006569	día
Variación del abatimiento (Pendiente de la recta del gráfico)	$K = \frac{T}{b}$	$\Delta s' =$	7.82828	m		
Transmisividad		T =	70.6914	m²/día		
Conductividad Hidráulica	$S = \frac{2.25 * T * t_0}{r^2}$	K =	1.863733	m/día		
Conductividad Hidráulica (Cooper - Jacob)		K =	2.16E-05	m/s		
Coefficiente de Almacenamiento	$Pendiente = \Delta s' = 0.183 \frac{Q}{T}$	S =	2.00E+01	(adimensional)		
Radio de Influencia		R =	2.82	m		

Fuente: Elaboración propia.



**Tabla 62.**

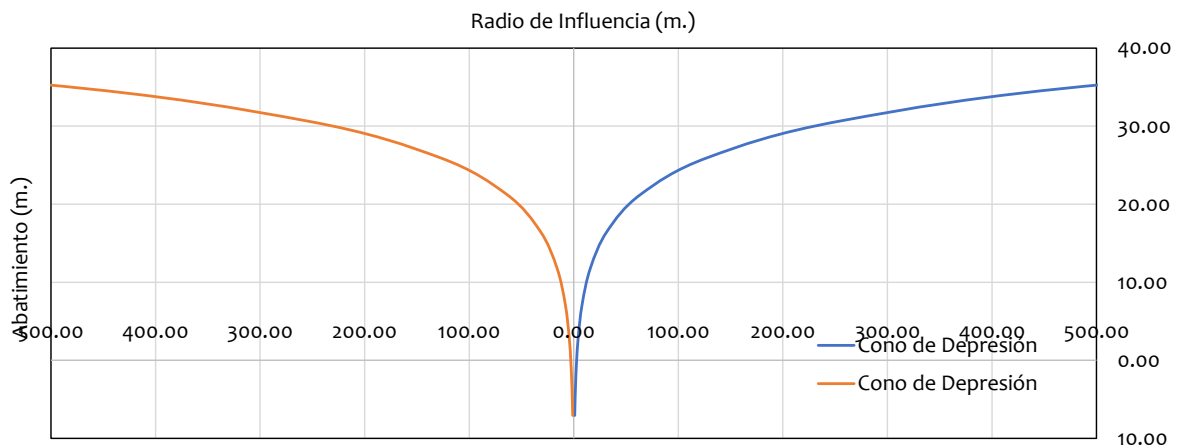
*Iterando hasta estabilizar el abatimiento del pozo IRHS-009.*

Radio de Influencia (r)	Abatimiento (s)
1.00	7.06
2.00	2.34
4.00	2.38
8.00	7.10
16.00	11.82
32.00	16.54
64.00	21.25
128.00	25.97
256.00	30.69
512.00	35.41
1024.00	40.13
2048.00	44.85
4096.00	49.57
8192.00	54.29
16384.00	59.01
32768.00	63.73
65536.00	68.45

*Fuente: Elaboración propia.*

**Figura 159.**

*Cono de depresión en pozo IRHS-009.*

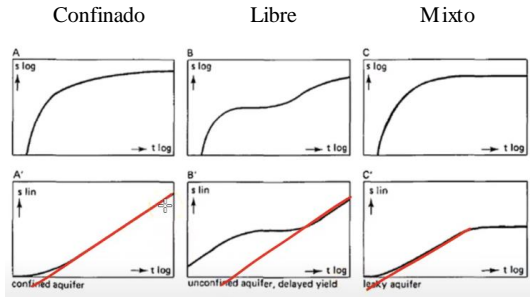


*Tras el período de bombeo en el pozo IRHS-009, se observó la formación de un cono de depresión, y se pudo notar que el radio de influencia coincidía con el obtenido a través de cálculos y fórmulas previas; Es decir, luego de 24 horas de bombeo, el radio de influencia alcanzó los 2.82 metros. (Fuente: Elaboración propia.).*

**Figura 160.**

Evidencia hidráulica del tipo de acuífero, para el pozo IRHS-009.

**Evidencia hidráulica**



- En escala logarítmica se forma la recta de Cooper – Jacob.
- En escala doble logarítmica se forma la curva de Theis.

**Condición de Dupuit**

$N_D$ = Nivel Dinámico	18.82	m.
$N_E$ = Nivel Estático	2.07	m.

$$(N_D)^2 = (N_E)^2 + \frac{Q}{\pi T} \ln\left(\frac{r}{R}\right)$$

Cond. Dupuit =	6.2048	m.
Indice Determinación =	32.97%	OK!!

- Se sugiere efectuar más horas de bombeo.

**Condición de Newman**

$S_y$ = Coef. Almac.	2.00E+01	OK!!
----------------------	----------	------

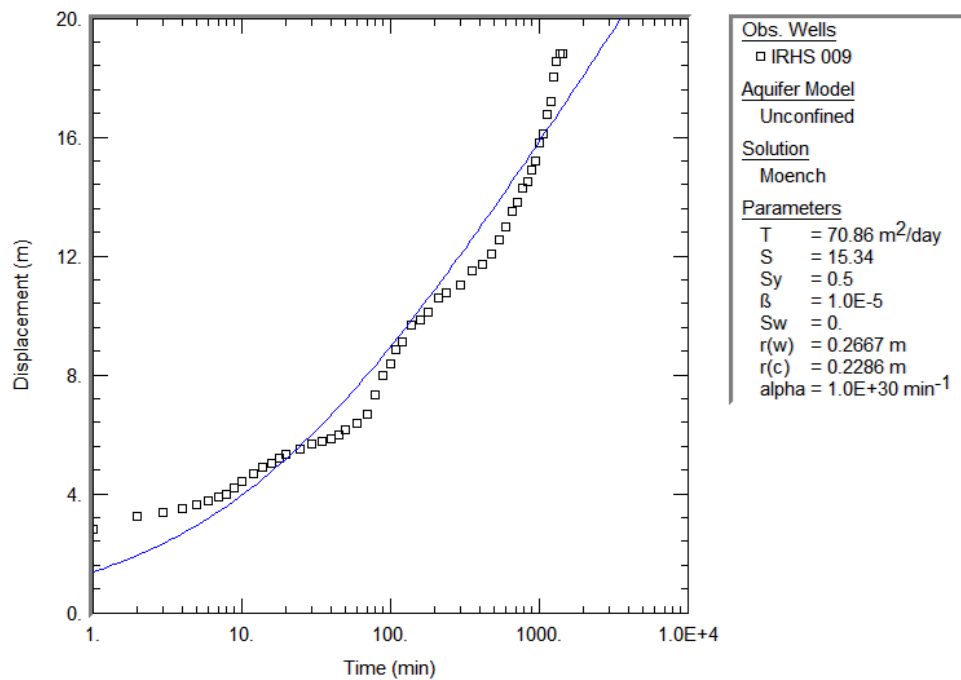
$$S_y = \frac{2.25Tt_0}{r^2}$$

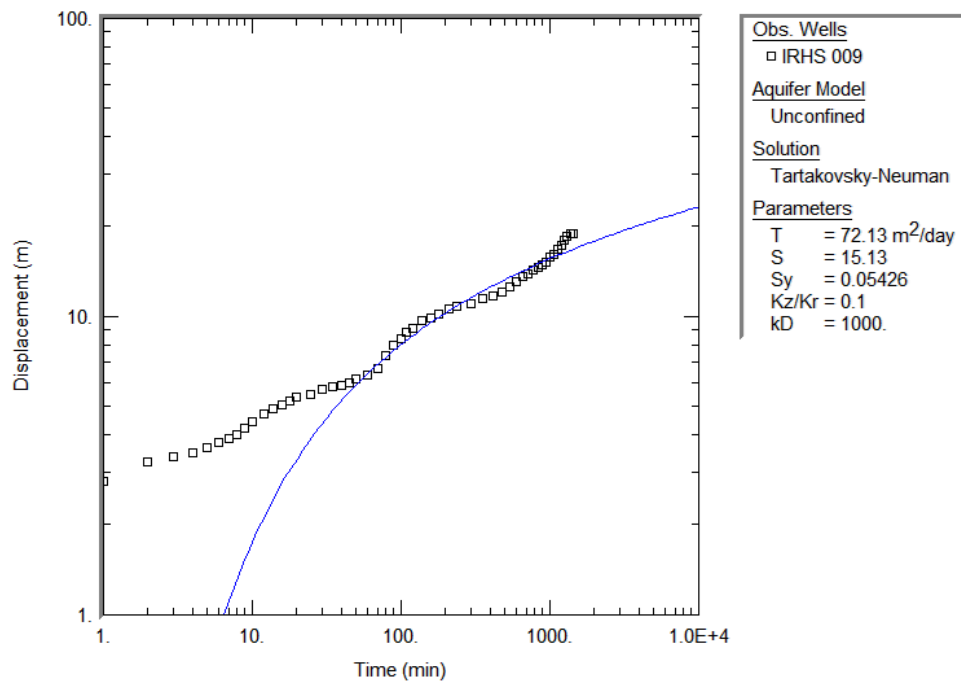
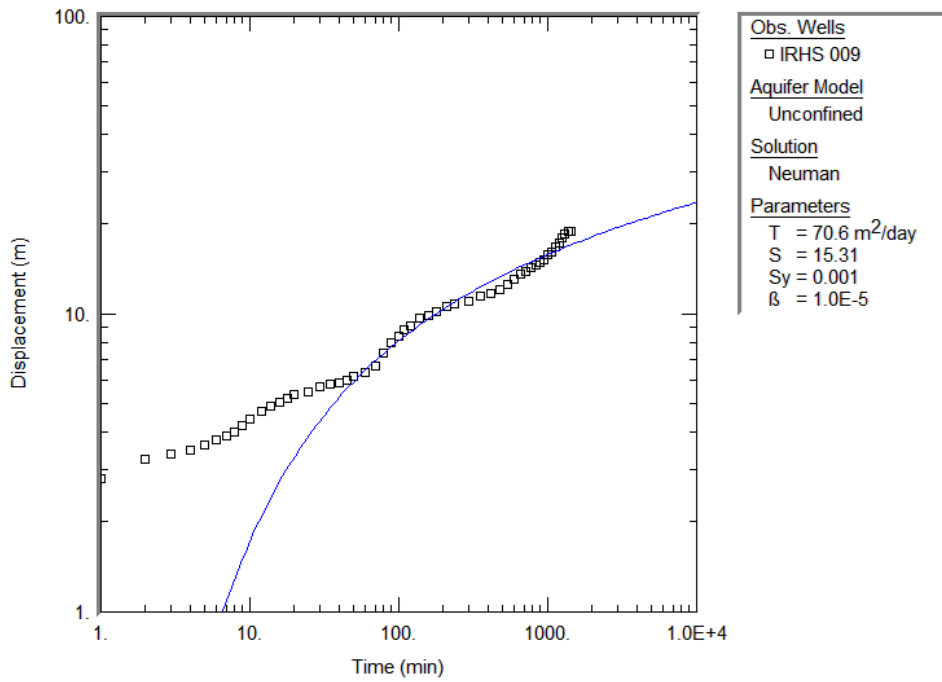
- Se sugiere instalar piezómetros.

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 161.**

Cálculo de parámetros hidráulicos, mediante el método de Moench, Neuman y Tartakovsky-Neuman (IRHS-009).

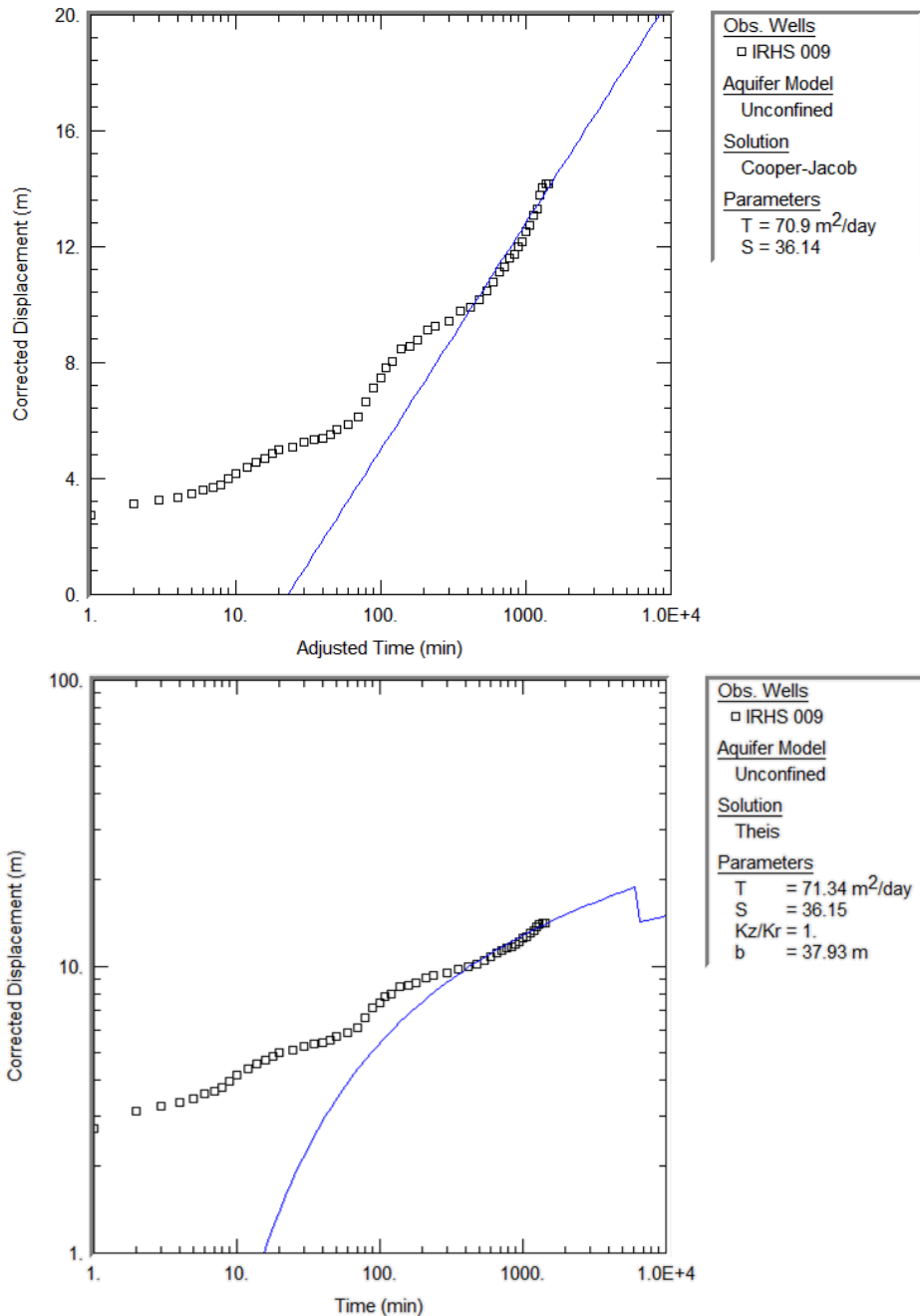




Mediante el método de Moench, para el pozo IRHS – 009 (INIA N° 02), se obtuvo una transmisividad de 70.86 m<sup>2</sup>/día y un coeficiente de almacenamiento de 15.34; Y mediante el método de Neuman, se obtuvo una transmisividad de 70.60 m<sup>2</sup>/día y un coeficiente de almacenamiento de 15.31; Y mediante el método de Tartakovsky-Neuman, se obtuvo una transmisividad de 72.13 m<sup>2</sup>/día y un coeficiente de almacenamiento de 15.13, apreciándose que efectivamente coinciden con el obtenido a través de cálculos y fórmulas previas, obteniéndose la evidencia hidráulica, por la curvatura de la gráfica tiempo – abatimiento, de que se trata de un acuífero libre y por el valor de la transmisividad y almacenamiento de que se trata de un acuífero permeable con una clasificación de la formación del acuífero de regular a bueno. Se encontró evidencia hidráulica adicional que respalda la clasificación del acuífero como libre. Esto se basa en los valores obtenidos para el coeficiente de almacenamiento (S) mediante los métodos citados, los cuales superan 0.01 ( $>10^{-2}$ ). Esto es significativo ya que valores de S dentro del rango de  $10^{-5}$  y  $10^{-3}$  indican la presencia de un acuífero confinado, fortaleciendo así la conclusión de que se trata de un acuífero libre. Fuente: AQTESOLV.

**Figura 162.**

Cálculo de parámetros hidráulicos, mediante el método de Cooper-Jacob y Theis (IRHS-009).



Utilizando la metodología de Cooper-Jacob, se realizaron pruebas en el pozo IRHS – 009 (INIA N° 02), donde se determinó una transmisividad de 70.90 m<sup>2</sup>/día y un coeficiente de almacenamiento de 36.14; Además, se evidencia la “recta de Cooper-Jacob” en una escala semilogarítmica con integración a tiempos tardíos. Por otro lado, mediante el método de Theis, se obtuvo una transmisividad de 71.34 m<sup>2</sup>/día y un coeficiente de almacenamiento de 36.15, visualizando la “curva de Theis” en escala doble logarítmica también con integración a tiempos tardíos. Es relevante destacar que estos resultados concuerdan con los obtenidos mediante cálculos y fórmulas anteriores, proporcionando evidencia hidráulica. Esta evidencia se fundamenta en la curvatura de la gráfica tiempo-abatimiento, indicando la presencia de un acuífero libre, y en los valores de transmisividad y almacenamiento, sugiriendo la permeabilidad del acuífero, clasificando la formación del acuífero de regular a bueno. Se encontró evidencia hidráulica adicional que respalda la clasificación del acuífero como libre. Esto se basa en los valores obtenidos para el coeficiente de almacenamiento (S) mediante ambos métodos, los cuales superan 0.01 (>10<sup>-2</sup>). Esto es significativo ya que valores de S dentro del rango de 10<sup>-5</sup> y 10<sup>-3</sup> indican la presencia de un acuífero confinado, fortaleciendo así la conclusión de que se trata de un acuífero libre. Fuente: AQTESOLV.

**Tabla 63.***Resultados de la prueba de bombeo en POZO IRHS – 035.*

FECHA	HORA	TIEMPO (min)	PROF. DEL AGUA (m)	DESCENSO (m)	CAUDAL (l/s)	OBSERVACIONES
01/10/2023	09:00:00	0	33.30	4.70	45	Agua turbia - rpm=2800
01/10/2023	09:01:00	1	30.58	7.42	45	Agua turbia - rpm=2800
01/10/2023	09:02:00	2	29.05	8.95	45	Agua turbia - rpm=2800
01/10/2023	09:03:00	3	28.46	9.54	45	Agua turbia - rpm=2800
01/10/2023	09:04:00	4	28.15	9.85	45	Agua turbia - rpm=2800
01/10/2023	09:05:00	5	27.91	10.09	45	Agua turbia - rpm=2800
01/10/2023	09:06:00	6	27.68	10.32	45	Agua turbia - rpm=2800
01/10/2023	09:07:00	7	27.26	10.74	45	Agua turbia - rpm=2800
01/10/2023	09:08:00	8	26.98	11.02	45	Agua turbia - rpm=2800
01/10/2023	09:09:00	9	26.91	11.09	45	Agua turbia - rpm=2800
01/10/2023	09:10:00	10	26.64	11.36	45	Agua turbia - rpm=2800
01/10/2023	09:12:00	12	26.26	11.74	45	Agua turbia - rpm=2800
01/10/2023	09:14:00	14	26.02	11.98	45	Agua turbia - rpm=2800
01/10/2023	09:16:00	16	25.64	12.36	45	Agua turbia - rpm=2800
01/10/2023	09:18:00	18	25.08	12.92	45	Agua turbia - rpm=2800
01/10/2023	09:20:00	20	24.69	13.31	45	Agua turbia - rpm=2800
01/10/2023	09:25:00	25	24.16	13.84	45	Agua turbia - rpm=2800
01/10/2023	09:30:00	30	23.76	14.24	45	Agua turbia - rpm=2800
01/10/2023	09:35:00	35	23.07	14.93	45	Agua turbia - rpm=2800
01/10/2023	09:40:00	40	22.82	15.18	45	Agua turbia - rpm=2800
01/10/2023	09:45:00	45	22.35	15.65	45	Agua turbia - rpm=2800
01/10/2023	09:50:00	50	22.03	15.97	45	Agua turbia - rpm=2800
01/10/2023	10:00:00	60	21.82	16.18	45	1 h
01/10/2023	10:10:00	70	21.43	16.57	45	Agua turbia - rpm=2800
01/10/2023	10:20:00	80	21.11	16.89	45	Agua clara - rpm=2800
01/10/2023	10:30:00	90	20.86	17.14	45	Agua clara - rpm=2800
01/10/2023	10:40:00	100	20.42	17.58	45	Agua clara - rpm=2800
01/10/2023	10:50:00	110	20.10	17.90	45	Agua clara - rpm=2800
01/10/2023	11:00:00	120	19.85	18.15	45	2 h
01/10/2023	11:20:00	140	19.51	18.49	45	Agua clara - rpm=2800
01/10/2023	11:40:00	160	19.13	18.87	45	Agua clara - rpm=2800
01/10/2023	12:00:00	180	18.95	19.05	45	3 h
01/10/2023	12:30:00	210	18.53	19.47	45	Agua clara - rpm=2800
01/10/2023	13:00:00	240	18.11	19.89	45	4 h
01/10/2023	14:00:00	300	17.77	20.23	45	5 h
01/10/2023	15:00:00	360	17.43	20.57	45	6 h
01/10/2023	16:00:00	420	17.02	20.98	45	7 h
01/10/2023	17:00:00	480	16.64	21.36	45	8 h
01/10/2023	18:00:00	540	16.22	21.78	45	9 h
01/10/2023	19:00:00	600	15.93	22.07	45	10 h
01/10/2023	20:00:00	660	15.43	22.57	45	11 h
01/10/2023	21:00:00	720	15.11	22.89	45	12 h
01/10/2023	22:00:00	780	14.86	23.14	45	13 h
01/10/2023	23:00:00	840	14.53	23.47	45	14 h
02/10/2023	00:00:00	900	14.41	23.59	45	15 h

FECHA	HORA	TIEMPO (min)	PROF. DEL AGUA (m)	DESCENSO (m)	CAUDAL (l/s)	OBSERVACIONES
02/10/2023	01:00:00	960	14.24	23.76	45	16 h
02/10/2023	02:00:00	1020	14.12	23.88	45	17 h
02/10/2023	03:00:00	1080	13.97	24.03	45	18 h
02/10/2023	04:00:00	1140	13.85	24.15	45	19 h
02/10/2023	05:00:00	1200	13.74	24.26	45	20 h
02/10/2023	06:00:00	1260	13.61	24.39	45	21 h
02/10/2023	07:00:00	1320	13.55	24.45	45	22 h
02/10/2023	08:00:00	1380	13.46	24.54	45	23 h
02/10/2023	09:00:00	1440	13.38	24.62	45	24 h

(Fuente: Elaboración propia)

**Tabla 64.**

*Resultados de la prueba de recuperación en POZO IRHS – 035.*

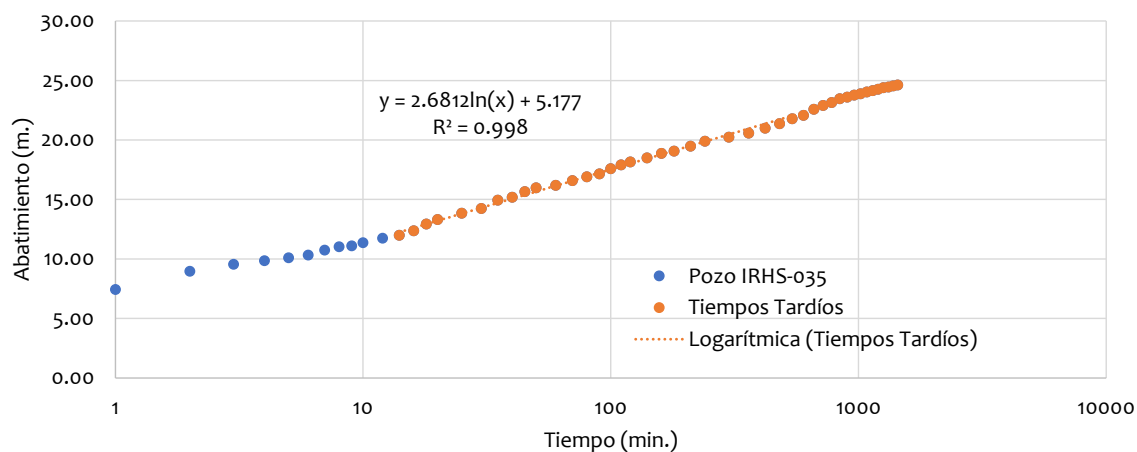
FECHA	HORA	TIEMPO (min)	PROF. DEL AGUA (m)	ASCENSO (m)	CAUDAL (l/s)	OBSERVACIONES
02/10/2023	09:00:00	0	13.38	24.62	45	Recuperación de caudal
02/10/2023	09:01:00	1	15.70	22.30	45	Recuperación de caudal
02/10/2023	09:02:00	2	16.66	21.34	45	Recuperación de caudal
02/10/2023	09:03:00	3	16.91	21.09	45	Recuperación de caudal
02/10/2023	09:04:00	4	17.23	20.77	45	Recuperación de caudal
02/10/2023	09:05:00	5	17.68	20.32	45	Recuperación de caudal
02/10/2023	09:06:00	6	17.98	20.02	45	Recuperación de caudal
02/10/2023	09:07:00	7	19.24	18.76	45	Recuperación de caudal
02/10/2023	09:08:00	8	19.38	18.62	45	Recuperación de caudal
02/10/2023	09:09:00	9	19.43	18.57	45	Recuperación de caudal
02/10/2023	09:10:00	10	19.68	18.32	45	Recuperación de caudal
02/10/2023	09:12:00	12	19.89	18.11	45	Recuperación de caudal
02/10/2023	09:14:00	14	20.09	17.91	45	Recuperación de caudal
02/10/2023	09:16:00	16	20.57	17.43	45	Recuperación de caudal
02/10/2023	09:18:00	18	20.82	17.18	45	Recuperación de caudal
02/10/2023	09:20:00	20	21.07	16.93	45	Recuperación de caudal
02/10/2023	09:25:00	25	21.22	16.78	45	Recuperación de caudal
02/10/2023	09:30:00	30	21.28	16.72	45	Recuperación de caudal
02/10/2023	09:35:00	35	21.98	16.02	45	Recuperación de caudal
02/10/2023	09:40:00	40	23.65	14.35	45	Recuperación de caudal
02/10/2023	09:45:00	45	23.70	14.30	45	Recuperación de caudal
02/10/2023	09:50:00	50	24.22	13.78	45	Recuperación de caudal
02/10/2023	10:00:00	60	24.86	13.14	45	1 h
02/10/2023	10:10:00	70	25.16	12.84	45	Recuperación de caudal
02/10/2023	10:20:00	80	25.92	12.08	45	Recuperación de caudal
02/10/2023	10:30:00	90	26.22	11.78	45	Recuperación de caudal
02/10/2023	10:40:00	100	26.78	11.22	45	Recuperación de caudal
02/10/2023	10:50:00	110	27.12	10.88	45	Recuperación de caudal
02/10/2023	11:00:00	120	27.48	10.52	45	2 h
02/10/2023	11:20:00	140	28.82	9.18	45	Recuperación de caudal

FECHA	HORA	TIEMPO (min)	PROF. DEL AGUA (m)	ASCENSO (m)	CAUDAL (l/s)	OBSERVACIONES
02/10/2023	11:40:00	160	29.32	8.68	45	Recuperación de caudal
02/10/2023	12:00:00	180	29.62	8.38	45	3 h
02/10/2023	12:30:00	210	29.76	8.24	45	Recuperación de caudal
02/10/2023	13:00:00	240	29.87	8.13	45	4 h
02/10/2023	14:00:00	300	29.96	8.04	45	5 h
02/10/2023	15:00:00	360	30.19	7.81	45	6 h
02/10/2023	16:00:00	420	30.83	7.17	45	7 h
02/10/2023	17:00:00	480	31.22	6.78	45	8 h
02/10/2023	18:00:00	540	31.77	6.23	45	9 h
02/10/2023	19:00:00	600	31.85	6.15	45	10 h
02/10/2023	20:00:00	660	33.09	4.91	45	11 h
02/10/2023	21:00:00	720	33.25	4.75	45	12 h
02/10/2023	22:00:00	780	33.42	4.58	45	13 h
		840			45	14 h
		900			45	15 h
		960			45	16 h
		1020			45	17 h

(Fuente: Elaboración propia)

**Figura 163.**

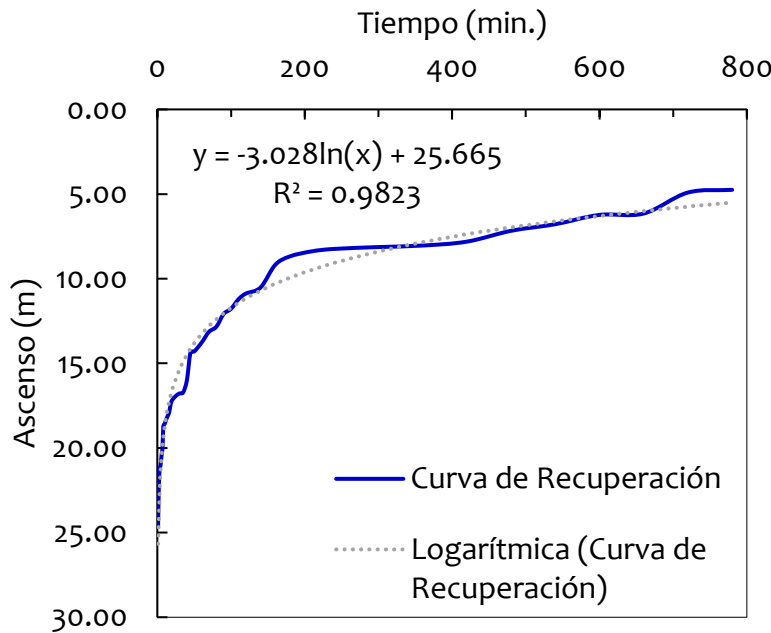
Gráfico del abatimiento respecto al tiempo, del pozo IRHS-035.



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 164.**

Curva de recuperación respecto al tiempo, del pozo IRHS-035.



Tras llevar a cabo las pruebas de recuperación en el pozo, se determinó que el tiempo requerido para que el pozo volviera a su nivel estático normal fue de 780 minutos. Fuente: Elaboración propia.

**Figura 165.**

Cálculo de parámetros hidrogeológicos del pozo IRHS-035

UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO CÁLCULO DE LAS CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS DEL SISTEMA ACUÍFERO			
PROYECTO:	"Análisis Hidrogeológico y Diseño Hidráulico Comparativo por Colapso y Compresión, en Pozos Profundos, para fines agrícolas en Moquegua, 2023".	REF.:	B53-7003130196
UBICACIÓN:	POZO IRHS - 035 (La Cara), Este UTM: 254065, Norte UTM: 8050334	FECHA:	05/05/2024
DISEÑO:	Bach. Boris Leonardo Aranda Huacan	CÁLCULO:	Obras Hidráulicas

**Transmisividad y Coef. de almacenamiento (Acuífero Libre) / Cooper y Jacob**

Diámetro del pozo	$s(r, t) = \frac{2.3Q}{4\pi T} \log\left(\frac{2.25Tt_0}{r^2 S}\right) = \frac{Q}{4\pi T} \ln\left(\frac{2.25Tt_0}{r^2 S}\right)$	D =	14.5	in	0.368	m
Tiempo de bombeo		t <sub>0</sub> ' =	24	h.	1	día
Caudal		Q =	45	l/s	3888	m <sup>3</sup> /día
Radio del pozo		r =	0.1842	m		
Espesor del Acuífero	$T = \frac{2.3Q}{4\pi \Delta s'} = 0.183 * \frac{Q}{\Delta s'}$	b =	33.30	m		
Pendiente de la línea de tendencia (Ec. del gráfico)		y =	2.6812			
Segunda componente de la línea de tendencia (Ec. del gráfico)	$R = \sqrt{\frac{2.25Tt_0}{S}}$		5.1770			
Ajuste de la recta de regresión lineal con el eje de las abscisas		t <sub>0</sub> =	0.145024606	min	0.000101	día
Variación del abatimiento (Pendiente de la recta del gráfico)		Δs' =	6.16676	m		
Transmisividad	$K = \frac{T}{b}$	T =	115.3773	m <sup>2</sup> /día		
Conductividad Hidráulica		K =	3.464783	m/día		
Conductividad Hidráulica (Cooper - Jacob)	$S = \frac{2.25 * T * t_0}{r^2}$	K =	4.23E-05	m/s		
Coefficiente de Almacenamiento		S =	7.71E-01	(adimensional)		
Radio de Influencia	$Pendiente = \Delta s' = 0.183 \frac{Q}{T}$	R =	18.35	m		

Fuente: Elaboración propia.



**Tabla 65.**

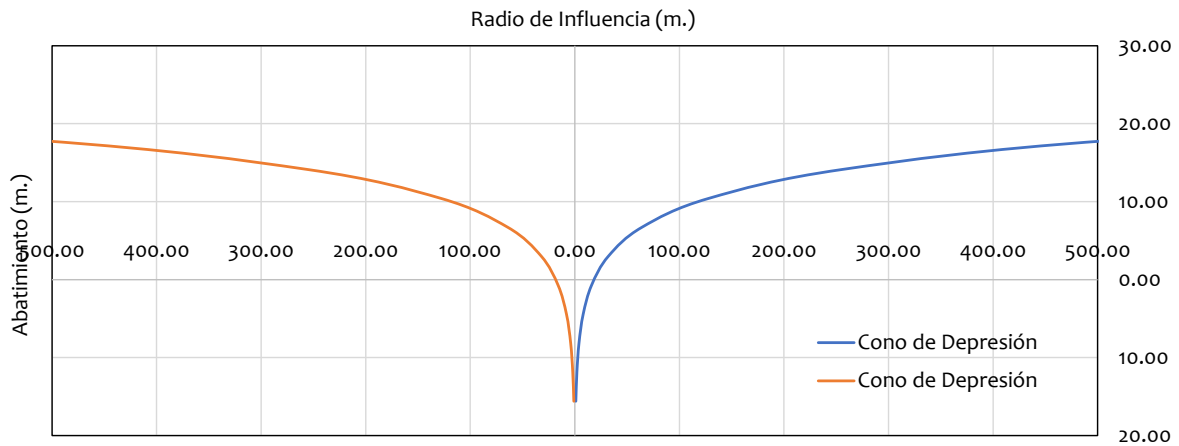
*Iterando hasta estabilizar el abatimiento del pozo IRHS-035.*

Radio de Influencia (r)	Abatimiento (s)
1.00	15.60
2.00	11.89
4.00	8.17
8.00	4.45
16.00	0.73
32.00	2.98
64.00	6.70
128.00	10.42
256.00	14.14
512.00	17.85
1024.00	21.57
2048.00	25.29
4096.00	29.01
8192.00	32.72
16384.00	36.44
32768.00	40.16
65536.00	43.88

*Fuente: Elaboración propia.*

**Figura 166.**

*Cono de depresión en pozo IRHS-035.*

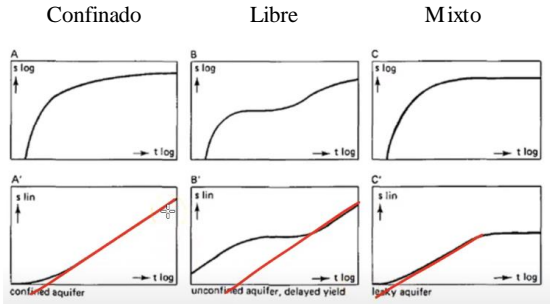


*Tras el período de bombeo en el pozo IRHS-035, se observó la formación de un cono de depresión, y se pudo notar que el radio de influencia coincidía con el obtenido a través de cálculos y fórmulas previas; Es decir, luego de 24 horas de bombeo, el radio de influencia alcanzó los 18.35 metros. (Fuente: Elaboración propia.)*

### Figura 167.

Evidencia hidráulica del tipo de acuífero, para el pozo IRHS-035.

#### Evidencia hidráulica



Acuífero Confinado

- En escala logarítmica se forma la recta de Cooper – Jacob.
- En escala doble logarítmica se forma la curva de Theis.

#### Condición de Thiem

$N_D$ = Nivel Dinámico	24.62	m.
$N_E$ = Nivel Estático	4.70	m.
s = Abatimiento	-19.920	m.
Cond. Thiem =	-19.980	m.
Indice Determinación =	99.70%	OK!!

$$N_D = N_E + \frac{Q}{2\pi T} \ln\left(\frac{r}{R}\right)$$

- Cumple.

#### Condición de Theis

u = Argumento de la función f(u) del pozo	0.5625	0.56%	OK!!
---	--------	-------	------

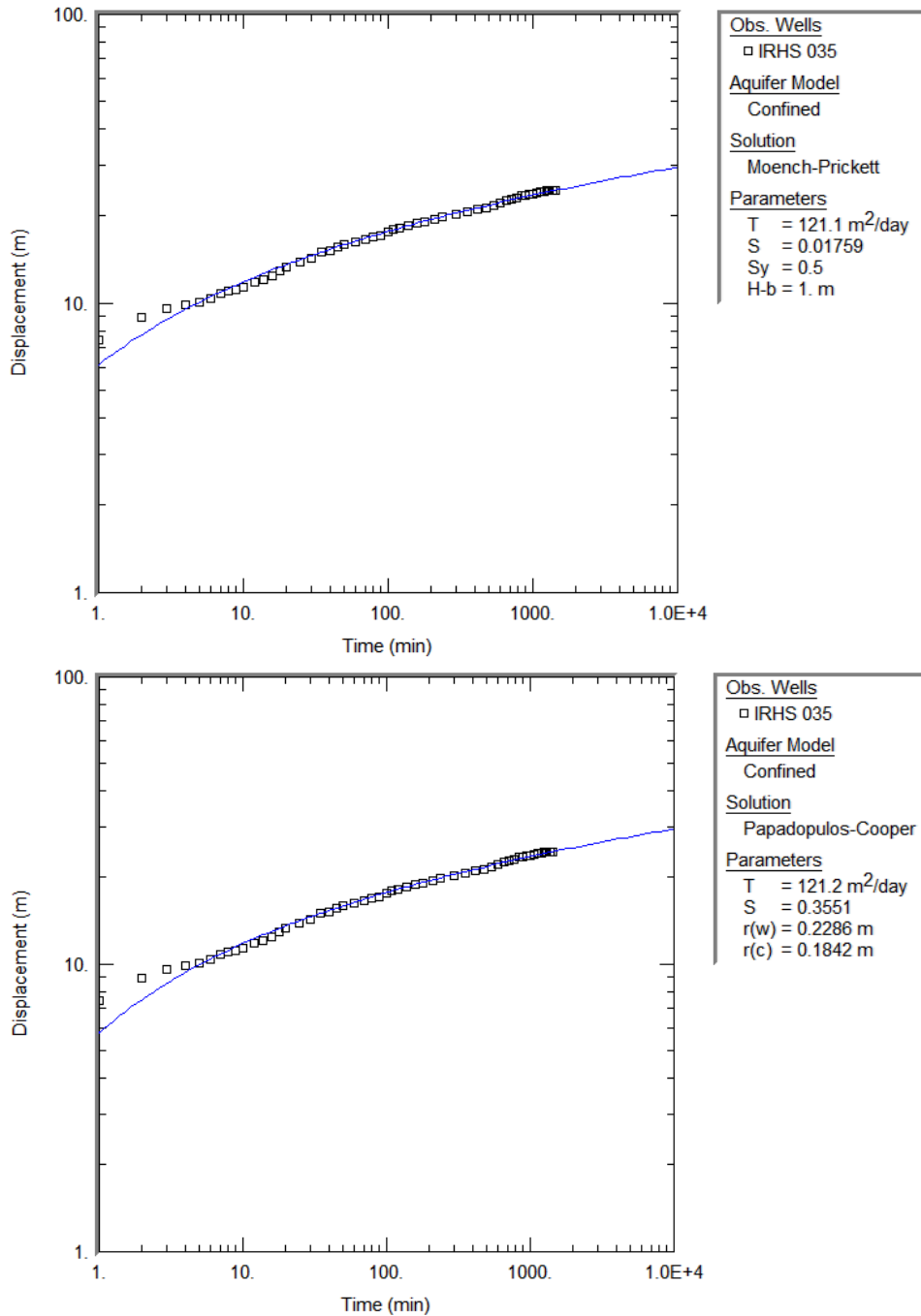
$$u = \frac{r^2 S}{4Tt_0}$$

- Un error inferior de: 1% 2% 5% 10%
- Para u inferior a: 0.03 0.05 0.1 0.15
- Error aceptable, menor al 2%
- Para u ideal (u < 0.01)

Fuente: Elaboración propia.

### Figura 168.

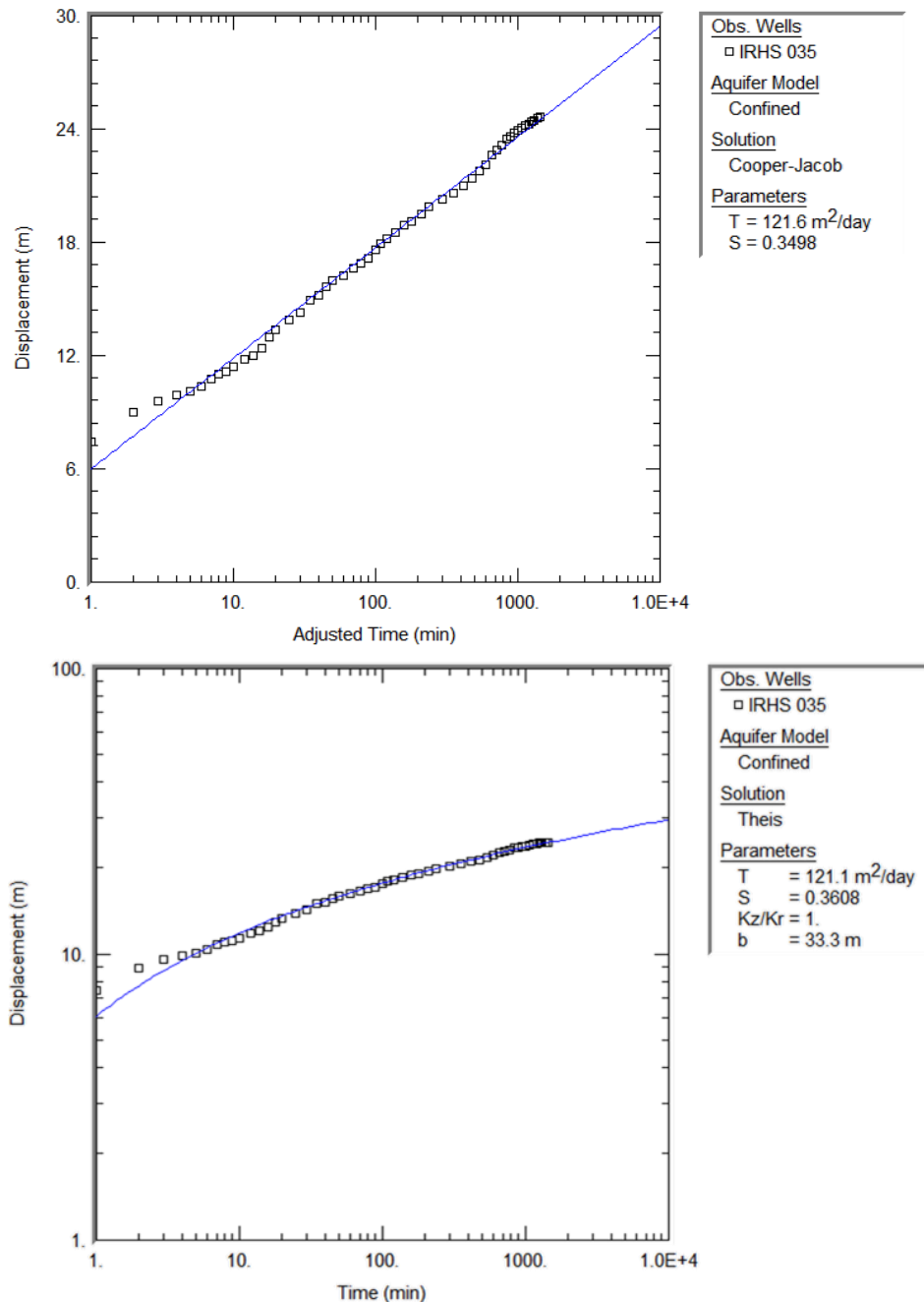
Cálculo de parámetros hidráulicos, mediante el método de Moench - Prickett y Papadopulos - Cooper (IRHS-035).



Mediante el método de Moench - Prickett, para el pozo IRHS – 035 (La Cara), se obtuvo una transmisividad de 121.10 m<sup>2</sup>/día y un coeficiente de almacenamiento de 0.01759; Y mediante el método de Papadopulos - Cooper, se obtuvo una transmisividad de 121.20 m<sup>2</sup>/día y un coeficiente de almacenamiento de 0.3551, apreciándose que efectivamente coinciden con el obtenido a través de cálculos y fórmulas previas, obteniéndose la evidencia hidráulica, por la curvatura de la gráfica tiempo – abatimiento, de que se trata de un acuífero libre y por el valor de la transmisividad y almacenamiento de que se trata de un acuífero permeable con una clasificación de la formación del acuífero de regular a bueno. Se encontró evidencia hidráulica adicional que respalda la clasificación del acuífero como libre. Esto se basa en los valores obtenidos para el coeficiente de almacenamiento (S) mediante ambos métodos, los cuales superan 0.01 (>10<sup>-2</sup>). Esto es significativo ya que valores de S dentro del rango de 10<sup>-5</sup> y 10<sup>-3</sup> indican la presencia de un acuífero confinado, fortaleciendo así la conclusión de que se trata de un **acuífero libre**. Fuente: AQTESOLV.

**Figura 169.**

Cálculo de parámetros hidráulicos, mediante el método de Cooper-Jacob y Theis (IRHS-035).



Utilizando la metodología de Cooper-Jacob, se realizaron pruebas en el pozo IRHS-035 (La Cara), donde se determinó una transmisividad de 121.60 m<sup>2</sup>/día y un coeficiente de almacenamiento de 0.3498; Además, se evidencia la “**recta de Cooper-Jacob**” en una escala semilogarítmica con integración a tiempos tardíos. Por otro lado, mediante el método de Theis, se obtuvo una transmisividad de 121.10 m<sup>2</sup>/día y un coeficiente de almacenamiento de 0.3608, visualizando la “**curva de Theis**” en escala doble logarítmica también con integración a tiempos tardíos. Es relevante destacar que estos resultados concuerdan con los obtenidos mediante cálculos y fórmulas anteriores, proporcionando evidencia hidráulica. Esta evidencia se fundamenta en la curvatura de la gráfica tiempo-abatimiento, indicando la presencia de un acuífero libre, y en los valores de transmisividad y almacenamiento, sugiriendo la permeabilidad del acuífero, clasificando la formación del acuífero de regular a bueno. Se encontró evidencia hidráulica adicional que respalda la clasificación del acuífero como libre. Esto se basa en los valores obtenidos para el coeficiente de almacenamiento (S) mediante ambos métodos, los cuales superan 0.01 (>10<sup>-2</sup>). Esto es significativo ya que valores de “S” dentro del rango de 10<sup>-5</sup> y 10<sup>-3</sup> indican la presencia de un acuífero confinado, fortaleciendo así la conclusión de que se trata de un **acuífero libre**. Fuente: AQTESOLV.

**Figura 170.***Eficiencia del pozo IRHS – 045 (La Chimba N°1).***Eficiencia del pozo IRHS – 045.**

Caudal  
 Transmisividad  
 Abatimiento Teorico  
 Abatimiento Real  
 Eficiencia del Acuífero

$$\Delta s' = 0.366 \frac{Q}{T}$$

Q =	1296.00	m <sup>3</sup> /dia
T =	29.07	m <sup>2</sup> /dia
$\Delta s'$ =	16.31954	m
$\Delta s$ =	12.22000	m
b =	74.88	%

*Fuente: Elaboración propia.***Figura 171.***Eficiencia del pozo IRHS – 008 INIA N° 01.***Eficiencia del pozo IRHS – 008.**

Caudal  
 Transmisividad  
 Abatimiento Teorico  
 Abatimiento Real  
 Eficiencia del Acuífero

$$\Delta s' = 0.366 \frac{Q}{T}$$

Q =	1296.00	m <sup>3</sup> /dia
T =	115.34	m <sup>2</sup> /dia
$\Delta s'$ =	4.11303	m
$\Delta s$ =	5.77000	m
b =	71.28	%

*Fuente: Elaboración propia.***Figura 172.***Eficiencia del pozo IRHS – 009 INIA N° 02.***Eficiencia del pozo IRHS – 009.**

Caudal  
 Transmisividad  
 Abatimiento Teorico  
 Abatimiento Real  
 Eficiencia del Acuífero

$$\Delta s' = 0.366 \frac{Q}{T}$$

Q =	3024.00	m <sup>3</sup> /dia
T =	70.90	m <sup>2</sup> /dia
$\Delta s'$ =	15.61290	m
$\Delta s$ =	16.75000	m
b =	93.21	%

*Fuente: Elaboración propia.***Figura 173.***Eficiencia del pozo IRHS – 035 (La Cara).***Eficiencia del pozo IRHS – 035.**

Caudal  
 Transmisividad  
 Abatimiento Teorico  
 Abatimiento Real  
 Eficiencia del Acuífero

$$\Delta s' = 0.366 \frac{Q}{T}$$

Q =	3888.00	m <sup>3</sup> /dia
T =	115.38	m <sup>2</sup> /dia
$\Delta s'$ =	12.33542	m
$\Delta s$ =	19.92000	m
b =	61.92	%

*Fuente: Elaboración propia.*

En este contexto, se llevó a cabo el muestreo y análisis de la calidad del agua subterránea, con una posterior comparación de los resultados obtenidos respecto a la normativa vigente. Cabe destacar que el análisis de las muestras recolectadas se realizó en el laboratorio ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L., entidad acreditada por INACAL-DA con la certificación NTP ISO/IEC 17025.

Aplicando la normativa vinculada a la Ley N° 28611, conocida como la Ley General del Ambiente, así como el Reglamento de Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para el agua, que establece disposiciones complementarias según el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, el cual se comparó en base a la categoría 3: Riego de vegetales y bebidas de animales, incluyendo las Subcategorías D1: Riego de vegetales (abarcando tanto el agua para riego no restringido como el agua para riego restringido) y D2: Bebidas de animales. Este análisis comparativo se realizó en conformidad con la norma técnica peruana NTP 241.042:2012, que aborda la Calidad del Agua y sus clasificaciones en la matriz agua destinada a ensayos de laboratorio. Debido a que, el presente informe de investigación orienta la utilización del recurso hídrico subterráneo para **finés agrícolas**.

Para el monitoreo de parámetros de campo se utilizó un multiparámetro marca HACH y modelo HQ40d, cuyo funcionamiento consiste en la determinación de los parámetros de conductividad, oxígeno disuelto, temperatura y pH. Cuyos parámetros tienen los siguientes rangos o capacidades: conductividad (0 a 19.99 mS/cm), temperatura (0 a 60 °C) y pH (0 a 14).

En el monitoreo de parámetros hidrogeológicos de los acuíferos analizados, se optó por la utilización de un dispositivo multiparamétrico de la marca HACH, específicamente el estimado modelo HQ40d. Este aparato tecnológico, ejecutó sus funciones con exactitud, adentrándose en la determinación de parámetros críticos como la conductividad, el oxígeno disuelto, la temperatura y el pH. Cada parámetro desplegó su contenido dentro de rangos o capacidades distintas: la conductividad abarcando desde 0 hasta 19.99 mS/cm, la temperatura extendiéndose desde 0 hasta 60 °C, y el pH revelando sus matices en el espectro de 0 a 14. Esta armoniosa interacción de instrumentación avanzada allanó el camino para una exploración

exhaustiva de los parámetros de campo, contribuyendo en la comprensión hidrogeológica del análisis de los acuíferos investigados.

Se aplicaron correctamente y con precisión los procedimientos e instructivos normalizados establecidos para la recolección, almacenamiento y traslado de las muestras de agua subterránea hasta el laboratorio para las mediciones ambientales según normativa vigente, vinculantes a la utilización del agua subterránea con fines agrícolas. Esta metodología rigurosa, garantizó la integridad y representatividad de las muestras, culminando en una contribución invaluable al entendimiento ambiental y a la aplicación sostenible del recurso hídrico subterráneo. Efectuadas las coordinaciones necesarias, vinculantes a la autorización y permisos para el ingreso a los predios rurales privados donde se ubican las estaciones de bombeo analizadas, se procedió a georreferenciar los pozos profundos desde donde se extrajo las muestras de los acuíferos.

Todas las muestras fueron debidamente identificadas y etiquetadas con el fin de prevenir cualquier confusión o pérdida de trazabilidad durante su proceso de identificación. El etiquetado se llevó a cabo antes de tomar la muestra, utilizando marcadores o plumones indelebles de un grosor adecuado. Las etiquetas se colocaron en el centro de cada frasco, asegurándose de protegerlas posteriormente con cinta adhesiva. Además, se realizó una verificación para asegurarse de que las etiquetas estuvieran firmemente adheridas al recipiente, con el objetivo de evitar la pérdida de información e identificación de las muestras. Posteriormente, las muestras se almacenaron verticalmente en un cooler, acompañadas de suficientes refrigerantes para mantener la temperatura de preservación necesaria. Con el propósito de preservar la integridad de las muestras, se procuró enviarlas al laboratorio tan pronto como fuera posible.

**Tabla 66.***Cuadro resumen comparativo de la calidad del agua subterránea.*

Estación de Bombeo Muestreado		1. POZO IRHS – 045 (La Chimba N°1)	2. Pozo IRHS – 008 INIA N°1	3. Pozo IRHS – 009 INIA N°2	4. POZO IRHS-035 – La Cara			
Fecha y Hora de Muestreo		05/10/2023 11:15	06/10/2023 08:35	05/10/2023 15:15	06/10/2023 14:00			
ECA (*)		Categoría 3						
Parámetros	Unidad	D1: Riego de Vegetales		D2: Bebida de Animales	Resultados			
		Agua para riego no restringido	Agua para riego restringido	Bebida de Animales				
Coliformes Fecales o Termotolerables (NMP)	NMP/100m L	1000	2000	1000	27.0	17.0	9200.0	11.0
Escherichia coli	NMP/100m L	1000	**	**	<1.8	14.0	3500.0	4.5
Huevos helminthos	NMP/100m L	1	1	**	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0
Aldicarb (plaguicida)	µg/L	1		11	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
Aceites y grasas	mg/L	5		10	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50
Alcalinidad por bicarbonatos	mg/L	518		**	279.82	185.94	192.33	116.20
Color	PT/Co	100(a)		100(a)	<5.0	<5.0	<5.0	6.9
Cianuro wad	mg/L	0.1		0.1	<0.0030	<0.0030	<0.0030	<0.0030
Conductividad	µS/cm	2500		5000	1203.0	1046.0	1031.0	3026.0
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥4		≥5	4.16	4.13	3.20	2.45
pH	Unidad pH	6.5 - 8.5		6.5 - 8.4	6.33	6.14	6.23	7.80
Temperatura	°C	Δ3		Δ3	22.0	20.6	23.4	22.2



Estación de Bombeo Muestreado				1. POZO IRHS – 045 (La Chimba N°1)	2. Pozo IRHS – 008 INIA N°1	3. Pozo IRHS – 009 INIA N°2	4. POZO IRHS-035 – La Cara
Fecha y Hora de Muestreo				05/10/2023 11:15	06/10/2023 08:35	05/10/2023 15:15	06/10/2023 14:00
ECA (*) Categoría 3							
Parámetros	Unidad	D1: Riego de Vegetales		D2: Bebida de Animales	Resultados		
		Agua para riego no restringido	Agua para riego restringido	Bebida de Animales			
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	mg/L	15	15	<2.0	<2.0	<2.0	3.8
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	40	40	<5.0	<5.0	<5.0	9.2
Detergentes	mg/L	0.2	0.5	<0.020	<0.020	<0.020	<0.020
Fenol	mg/L	0.002	0.01	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Bifenilos Policlorados PCBs (como aroclores)	µg/L	0.04	0.045	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
<b>ANIONES</b>							
Cloruro	mg/L	500	**	105.7	84.5	88.0	<b>675.4</b>
Fluoruro	mg/L	1	**	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20
Nitrato	mg/L	--	--	14.57	26.16	21.90	0.62
Nitrito	mg/L	10	10	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Sulfato	mg/L	1000	1000	251.6	233.1	240.5	720.9
<b>PESTICIDAS ORGANOCOLORADOS</b>							
4,4 - DDT	µg/L	0.001	30	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010
Aldrin	µg/L	0.004	0.7	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010
Clordano (total de isómeros)	µg/L	0.006	7	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010
Dieldrin	µg/L	0.5	0.5	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010

Estación de Bombeo Muestreado				1. POZO IRHS – 045 (La Chimba N°1)	2. Pozo IRHS – 008 INIA N°1	3. Pozo IRHS – 009 INIA N°2	4. POZO IRHS-035 – La Cara
Fecha y Hora de Muestreo				05/10/2023 11:15	06/10/2023 08:35	05/10/2023 15:15	06/10/2023 14:00
ECA (*) Categoría 3							
Parámetros	Unidad	D1: Riego de Vegetales		D2: Bebida de Animales	Resultados		
		Agua para riego no restringido	Agua para riego restringido	Bebida de Animales			
Endosulfan I	µg/L	0.01	0.01	0.01	<0.0010	<0.0010	<0.0010
Endosulfan II	µg/L	0.01	0.01	0.01	<0.0010	<0.0010	<0.0010
Endrin	µg/L	0.004	0.2	0.2	<0.0010	<0.0010	<0.0010
Heptacloro + Heptacloro epóxido	µg/L	0.01	0.03	0.03	<0.0010	<0.0010	<0.0010
Lindano	µg/L	4	4	4	<0.0010	<0.0010	<0.0010
<b>PESTICIDAS ORGANOFOSFORADOS</b>							
Paration	µg/L	35	35	35	<0.002	<0.002	<0.002
<b>METALES TOTALES</b>							
Aluminio	mg/L	5	5	5	0.045	0.043	0.031
Arsénico	mg/L	0.1	0.2	0.2	<0.0010	<0.0010	<0.0010
Bario	mg/L	0.7	**	**	0.13310	0.12020	0.08490
Berilio	mg/L	0.1	0.1	0.1	<0.0003	<0.0003	<0.0003
Boro	mg/L	1	5	5	1.2654	0.9546	0.8706
Cadmio	mg/L	0.01	0.05	0.05	<0.0002	<0.0002	<0.0002
Cobalto	mg/L	0.05	1	1	<0.0020	<0.0020	<0.0020
Cobre	mg/L	0.2	0.5	0.5	0.0560	0.0663	0.0399
Cromo	mg/L	0.1	1	1	<0.0003	<0.0003	<0.0003
Hierro	mg/L	5	**	**	0.135	0.394	0.128
Litio	mg/L	2.5	2.5	2.5	0.13170	0.07610	0.07450
Magnesio	mg/L	**	250	250	12.6357	16.1015	15.1244
Manganeso	mg/L	0.2	0.2	0.2	0.00860	0.01760	0.00770
Mercurio	mg/L	0.001	0.01	0.01	<0.00010 0	<0.00010 0	<0.00010 0
Niquel	mg/L	0.2	1	1	<0.0004	<0.0004	<0.0004
Plomo	mg/L	0.05	0.05	0.05	<0.0010	<0.0010	<0.0010
Selenio	mg/L	0.02	0.05	0.05	<0.002	<0.002	<0.002

Estación de Bombeo Muestreado		1. POZO IRHS – 045 (La Chimba N°1)	2. Pozo IRHS – 008 INIA N°1	3. Pozo IRHS – 009 INIA N°2	4. POZO IRHS-035 – La Cara		
Fecha y Hora de Muestreo		05/10/2023 11:15	06/10/2023 08:35	05/10/2023 15:15	06/10/2023 14:00		
ECA (*) Categoría 3							
Parámetros	Unidad	D1: Riego de Vegetales		D2: Bebida de Animales	Resultados		
		Agua para riego no restringido	Agua para riego restringido	Bebida de Animales			
Zinc	mg/L	<b>2</b>	<b>24</b>	0.0574	0.0559	0.0506	0.0471

(<) Por debajo del límite de cuantificación del método de Laboratorio

(\*) Valor referido al Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental de Agua

(\*\*) No aplica para la categoría

Nota: Los valores resaltados en **negrita (color rojo)** son aquellos que superan los límites de la legislación referenciada

Cuadro resumen comparativo de la calidad del agua subterránea según D.S. N° 004-2017-MINAM. (Fuente: ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L.)

Tras realizar el análisis preliminar de las muestras de agua subterránea, se obtuvieron los siguientes resultados:

Se determinó que los valores obtenidos para **Huevos helmintos, Aldicarb, Aceites y grasas, Cianuro wad, Detergentes, Fenal, Bifenilos Policlorados PCBs, Pesticidas Organoclorados (DOT, Aldrin, Clordano, Dieldrin, Endosulfan, Endrin, Heptacloro+Heptacloro epóxido, lindano) y Pesticidas Organofosforados (Paration)** en los puntos de muestreo pozo IRHS – 045, pozo IRHS – 008, pozo IRHS – 009 y pozo IRHS-035 son menores a los límites de cuantificación del método utilizado. Por lo tanto, se concluye que se **cumplen** con los estándares de calidad de agua establecidos para la Subcategoría 01: Riego de vegetales, y la Subcategoría 02: Bebida de animales, como se especifica en el D.S. N°004-2017-MINAM correspondiente a la Categoría 3.

Los resultados obtenidos para la **alcalinidad por bicarbonatos** fueron 185.94 mg/L, 192.33 mg/L, 116.20 mg/L y 279.82 mg/L para los puntos de muestreo pozo IRHS – 008 INIA N°1, pozo IRHS – 009 INIA N°2, pozo IRHS-035 – La Cara y pozo IRHS – 045 (La Chimba N°1), respectivamente. Según los resultados, se concluye que estos valores **cumplen** con el estándar de calidad de agua (518 mg/L) establecido para la Subcategoría D1: Riego de vegetales, tal como se especifica en el D.S. N°004-2017-MINAM correspondiente a la Categoría 3.

También se determinó que el resultado para el parámetro de **color** fue menor a 5 PT/Co (<5.0) para los puntos de muestreo pozo IRHS – 045 (La Chimba N°1), IRHS – 008 INIA N°1, pozo IRHS – 009 INIA N°2, mientras que para el pozo IRHS-035 – La Cara fue de 6.9 PT/Co (platino-cobalto o APHA, utilizado para medir líquidos con tonos ámbar, desde claros hasta oscuros). Basándose en estos resultados, se concluye que se **cumple** con el estándar de calidad de agua (100 PT/Co) establecido para la Subcategoría D1: Riego de vegetales, y la Subcategoría D2: Bebida de animales, según lo estipulado en el D.S. N°004-2017-MINAM correspondiente a la Categoría 3.

Después de realizar el análisis correspondiente, se determinó que el valor obtenido para la **demanda bioquímica de oxígeno** fue menor a 2 mg/L (<2.0) para los puntos de muestreo pozo IRHS – 045 (La Chimba N°1), IRHS – 008 INIA N°1, pozo IRHS – 009 INIA N°2, mientras que para el pozo IRHS-035 – La Cara fue de 3.8 mg/L. Según estos resultados, se concluye que se **cumple** con el estándar de calidad de agua (15 mg/L) establecido para la Subcategoría D1: Riego de vegetales, y la Subcategoría D2: Bebida de animales, según lo estipulado en el D.S. N°004-2017-MINAM correspondiente a la Categoría 3.

También se determinó que el valor obtenido para la **demanda química de oxígeno** fue inferior a 5 mg/L (<5.0) para los puntos de muestreo pozo IRHS – 045 (La Chimba N°1), IRHS – 008 INIA N°1, pozo IRHS – 009 INIA N°2, mientras que para el pozo IRHS-035 – La Cara fue de 9.2 mg/L. Con base en estos resultados, se concluye que **se cumplió** con el estándar de calidad de agua (40 mg/L) establecido para la Subcategoría D1: Riego de vegetales, y la Subcategoría D2: Bebida de

animales, de acuerdo con lo estipulado en el D.S. N°004-2017-MINAM correspondiente a la Categoría 3.

Así mismo, se determinó que los valores obtenidos para la **conductividad eléctrica** en los puntos de muestreo pozo IRHS – 045 (La Chimba N°1), IRHS – 008 INIA N°1 y pozo IRHS – 009 INIA N°2 fueron de 1,203.00  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , 1,046.00  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y 1,031.00  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , respectivamente. Con base en estos resultados, se concluye que **se cumplió** con el estándar de calidad de agua (2,500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) establecido para la Subcategoría D1: Riego de vegetales, y (5,000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) para la Subcategoría D2: Bebida de animales, de acuerdo con lo estipulado en el D.S. N°004-2017-MINAM correspondiente a la Categoría 3.

Tras llevar a cabo el análisis correspondiente, se obtuvo el siguiente valor de **pH** para el punto de muestreo. Se registraron valores de 7.8 para el pozo IRHS-035 – La Cara. Este valor **cumple** con el estándar de calidad de agua (6.5 - 8.5) establecido para la Subcategoría D1: Riego de vegetales, también alcanza el valor estándar (6.5 - 8.4) establecido para la Subcategoría D2: Bebida de animales, según lo establecido en el decreto supremo N° 004-2017-MINAM, correspondiente a la Categoría 3.

Después de llevar a cabo el análisis pertinente, se pudo establecer que los niveles de **Escherichia coli** en los pozos IRHS – 045 (La Chimba N°1), IRHS – 008 INIA N°1 y pozo IRHS-035 – La Cara fueron de menos de 1.8 NMP/100ml, 14 NMP/100ml y 4.5 NMP/100ml, respectivamente. Estos resultados **cumplen** los límites establecidos por el estándar de calidad de agua para la Subcategoría D1: Riego de vegetales, conforme al decreto supremo N° 004-2017-MINAM, perteneciente a la Categoría 3.

Tras realizar el análisis correspondiente, se determinó que los niveles de **coliformes fecales** en el pozo IRHS – 045 (La Chimba N°1), IRHS – 008 INIA N°1 y pozo IRHS-035 – La Cara fueron de 27 NMP/100ml, 17 NMP/100ml y 11 NMP/100ml respectivamente. Estos resultados se encontraron dentro de los límites establecidos (**cumple**) por el estándar de calidad de agua para la Subcategoría D1: Riego de vegetales, y la Subcategoría D2: Bebida de animales, según lo estipulado en el D.S. N°004-2017-MINAM Categoría 3.

Así mismo, se llegó a la conclusión de que los niveles de **fluoruro, nitrito y sulfato** en los pozos IRHS-045 (La Chimba N°1), IRHS-008 INIA N°1, IRHS-009 INIA N°2 y pozo IRHS-035 - La Cara, se sitúan por debajo del Estándar de Calidad Ambiental (ECA). Estos resultados **cumplen** con los estándares de calidad de agua establecidos para la Subcategoría D1: Riego de vegetales y Subcategoría D2: Bebida de animales según lo estipulado en el decreto supremo N° 004-2017-MINAM, correspondiente a la Categoría 3.

Después de llevar a cabo el análisis pertinente, se determinó que los niveles de **cloruro** en los pozos IRHS-045 (La Chimba N°1), IRHS-008 INIA N°1 y IRHS-009 INIA N°2 fueron de 105.7 mg/L, 84.5 mg/L y 88 mg/L respectivamente. Estos resultados se constataron estar por debajo del Estándar de Calidad Ambiental (ECA) establecido, que es de 500 mg/L, conforme a lo estipulado en el decreto supremo N° 004-2017-MINAM. Por ende, se concluye que los niveles de cloruro **cumplen** con los estándares de calidad de agua para la Subcategoría D1: Riego de vegetales y la Subcategoría D2: Bebida de animales, correspondientes a la Categoría 3.

Después del análisis, se determinó que los niveles de **Aluminio, Arsénico, Bario, Berilio, Cadmio, Cobalto, Cobre, Cromo, Litio, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Níquel, Plomo, Selenio y Zinc** en los pozos IRHS – 045 (La Chimba N°1), IRHS – 008 INIA N°1, IRHS – 009 INIA N°2 y pozo IRHS-035 – La Cara, se mantuvieron por debajo del Estándar de Calidad Ambiental (ECA). Por consiguiente, estos resultados **cumplen** con los criterios establecidos para la calidad del agua en la Subcategoría D1: Riego de vegetales y Subcategoría D2: Bebida de animales, según lo estipulado en el decreto supremo N° 004-2017-MINAM, correspondiente a la Categoría 3.

Después del análisis, se determinó que los niveles de **boro** en el pozo IRHS – 008 INIA N°1 y el pozo IRHS – 009 INIA N°2 arrojaron resultados de 0.9546 mg/L y 0.8706 mg/L respectivamente. Estos valores se sitúan por debajo del Estándar de Calidad Ambiental (ECA), confirmando que **cumplen** con el estándar de calidad de agua establecido para la Subcategoría D1: Riego de vegetales (1 mg/L) y

Subcategoría D2: Bebida de animales (5 mg/L), conforme al decreto supremo N° 004-2017-MINAM, correspondiente a la Categoría 3.

Los resultados obtenidos para la concentración de hierro en los pozos IRHS – 045 (La Chimba N°1), IRHS – 008 INIA N°1, IRHS – 009 INIA N°2 y pozo IRHS-035 – La Cara, arrojaron valores de 0.135 mg/L, 0.394 mg/L, 0.128 mg/L y 0.292 mg/L respectivamente. Estos resultados indican que las concentraciones de hierro están por debajo del Estándar de Calidad Ambiental (ECA), establecido en 5 mg/L. Por lo tanto, se confirma que **cumplen** con el estándar de calidad de agua establecido para la Subcategoría D1: Riego de vegetales, tal como se especifica en el decreto supremo N° 004-2017-MINAM, correspondiente a la Categoría 3.

El resultado obtenido para la **CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA** en el pozo IRHS-035 (La Cara) fue de 3026.0  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Este valor **se encuentra dentro del estándar** de calidad de agua (5000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) para la Subcategoría D2: Bebida de animales. No obstante, **no cumple** con el estándar (2500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) establecido para la Subcategoría D1: Riego de vegetales. Estos estándares están definidos en el decreto supremo N° 004-2017-MINAM, correspondiente a la Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales.

Tras el análisis, se obtuvieron los siguientes resultados para el **Oxígeno Disuelto** en los puntos de muestreo. Para el punto pozo IRHS – 008 INIA N° 01 se registró un valor de 4.13 mg/L, mientras que para el punto pozo IRHS – 045 (La Chimba N°1) fue de 4.16 mg/L. Estos valores **cumplen** con el estándar de calidad de agua ( $\geq 4$  mg/L) establecido para la Subcategoría D1: Riego de vegetales. Sin embargo, **no alcanzan** el estándar ( $\geq 5$  mg/L) definido para la Subcategoría D2: Bebida de animales, como se especifica en el decreto supremo N°004-2017-MINAM, correspondiente a la Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales.

Los resultados obtenidos para el **Oxígeno Disuelto** en los puntos de monitoreo. Se registraron valores de 3.20 mg/L y 2.45 mg/L para los puntos pozo IRHS – 009 INIA N°2 y pozo IRHS-035 – La Cara, respectivamente. Estos valores **no cumplen** con el estándar de calidad de agua ( $\geq 4$  mg/L) establecido para la Subcategoría D1: Riego de vegetales, **ni alcanzan** el estándar ( $\geq 5$  mg/L) establecido para la

Subcategoría D2: Bebida de animales, según lo establecido en el decreto supremo N° 004-2017-MINAM, correspondiente a la Categoría 3.

Tras llevar a cabo el análisis correspondiente, se obtuvieron los siguientes valores de **pH** para los puntos de muestreo. Se registraron valores de 6.14, 6.23 y 6.33 para los puntos pozo IRHS – 008 INIA N°1, pozo IRHS – 009 INIA N°2 y pozo IRHS – 045 (La Chimba N°1), respectivamente. Estos valores **no cumplen** con el estándar de calidad de agua (6.5 - 8.5) establecido para la Subcategoría D1: Riego de vegetales, **ni alcanzan** el estándar (6.5 - 8.4) establecido para la Subcategoría D2: Bebida de animales, según lo establecido en el decreto supremo N° 004-2017-MINAM, correspondiente a la Categoría 3.

El resultado obtenido para **coliformes fecales** en el pozo IRHS – 009 INIA N°2 fue de 9200 NMP/100ml. Este valor **no cumple** el estándar de calidad de agua establecido para la Subcategoría D1: Riego restringido de vegetales, y la Subcategoría D2: Bebida de animales, según lo especificado en el D.S. N°004-2017-MINAM Categoría 3, el cual era de 2000 NMP/100ml y 1000 NMP/100ml respectivamente.

Tras el análisis efectuado, se determinó que el valor de **Escherichia coli** para el pozo IRHS – 009 INIA N°2 fue de 3500.0 NMP/100ml. Este valor **no cumple** el estándar de calidad de agua (1000 NMP/100ml) establecido para la Subcategoría D1: Riego de vegetales, según lo especificado en el decreto supremo N° 004-2017-MINAM, correspondiente a la Categoría 3.

Después de realizar el análisis, se determinó que el valor de **Cloruro** en el punto pozo IRHS-035 – La Cara fue de 675.4 mg/L. Este valor **no cumple** el estándar de calidad de agua (500 mg/L) establecido para la Subcategoría D1: Riego de vegetales, según lo estipulado en el decreto supremo N° 004-2017-MINAM, correspondiente a la Categoría 3.

Después de llevar a cabo el análisis correspondiente, se determinó que el valor de **Boro** para los puntos de muestreo pozo IRHS-035 – La Cara y pozo IRHS – 045 (La Chimba N°1) fue de 1.2677 mg/L y 1.2654 mg/L, respectivamente. Estos valores **no cumplen** con los estándares de calidad de agua establecidos para la



Subcategoría D1: Riego de vegetales (1 mg/L) y la Subcategoría D2: Bebida de animales (5 mg/L), tal como se especifica en el decreto supremo N° 004-2017-MINAM, correspondiente a la Categoría 3.

Por consiguiente, al obtener resultados concluyentes del análisis hidrogeológico, se logró cumplir con el **PRIMER OBJETIVO ESPECÍFICO (1°)** al demostrar cómo los parámetros y consideraciones utilizados en la evaluación hidrogeológica de pozos profundos, encargados de la captación de aguas subterráneas, ejercen influencia en el diseño hidráulico mediante el análisis de colapso y compresión, dándonos un panorama más amplio; Considerando que el pozo **IRHS – 045 (La Chimba N°1)** tenía una profundidad inicial de 40 metros, el análisis geofísico reveló que el estrato A presentaba niveles georesistivos entre 150 y 1500 Ohm/m, indicativos de materiales superficiales, el estrato B mostraba resistividades inferiores a 140 Ohm/m, sugiriendo la presencia de depósitos fluvioaluviales saturados, el estrato C exhibía niveles georesistivos superiores a 1500 Ohm/m, lo que podría indicar la presencia de un posible basamento no permeable y compacto, basándose en esta información, se determinó que la perforación podía continuar hasta los 60 metros de profundidad, donde se encontraba dicho basamento no permeable compacto, caudal de 15 l/s, nivel estático de 22 m, nivel dinámico de 34.22 m, tiempo de recuperación del pozo 240 minutos, diámetro del pozo 18 in, transmisividad de 29.07 m<sup>2</sup>/día, coeficiente de almacenamiento de 68.37, conductividad hidráulica 1.615 m/día (1.87E-05 m/s), para 24 horas de bombeo se tuvo un radio de influencia de 16.21 m, concluyéndose de que se trata de un acuífero libre y considerando los resultados del análisis de la calidad del agua, es necesaria la utilización de una tubería para el ademe de acero de bajo carbono; Además el pozo **IRHS – 008 INIA N°1** tenía una profundidad inicial de 20 metros, el análisis geofísico reveló que el estrato A presentaba niveles georesistivos con valores inferiores a 140 Ohm/m indicativo de materiales superficiales saturados, el estrato B mostraba resistividades moderadas que van desde 140 hasta 250 Ohm/m sugiriendo la presencia de depósitos fluvioaluviales saturados, el estrato C exhibía niveles georesistivos bajos que oscilan entre 70 y 150 Ohm/m indicativo de material aluvial o fluvioaluvial saturado, basándose en esta información, se determinó que la perforación podía continuar hasta los 80 metros de profundidad, valga precisar que

la TRE no halló basamento no permeable, caudal de 15 l/s, nivel estático de 1.35 m, nivel dinámico de 7.12 m, tiempo de recuperación del pozo 210 minutos, diámetro del pozo 18 in, transmisividad de 115.34 m<sup>2</sup>/día, coeficiente de almacenamiento de 2.17, conductividad hidráulica 6.185 m/día (7.16E-05 m/s), para 24 horas de bombeo se tuvo un radio de influencia de 10.94 m, concluyéndose de que se trata de un acuífero libre y considerando los resultados del análisis de la calidad del agua, es necesaria la utilización de una tubería para el ademe de acero inoxidable; También el pozo **IRHS – 009 INIA N°2** tenía una profundidad inicial de 40 metros, el análisis geofísico reveló que el estrato A mostraba valores de resistividad eléctrica que oscilaban entre 150 y 1500 Ohm/m, lo que indicaba la presencia de materiales superficiales, en cuanto al estrato B, se observaron resistividades inferiores a 140 Ohm/m, sugiriendo la existencia de depósitos fluvioaluviales saturados, el estrato C exhibía niveles de resistividad eléctrica bajos, en el rango de 70 a 150 Ohm/m, lo que señalaba la presencia de material aluvial o fluvioaluvial saturado, basándose en esta información, se determinó que la perforación podía continuar hasta los 100 metros de profundidad, valga precisar que la TRE no halló basamento no permeable, caudal de 35 l/s, nivel estático de 2.07 m, nivel dinámico de 18.82 m, tiempo de recuperación del pozo 780 minutos, diámetro del pozo 18 in, transmisividad de 70.90 m<sup>2</sup>/día, coeficiente de almacenamiento de 36.14, conductividad hidráulica 1.87 m/día (2.16E-05 m/s), para 24 horas de bombeo se tuvo un radio de influencia de 2.82 m, concluyéndose de que se trata de un acuífero libre y considerando los resultados del análisis de la calidad del agua, es necesaria la utilización de una tubería para el ademe de acero de bajo carbono; Así pues el pozo **IRHS-035 – La Cara** tenía una profundidad inicial de 38 metros, el análisis geofísico reveló que el estrato A mostraba niveles georesistivos entre 150 y 1500 Ohm/m, indicativos de materiales superficiales, el estrato B mostraba resistividades inferiores a 140 Ohm/m, sugiriendo la presencia de depósitos fluvioaluviales saturados, el estrato C exhibía niveles georesistivos superiores a 1500 Ohm/m, lo que podría indicar la presencia de un posible basamento no permeable y compacto, basándose en esta información, se determinó que la perforación podía continuar hasta los 50 metros de profundidad, donde se encontraba dicho basamento no permeable compacto, caudal de 45 l/s, nivel estático de 4.70 m, nivel dinámico de 24.62 m, tiempo de recuperación del

pozo 780 minutos, diámetro del pozo 14.5 in, transmisividad de 121.60 m<sup>2</sup>/día, coeficiente de almacenamiento de 0.3498, conductividad hidráulica 3.652 m/día (4.23E-05 m/s), para 24 horas de bombeo se tuvo un radio de influencia de 18.35 m, concluyéndose de que se trata de un acuífero libre y considerando los resultados del análisis de la calidad del agua, es necesaria la utilización de una tubería para el ademe de acero inoxidable.

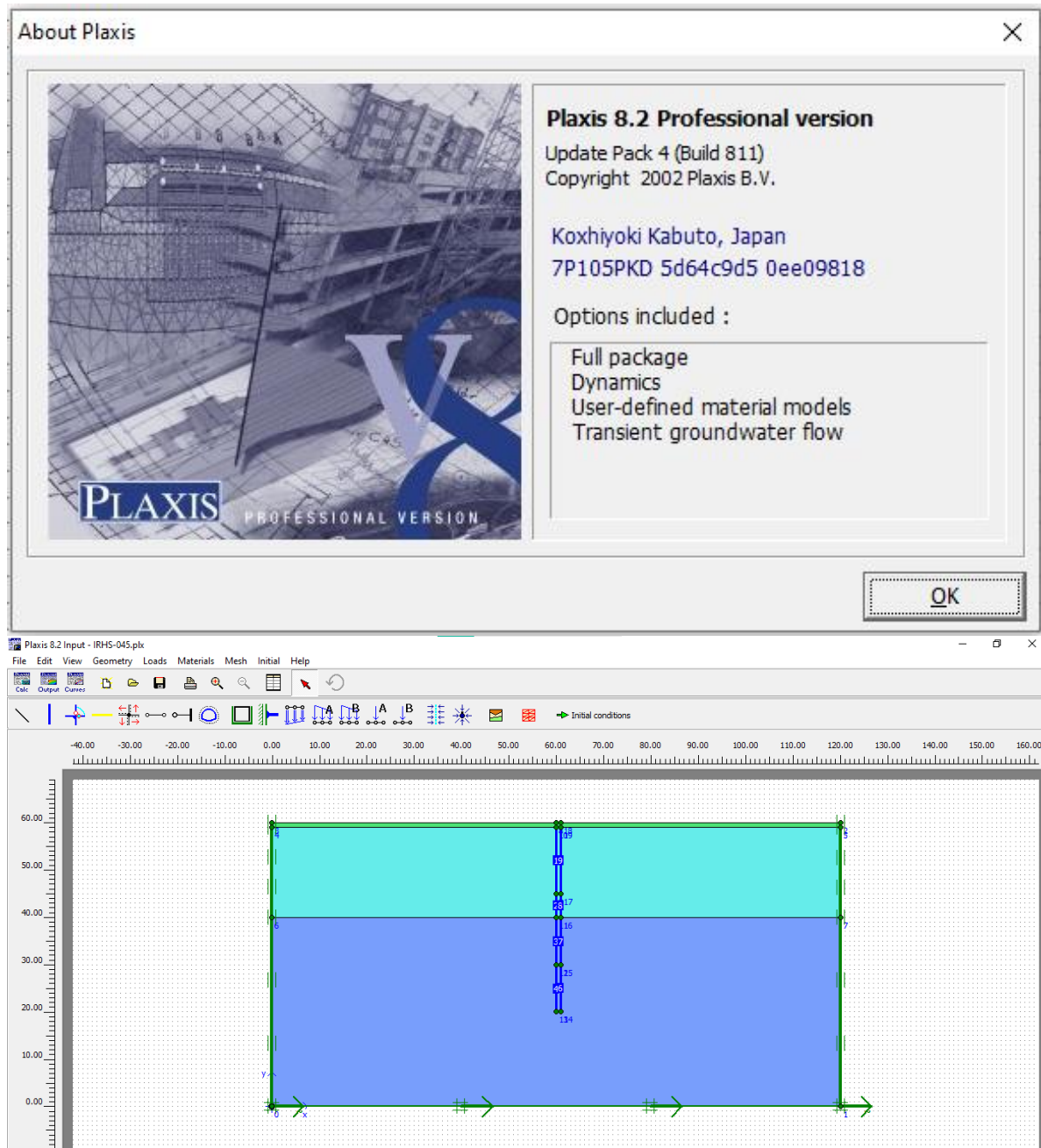
Siendo estos datos y pruebas hidrogeológicas concluyentes, necesarios para proseguir con el diseño hidráulico por colapso y diseño hidráulico por compresión. Este respaldo evidencia la importancia crítica de abordar minuciosamente estos factores durante la planificación y ejecución de proyectos relacionados con la explotación de aguas subterráneas en pozos profundos.

Referente a la selección del material de la tubería, que para el pozo IRHS – 008 INIA N°1 y pozo IRHS-035 – La Cara es de **acero inoxidable**, mientras que para el pozo IRHS – 045 (La Chimba N°1) y pozo IRHS – 009 INIA N°2 es de **acero de bajo carbono**, se tuvo en consideración los resultados del análisis de la calidad del agua y los requerimientos que los mismos ameritan; Puesto que, la probabilidad de oxidación de metales aumenta con niveles más altos de **conductividad eléctrica** del agua, indicando la presencia de iones que podrían facilitar este proceso, en el caso del pozo IRHS-035 – La Cara, se registraron valores de 3026 microsiemens por centímetro (µS/cm). Asimismo, un **pH** bajo, en el caso del pozo IRHS – 008 INIA N°1 con un valor de 6.14, puede aumentar la probabilidad de oxidación de ciertos metales, la presencia de **oxígeno disuelto** en el agua subterránea también puede favorecer la oxidación de metales, como el hierro, situación observada en el pozo IRHS-035 La Cara y pozo IRHS – 008 INIA N°1; Respecto al **color**, la presencia de ciertos compuestos orgánicos que causan coloración en el agua puede estar relacionada con la oxidación de metales, como se evidenció en el pozo IRHS-035 La Cara, que mostró un valor de 6.9 unidades de color Pt/Co. La presencia de **boro** en el agua subterránea puede provocar corrosión y formación de incrustaciones en las tuberías metálicas del pozo con el paso del tiempo, estos efectos adversos pueden debilitar las tuberías y eventualmente causar fugas, roturas u otros daños estructurales, este fenómeno podría afectar al pozo IRHS-035 y en el Pozo IRHS – 008, donde se registraron concentraciones de boro de

1.2677 mg/L y 1.2654 mg/L respectivamente. El **magnesio** presente en el agua subterránea puede participar en la formación de incrustaciones en las tuberías, esto se evidenció en el caso del pozo IRHS – 008 INIA N°1, donde se registró la concentración más alta de magnesio, alcanzando un valor de 16.1015 mg/L, en comparación con otras muestras analizadas. La presencia de **cloruro** en el agua subterránea puede generar diversos problemas de corrosión en las tuberías metálicas del pozo, lo cual podría comprometer su integridad estructural y afectar su funcionamiento a largo plazo. Esta situación se observó específicamente en el Pozo IRHS-035 – La Cara, donde se registró el valor más alto de cloruro entre las muestras analizadas, alcanzando los 675.4 mg/L. La presencia de **nitrito** en el agua subterránea puede provocar corrosión acelerada en las tuberías, así como la formación de productos corrosivos y daños en las superficies internas de estas tuberías, esto se evidenció en el Pozo IRHS – 008 INIA N°1, donde se detectó el valor más alto de nitrito entre las muestras analizadas, alcanzando los 26.16 mg/L.

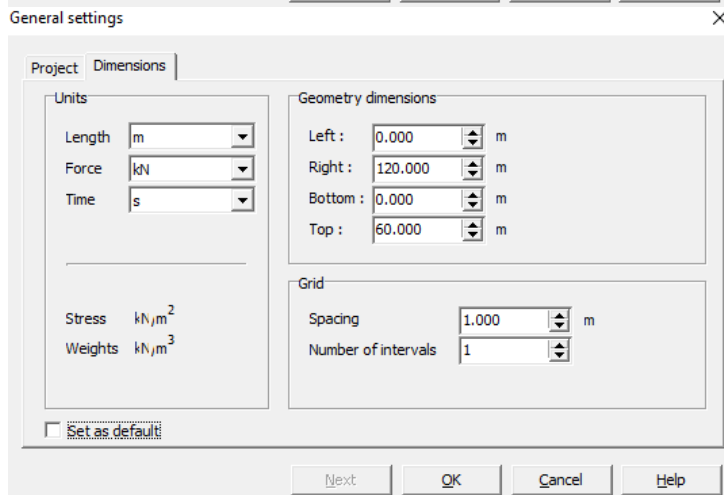
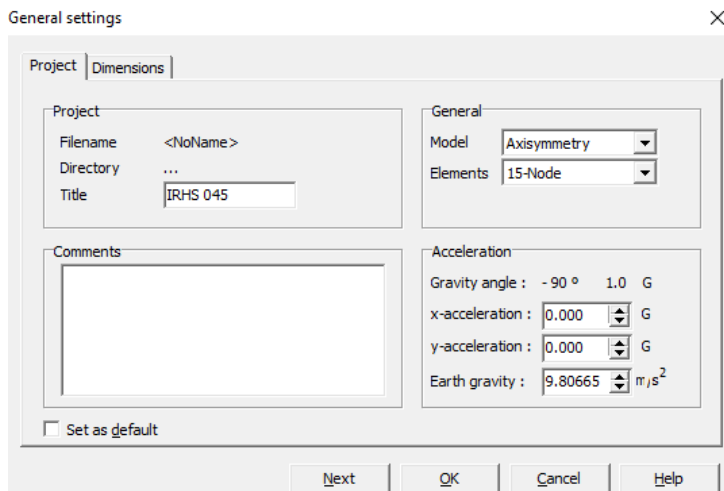
En el diseño para prevenir el **colapso** debido a fuerzas dinámicas importantes, se utilizó el software **PLAXIS**, una herramienta informática especializada en el análisis de deformaciones y estabilidad de problemas geotécnicos a través del método de elementos finitos bidimensionales. Este programa permite simular situaciones de deformación plana o con simetría axial, proporcionando una evaluación precisa y detallada de la respuesta del suelo frente a cargas dinámicas.

**Figura 174.**  
*Entorno PLAXIS.*



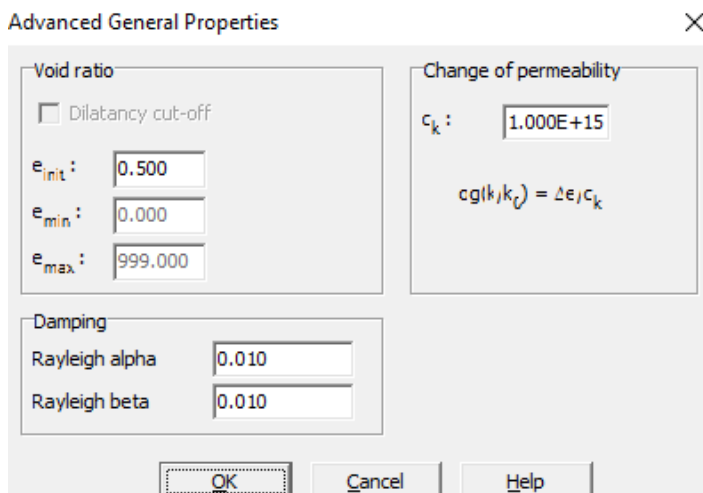
Fuente: PLAXIS

**Figura 175.**  
*Configuración general - pozo IRHS – 045 (La Chimba N°1).*



Fuente: PLAXIS.

**Figura 176.**  
*Amortiguación del terreno - pozo IRHS – 045 (La Chimba N°1).*



Coeficiente de Rayleigh  $\alpha$  y coeficiente de Rayleigh  $\beta$  los cuales se van ajustando hasta que las frecuencias calculadas se acerquen a las frecuencias observadas (Frecuencias Naturales + Modos de vibración). Fuente: PLAXIS.

### Figura 177.

Características del primer estrato - pozo IRHS – 045 (La Chimba N°1).

Linear elastic - Suelo 0-1 m

General | Parameters | Interfaces

Material Set

Identification: Suelo 0-1 m

Material model: Linear elastic

Material type: Drained

General properties

$\gamma_{unsat}$ : 15.300 kN/m<sup>3</sup>

$\gamma_{sat}$ : 16.570 kN/m<sup>3</sup>

Comments

Permeability

$k_x$ : 1.870E-05 m/s

$k_y$ : 1.870E-05 m/s

Advanced...

Next Ok Cancel Help

Introducimos la **conductividad hidráulica** hallada en las pruebas de bombeo. La tasa o ratio de anisotropía para la conductividad hidráulica (acuifero isotrópico) es **igual en x i y**. Un **suelo elástico lineal** se define como aquel que muestra un comportamiento elástico, donde la relación entre el esfuerzo aplicado y la deformación resultante sigue la ley de Hooke. Esto implica que la deformación es proporcional y reversible dentro de ciertos límites de carga: al aplicar una carga al suelo, este se deforma, pero al retirar la carga, el suelo vuelve a su forma original sin deformaciones permanentes. Sin embargo, este comportamiento es válido únicamente dentro del rango elástico del suelo, caracterizado por una respuesta lineal entre el esfuerzo y la deformación. Se define como **suelo drenado** o escurrido aquel en el cual el agua puede moverse sin restricciones a través de él, facilitando la evacuación de los excesos de agua de manera efectiva. Estrato que va, desde el nivel del terreno natural hasta 1 metro de profundidad. Fuente: PLAXIS.

### Figura 178.

Esfuerzo del primer estrato del primer estrato - pozo IRHS – 045 (La Chimba N°1).

Linear elastic - Suelo 0-1

General | Parameters | Interfaces

Strength

Rigid

Manual

$R_{inter}$ : 0.670

Real interface thickness

$\delta_{inter}$ : 0.000

Next Ok Cancel Help

Para  $R_{intermedio} = 2/3$ , porque hay desplazamiento relativo. Fuente: PLAXIS.

**Figura 179.**

Características del segundo estrato - pozo IRHS – 045 (La Chimba N°1).

Linear elastic - Suelo 1-20 m

Property	Value	Unit
Identification	Suelo 1-20 m	
Material model	Linear elastic	
Material type	Drained	
$\gamma_{unsat}$	16.670	kN/m <sup>3</sup>
$\gamma_{sat}$	19.120	kN/m <sup>3</sup>
$k_x$	1.870E-05	m/s
$k_y$	1.870E-05	m/s

Estrato que va, desde 1 metro hasta los 20 metros de profundidad. Fuente: PLAXIS.

**Figura 180.**

Características del tercer estrato - pozo IRHS – 045 (La Chimba N°1).

Linear elastic - Suelo 20-60 m

Property	Value	Unit
Identification	Suelo 20-60 m	
Material model	Linear elastic	
Material type	Drained	
$\gamma_{unsat}$	18.930	kN/m <sup>3</sup>
$\gamma_{sat}$	21.080	kN/m <sup>3</sup>
$k_x$	1.870E-05	m/s
$k_y$	1.870E-05	m/s

Estrato que va, desde 20 metros hasta los 60 metros de profundidad. Fuente: PLAXIS.



Para el cálculo de las propiedades del material utilizado en el filtro y tubería (ademe) se utilizaron los siguientes datos:

**Tabla 67.**

*Propiedad de la tubería según materiales.*

Material	Módulo de Elasticidad (N/m <sup>2</sup> )	Módulo de Poisson (ν)
Acero al Carbono	2.10E+11	(0.27 - 0.30)
Acero Inoxidable	2E+11	(0.28 - 0.30)
PVC (Policloruro de Vinilo)	2.75E+09	(0.35 - 0.40)
Fibra de Vidrio	8.00E+10	(0.2 - 0.3)

**Tabla 68.**

*Densidad según tipo de material.*

Material	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )
Acero al Carbono	7850
Acero Inoxidable	8030
PVC (Policloruro de Vinilo)	1420
Fibra de Vidrio	2500

Como, el peso de la tubería por metro es igual al área de la sección transversal multiplicado por la densidad del material, y el momento de inercia está definido por la variación de los diámetros, para este caso en especial, se tendría:

$$Peso = Area * Densidad \quad \text{Ecuación ( 113 )}$$

$$I = \frac{\pi}{4} * (D_{ext.}^4 - D_{int.}^4) \quad \text{Ecuación ( 114 )}$$

Considerando que las estructuras subterráneas pueden comportarse dinámicamente de manera distinta a las que están sobre la superficie debido a su interacción con el suelo circundante, se comenzó utilizando valores estándar previamente empleados en análisis dinámicos de suelos y estructuras enterradas.

COEFICIENTE DE RAYLEIGH	VALOR
Rayleigh alpha (α)	0.005 – 0.02
Rayleigh beta (β)	0.01 – 0.2

Para la **tubería** de acero al carbono de 18 pulgadas, se tendría:

**Tabla 69.**

*Propiedades de la tubería ciega en pozo IRHS – 045.*

DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDAD DE MEDIDA
Espesor:	6.35	mm
Diámetro Interno:	18	pulgadas
Diámetro Externo:	0.469900914	m
Módulo de Elasticidad (E):	2.10E+11	N/m <sup>2</sup>
Poisson (v):	0.28	
Sección Transversal (A):	0.00924743	m <sup>2</sup>
Momento de Inercia (I):	0.003974911	m <sup>4</sup>
EA:	1,941,960.24	kN
EI:	834,731.31	kN*m <sup>2</sup>
Densidad:	77.04	kN/m <sup>3</sup>
Peso revestimiento (w):	0.712387865	kN/m
Coefficiente de Rayleigh $\alpha$ :	0.01	
Coefficiente de Rayleigh $\beta$ :	0.01	

*Fuente: Elaboración propia.*

Para el filtro de acero al carbono de 18 pulgadas, se tendría:

**Tabla 70.**

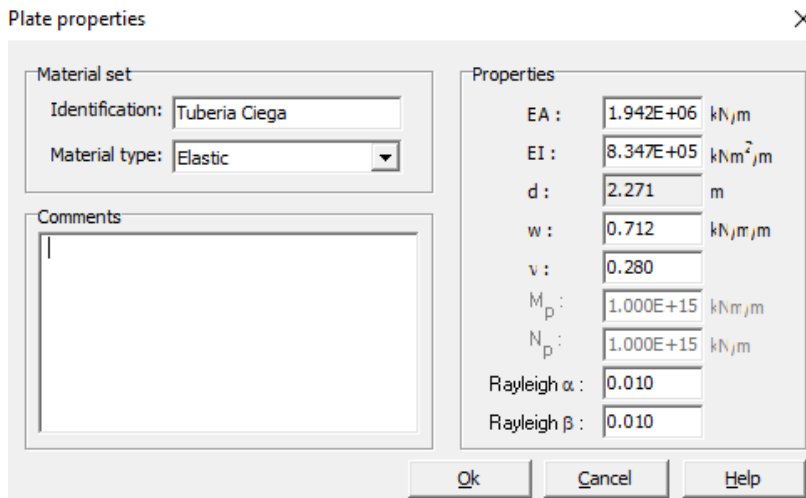
*Propiedades del filtro (tubería ranurada) en pozo IRHS – 045.*

DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDAD DE MEDIDA
Espesor:	6.35	mm
Diámetro Interno:	18	pulgadas
Diámetro Externo:	0.469900914	m
Módulo de Elasticidad (E):	1.89E+11	N/m <sup>2</sup>
Poisson (v):	0.27	
Sección Transversal (A):	0.00924743	m <sup>2</sup>
Momento de Inercia (I):	0.003974911	m <sup>4</sup>
EA:	1,747,764.22	kN
EI:	751,258.18	kN*m <sup>2</sup>
Densidad:	69.33	kN/m <sup>3</sup>
Peso revestimiento (w):	0.641149078	kN/m
Coefficiente de Rayleigh $\alpha$ :	0.01	
Coefficiente de Rayleigh $\beta$ :	0.01	

*Fuente: Elaboración propia.*

### Figura 181.

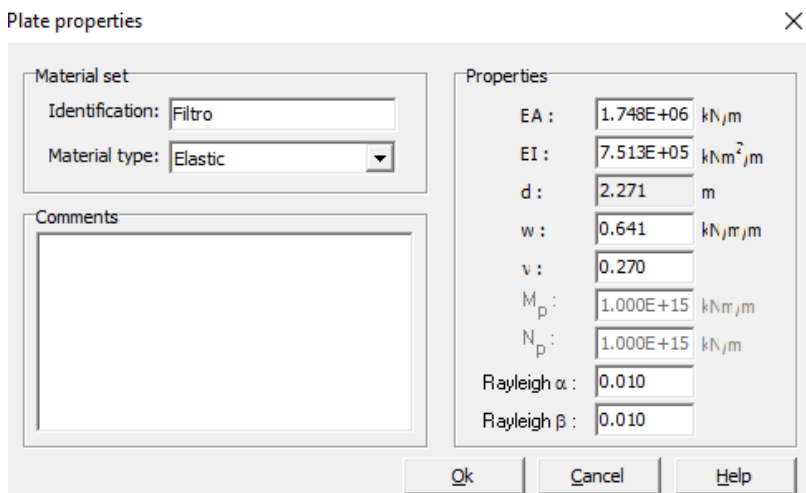
Propiedades de la tubería ciega.



Llenado de datos en el programa. Fuente: software PLAXIS.

### Figura 182.

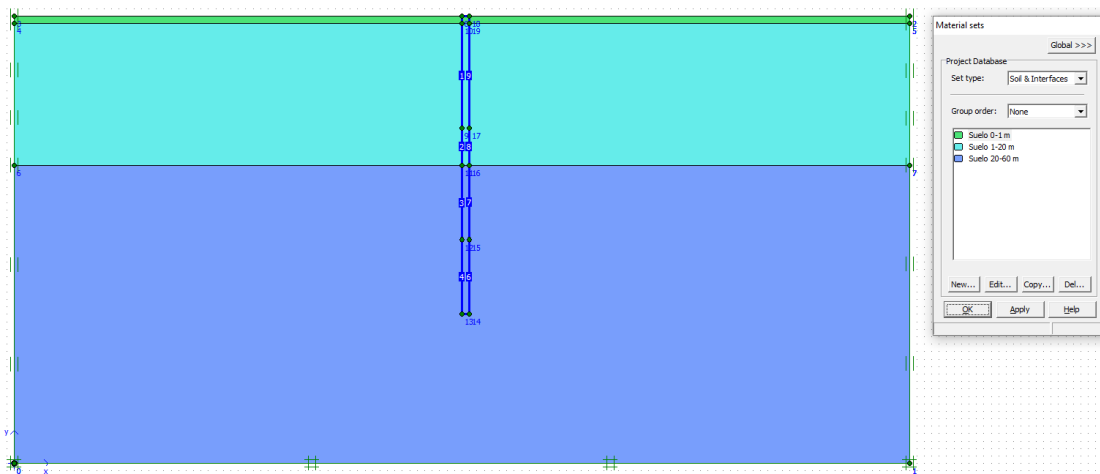
Propiedades del filtro (tubería ranurada).



Llenado de datos en el programa. Fuente: software PLAXIS.

### Figura 183.

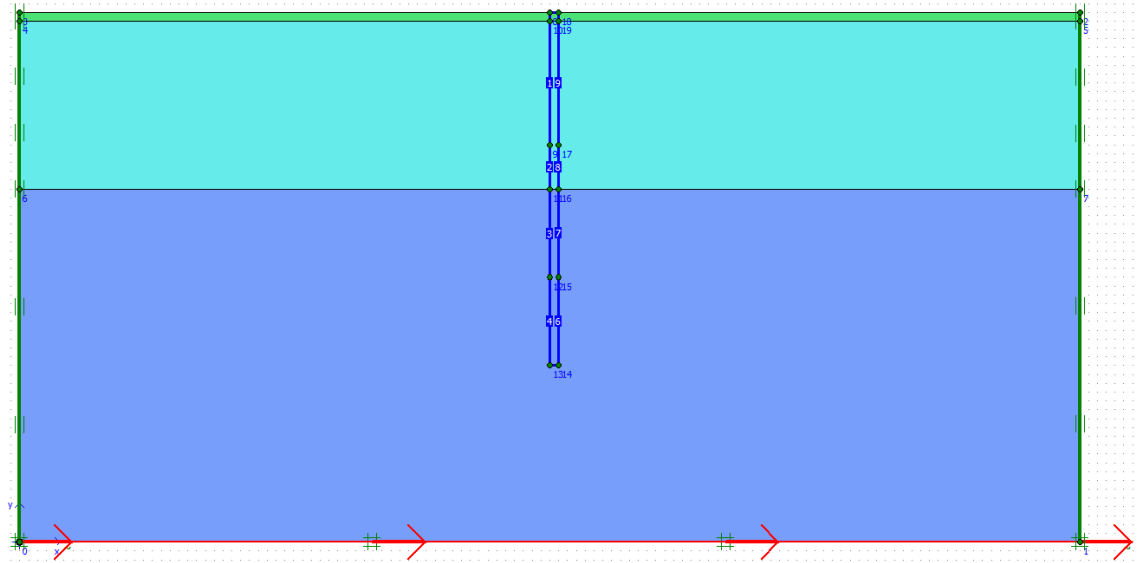
Designación de los materiales para la tubería y el terreno en IRHS – 045.



Fuente: software PLAXIS

**Figura 184.**

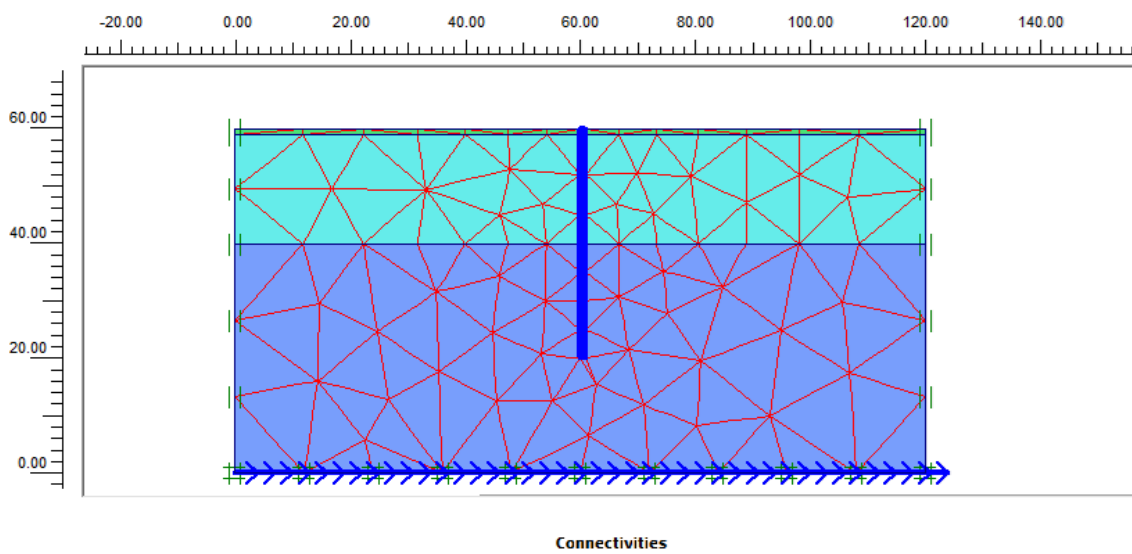
*Carga sísmica y límites espaciales del terremoto en los estratos del terreno (IRHS – 045).*



*Se procedió a establecer la carga sísmica y los límites espaciales del terremoto. Fuente: software PLAXIS.*

**Figura 185.**

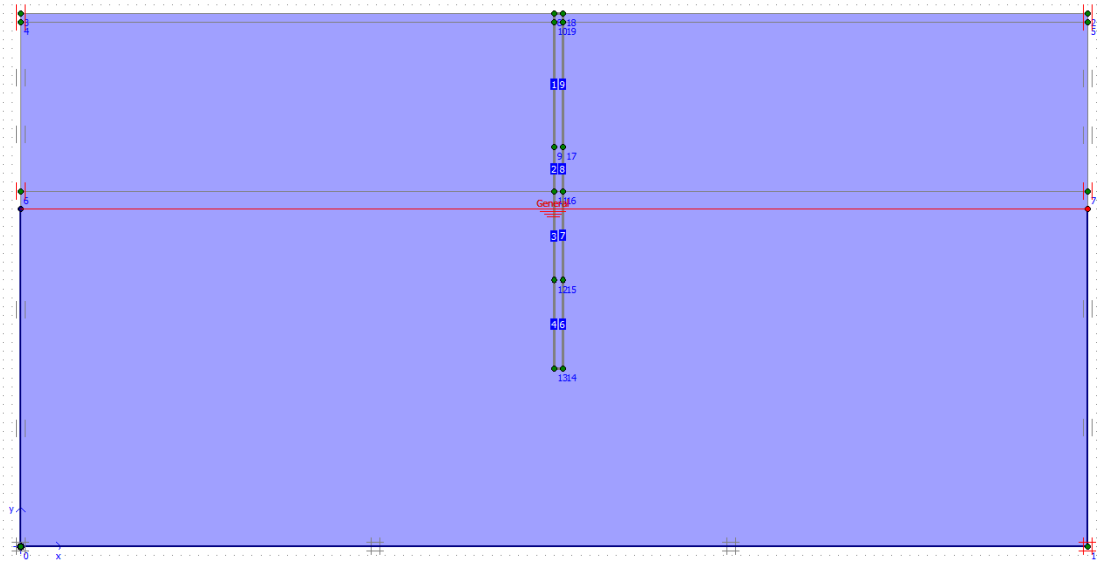
*Malla de elementos finitos en (IRHS – 045).*



*Cargando las mallas para el análisis matricial (malla de elementos finitos). Fuente: software PLAXIS.*

**Figura 186.**

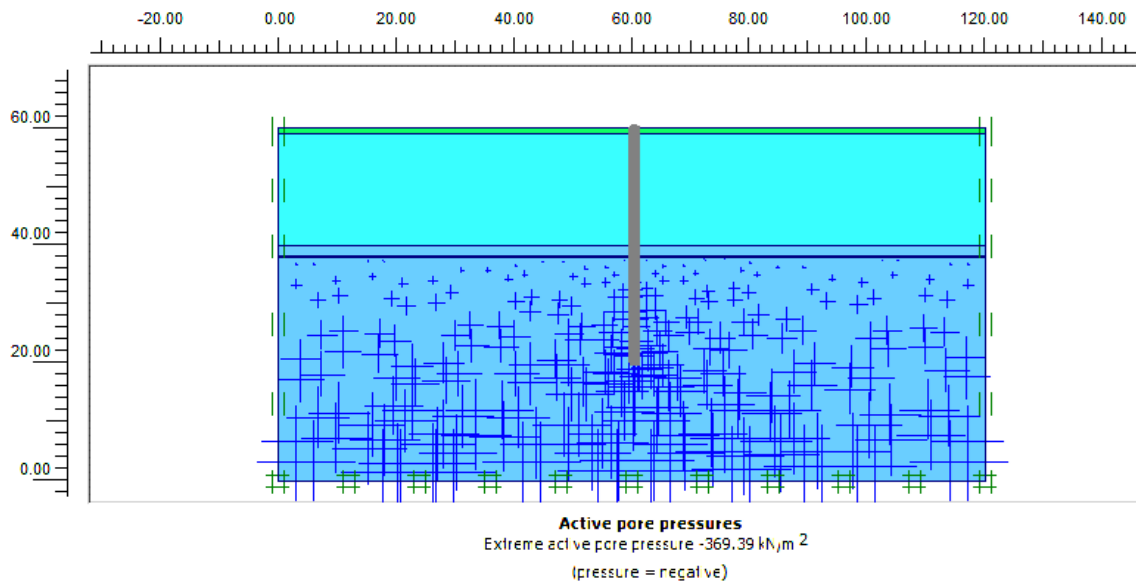
Nivel estático en IRHS – 045.



Colocación de nivel estático pozo (nivel freático entorno del pozo). Fuente: software PLAXIS.

**Figura 187.**

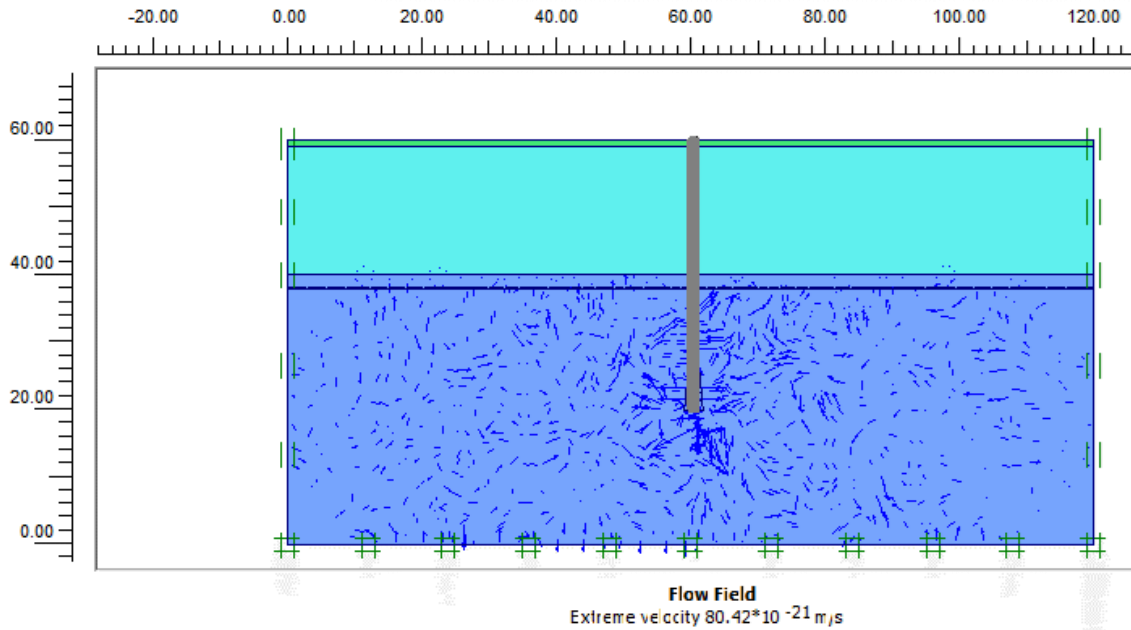
Presión de poros en IRHS – 045



Presión de poros (presión que ejerce el agua)  $-369.39 \text{ kN/m}^2$  en IRHS – 045. Fuente: software PLAXIS.

**Figura 188.**

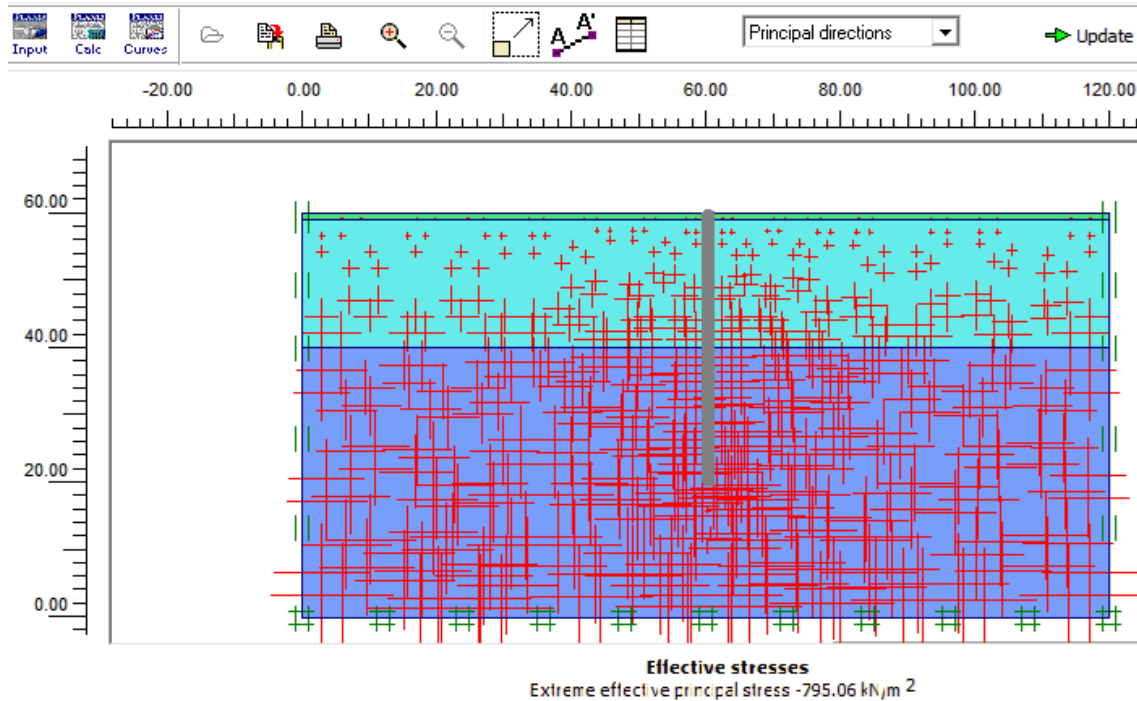
Movimiento del agua subterránea en IRHS – 045.



Velocidad del agua subterránea (condiciones estáticas) de  $80.42 \times 10^{-21}$  m/s en IRHS – 045. Fuente: PLAXIS.

**Figura 189.**

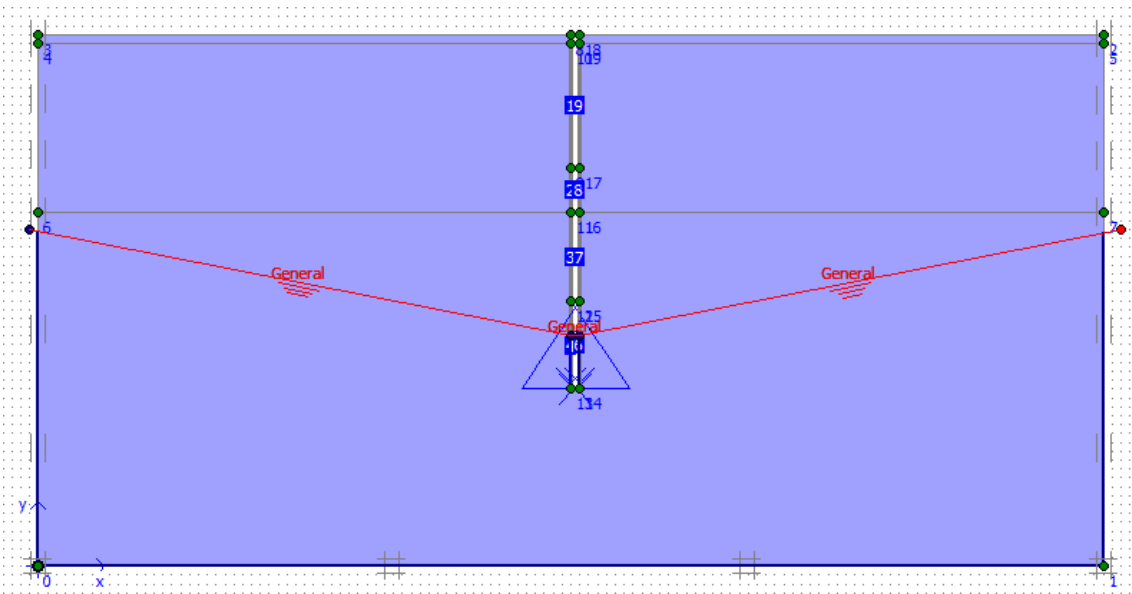
Presión efectiva en IRHS – 045.



Se generó una presión efectiva de -795.06 kN/m<sup>2</sup> en el pozo IRHS – 045. Fuente: PLAXIS.

### Figura 190.

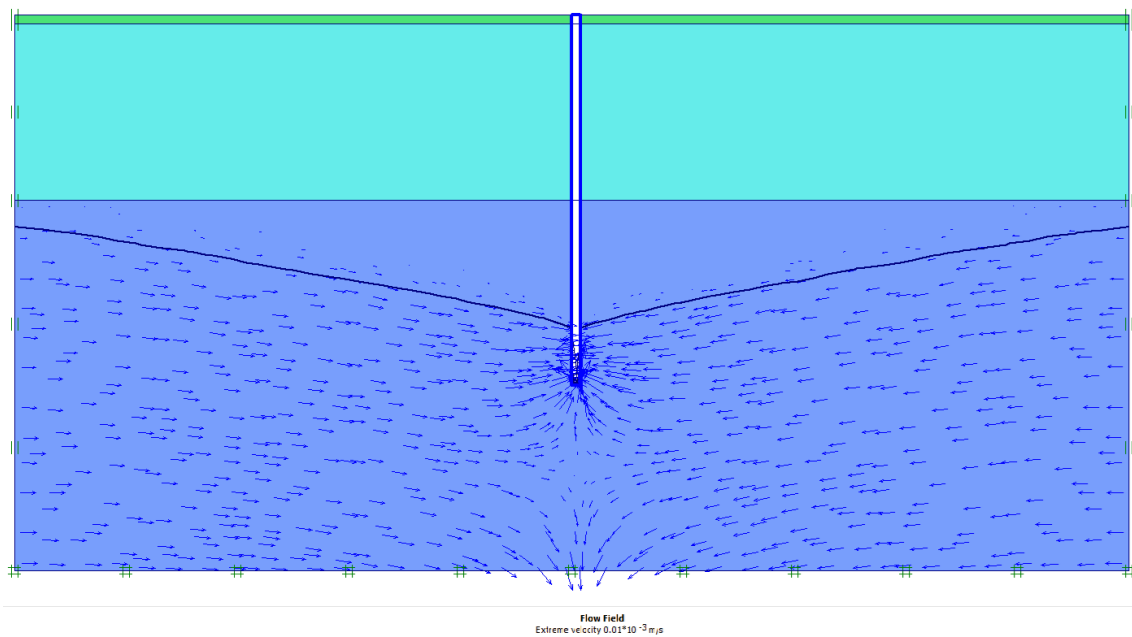
Nivel dinámico en IRHS – 045.



Cargando el nivel dinámico de nuestro cono de depresión. Fuente: PLAXIS.

### Figura 191.

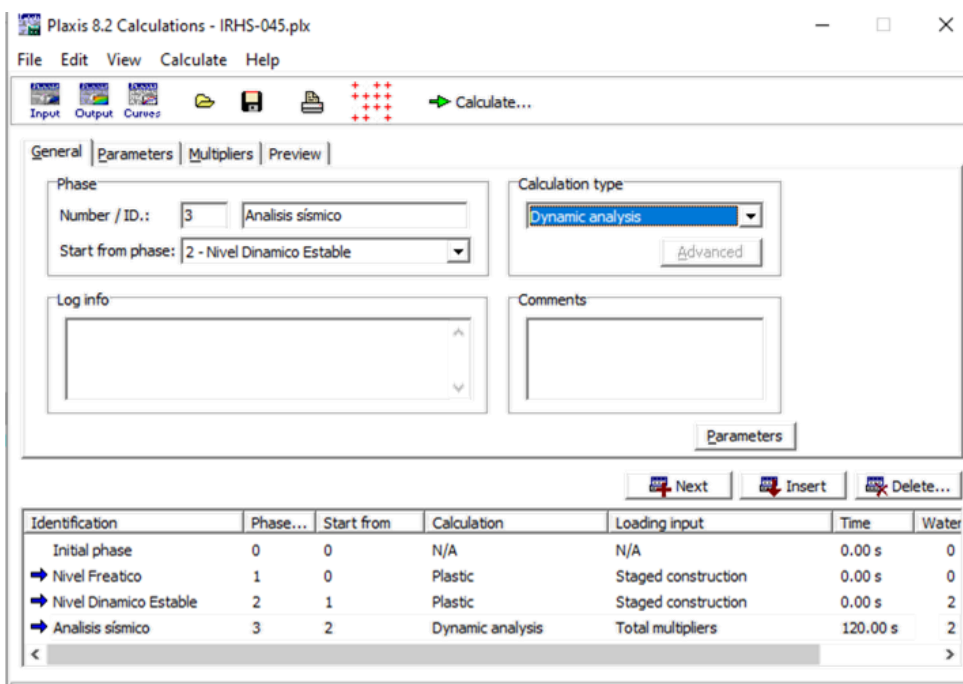
Campo de flujo en IRHS – 045.



El campo de flujo en condiciones dinámicas (bombeo), dio una velocidad de  $0.01 \times 10^{-3}$  m/s. Fuente: PLAXIS.

**Figura 192.**

*Análisis dinámico en IRHS – 045.*



*Interfaz del software, ingreso de datos para la evaluación dinámica. Fuente: PLAXIS.*

En esta línea de trabajo, se recopilaron los datos del último y más intenso terremoto registrado en la región de estudio, ubicada en el departamento de Moquegua.

**Tabla 71.**

*Datos acerca del sismo.*

DESCRIPCIÓN	DATOS
Fecha	23 de junio del 2001
Hora de origen	15:33:00
Longitud	-73.77
Latitud	-16.08
Profundidad	33 kilómetros
Magnitud	6.9 mb (magnitud de cuerpo ondulatorio)
Numero de muestras	19892
Aceleración máxima	-295.15 cm/s <sup>2</sup>

*Fuente: IGP.*

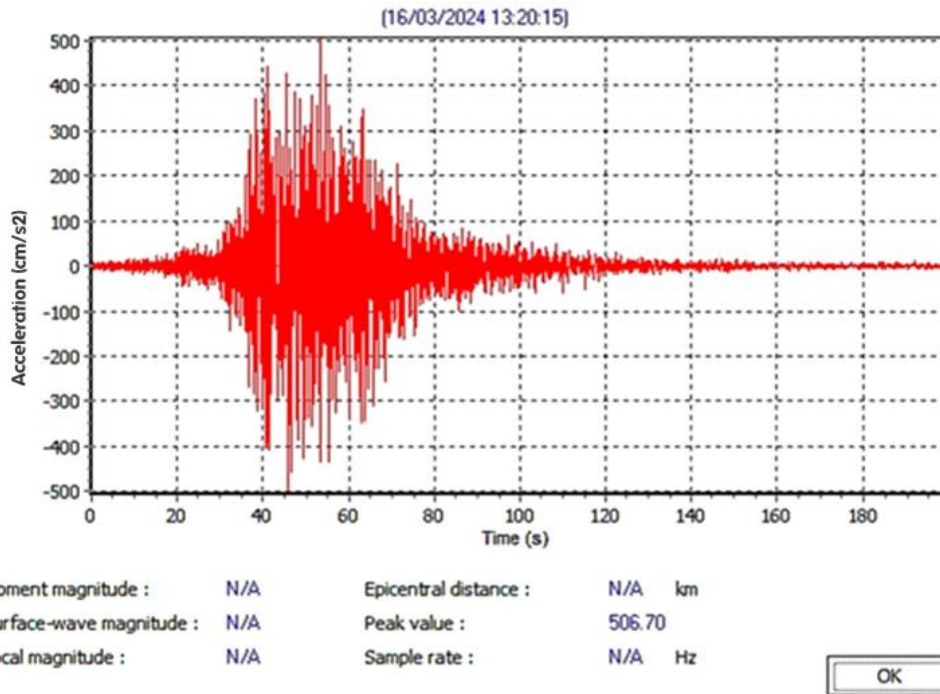


**Figura 193.**  
Zonas sísmicas del Perú.



El área de investigación se situó en el departamento de Moquegua, clasificada como zona 4 según la normativa vigente. En consecuencia, se empleó un factor de zona ( $z$ ) de 0.45 para calcular la escala sísmica. Esto resultó en una aceleración máxima registrada de **506.7381 cm/s<sup>2</sup>**. Fuente: RNE E.030.

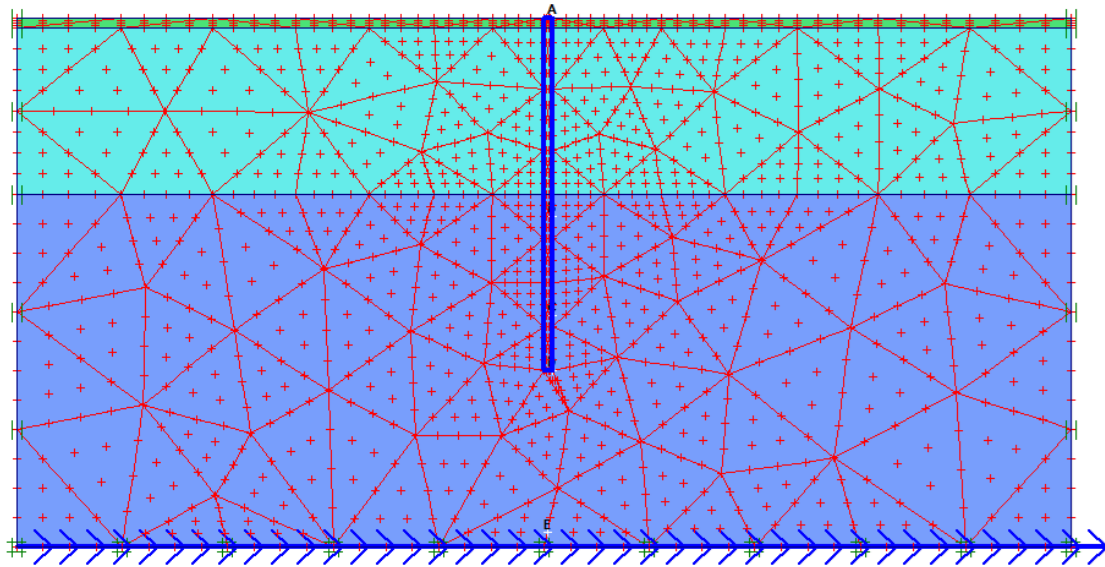
**Figura 194.**  
Espectro de respuesta del sismo en Moquegua 2001.



Con el fin de garantizar que el diseño fuera capaz de resistir las fuerzas sísmicas previstas en el área de estudio, se ajustó el espectro de respuesta utilizando el factor de zona correspondiente ( $z=0.45$ ). Esto se hizo para considerar cómo las características del suelo y la geología locales afectaban la amplificación o atenuación de las ondas sísmicas, asegurando así la idoneidad del diseño estructural para las condiciones específicas del lugar. Fuente: PLAXIS.

**Figura 195.**

Selección de los puntos de análisis en IRHS – 045.

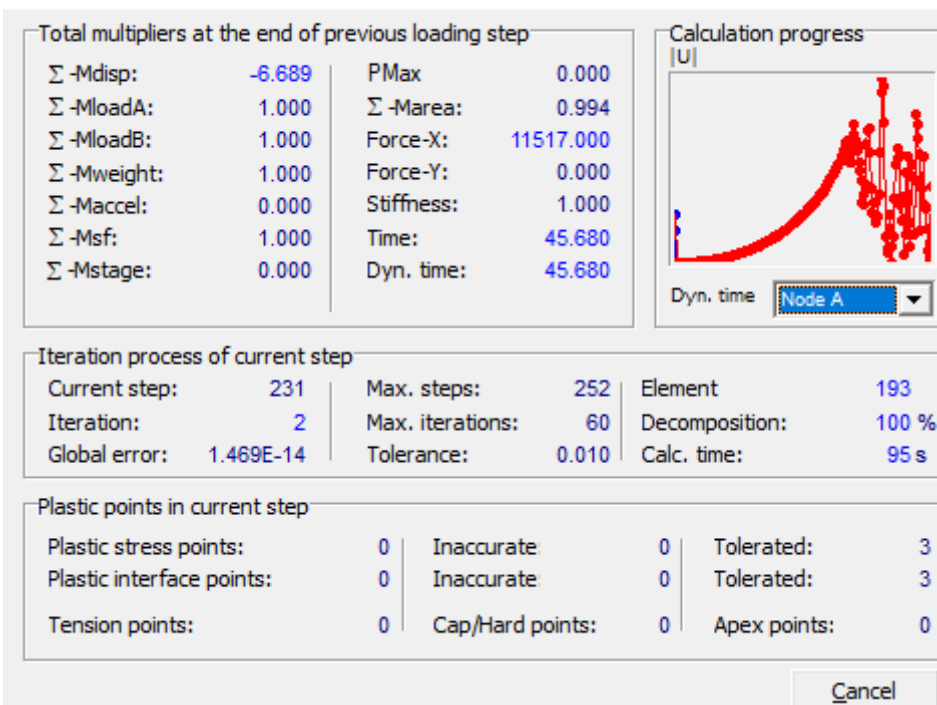


Fuente: PLAXIS

**Figura 196.**

Proceso del cálculo durante todo el tiempo que dura el sismo en IRHS – 045.

Plaxis 8.2 Dynamic Calculation - IRHS-045 - Plane Strain



Fuente: PLAXIS

**Figura 197.**

*Culminación del análisis dinámico en IRHS – 045.*

Plaxis 8.2 Calculations - IRHS-045.plx

File Edit View Calculate Help

Input Output Curves

General Parameters Multipliers Preview

Phase  
Number / ID.: 3 Analysis sísmico  
Start from phase: 2 - Nivel Dinámico Estable

Calculation type  
Dynamic analysis  
Advanced

Log info  
OK

Comments

Parameters

Next Insert Delete...

Identification	Phase...	Start from	Calculation	Loading input	Time	Water
Initial phase	0	0	N/A	N/A	0.00 s	0
✓ Nivel Freático	1	0	Plastic	Staged construction	0.00 s	0
✓ Nivel Dinámico Estable	2	1	Plastic	Staged construction	0.00 s	2
✓ Analysis sísmico	3	2	Dynamic analysis	Total multipliers	120.00 s	2

*Análisis dinámico culminado, referente el tiempo que dura el sismo en IRHS – 045. Fuente: PLAXIS.*

**Figura 198.**

*Resultados de tensión efectiva en IRHS – 045.*

Soil Element	Stress Point	X [m]	Y [m]	$\sigma_{xx}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_{yy}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xy}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_{zz}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	Status	
1 Suelo 20-6	1	61.366	35.631	18.275	-127.632	-27.896	-123.065	Elastic	
	2	66.071	39.685	47.001	-273.073	19.076	-158.029	Elastic	
	3	61.366	39.685	97.549	-68.007	-69.400	-55.784	Elastic	
	4	62.447	37.493	39.883	-165.895	-25.456	-125.527	Elastic	
	5	63.910	38.754	52.743	-216.817	-6.376	-136.754	Elastic	
	6	62.447	38.754	46.344	-170.108	-27.118	-120.630	Elastic	
	7	62.801	36.817	29.376	-187.861	-18.084	-140.040	Elastic	
	8	64.694	38.448	37.222	-257.081	3.290	-160.224	Elastic	
	9	64.694	39.734	52.810	-236.638	11.103	-140.943	Elastic	
	10	62.801	39.734	52.414	-194.736	-16.224	-124.341	Elastic	
	11	61.308	38.448	39.116	-103.703	-51.315	-98.116	Elastic	
	12	61.308	36.817	20.776	-119.600	-34.209	-116.175	Elastic	
	13	66.109	30.882	-50.261	-454.066	-66.034	-291.766	Elastic	
2 Suelo 20-6	14	61.369	34.410	14.652	-139.300	-24.867	-131.828	Elastic	
	15	61.369	30.356	5.922	-181.669	-28.534	-161.521	Elastic	
	16	63.932	31.572	-7.712	-340.563	-32.157	-227.790	Elastic	
	17	62.457	32.669	12.548	-226.032	-18.308	-171.399	Elastic	
	18	62.457	31.408	6.571	-251.308	-24.543	-186.744	Elastic	
	19	64.721	31.965	-11.726	-371.262	-34.356	-240.789	Elastic	
	20	62.815	33.384	13.326	-235.002	-16.234	-173.062	Elastic	
	21	61.311	33.217	13.857	-145.865	-24.539	-137.571	Elastic	
	22	61.311	31.586	10.975	-161.624	-25.470	-148.707	Elastic	
	23	62.815	30.467	-4.911	-300.968	-35.225	-213.324	Elastic	
	24	64.721	30.679	-33.479	-408.848	-54.367	-267.426	Elastic	
	25	66.109	30.251	-73.732	-476.377	-79.219	-311.502	Elastic	
	3 Suelo 20-6	26	61.369	29.725	0.039	-193.418	-31.346	-169.997	Elastic
27		61.369	25.672	-165.502	-347.467	-82.240	-306.978	Elastic	
28		63.932	29.079	-51.344	-422.300	-75.664	-283.561	Elastic	
29		62.457	28.915	-26.396	-325.424	-52.824	-235.201	Elastic	
30		62.457	27.655	-69.212	-377.052	-78.974	-275.822	Elastic	
31		64.721	30.147	-41.360	-422.691	-65.394	-277.314	Elastic	
32		62.815	29.936	-11.772	-318.454	-42.011	-224.262	Elastic	
33		61.311	28.483	-20.796	-214.296	-41.154	-189.486	Elastic	
34		61.311	26.852	-84.206	-273.172	-61.317	-242.079	Elastic	
35		62.815	27.019	-110.814	-440.819	-106.780	-319.405	Elastic	
193 Suelo 0-1		2282	107.740	59.937	29.477	-0.965	0.009	6.645	Elastic
		2283	99.356	59.937	27.840	-0.967	0.021	6.236	Elastic
		2284	105.815	59.499	22.395	-7.658	0.043	-0.152	Elastic
	2285	105.815	59.751	26.367	-3.809	0.022	3.733	Elastic	
	2286	103.207	59.751	25.955	-3.808	0.041	3.630	Elastic	
	2287	107.843	59.363	20.465	-9.725	0.043	-2.184	Elastic	
	2288	107.843	59.690	25.593	-4.745	0.026	2.838	Elastic	
	2289	105.183	59.947	29.381	-0.813	0.004	6.735	Elastic	
	2290	101.810	59.947	28.740	-0.812	0.013	6.575	Elastic	
	2291	101.810	59.690	24.675	-4.743	0.072	2.609	Elastic	
	2292	105.183	59.363	20.185	-9.722	0.065	-2.253	Elastic	
	2293	109.857	59.063	15.907	-14.299	0.026	-6.765	Elastic	
	2294	119.268	59.063	16.237	-14.408	0.336	-6.710	Elastic	
2295	119.268	59.874	29.319	-1.929	0.029	5.882	Elastic		
2296	114.180	59.249	19.002	-11.466	0.024	-3.859	Elastic		
2297	117.106	59.249	19.157	-11.428	0.028	-3.811	Elastic		
2298	117.106	59.501	23.135	-7.603	0.032	0.069	Elastic		
2299	112.612	59.053	15.869	-14.490	0.058	-6.899	Elastic		
2300	116.398	59.053	16.030	-14.393	-0.014	-6.834	Elastic		
2301	119.383	59.310	20.290	-10.591	0.236	-2.851	Elastic		
2302	119.383	59.637	25.555	-5.570	0.107	2.216	Elastic		
2303	116.398	59.637	25.199	-5.554	0.026	2.130	Elastic		
2304	112.612	59.310	19.915	-10.529	0.015	-2.929	Elastic		
2305	109.125	59.126	16.826	-13.358	0.041	-5.818	Elastic		
2306	118.535	59.937	30.186	-0.966	0.016	6.822	Elastic		
2307	109.125	59.937	29.580	-0.965	-0.001	6.671	Elastic		
2308	111.286	59.499	22.821	-7.655	0.017	-0.044	Elastic		
2309	114.213	59.751	26.878	-3.806	0.006	3.861	Elastic		
2310	111.286	59.751	26.777	-3.808	0.010	3.835	Elastic		
2311	111.995	59.363	20.729	-9.717	0.020	-2.116	Elastic		
2312	115.781	59.690	25.995	-4.740	0.010	2.940	Elastic		
2313	115.781	59.947	30.040	-0.812	0.000	6.901	Elastic		
2314	111.995	59.947	29.882	-0.813	0.003	6.861	Elastic		
2315	109.009	59.690	25.678	-4.747	0.013	2.858	Elastic		
2316	109.009	59.363	20.548	-9.729	0.028	-2.165	Elastic		

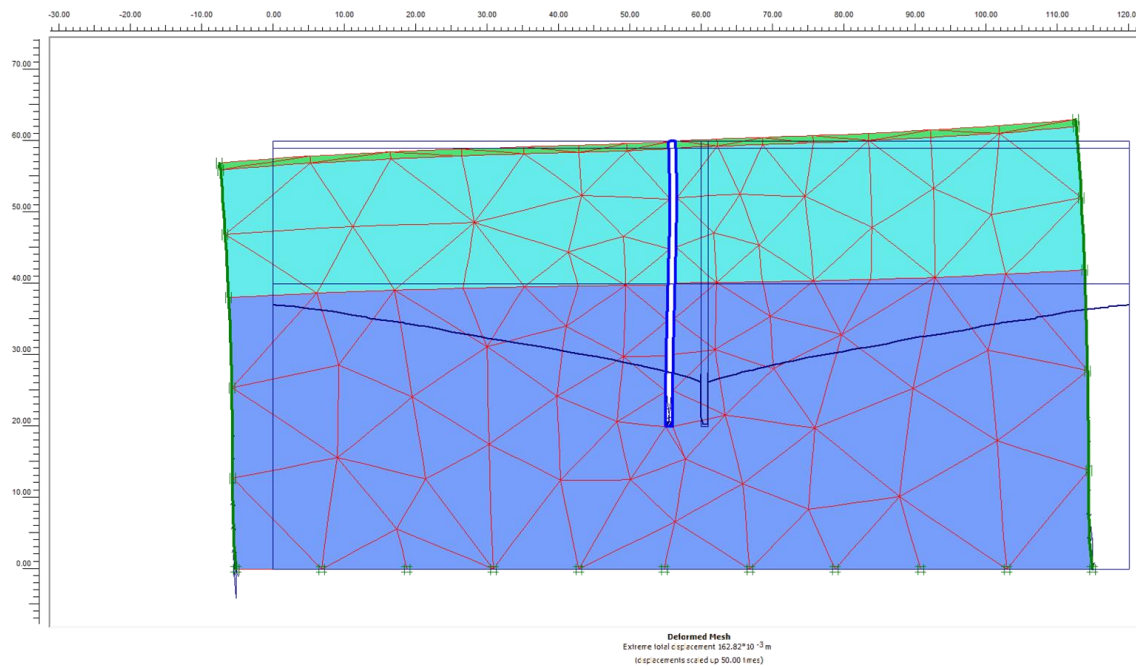
*Se obtuvieron un total de 2316 puntos analizados. Fuente: PLAXIS.*

**Figura 199.**  
Resultados de las deformaciones efectivas en IRHS – 045.

Node	X [m]	Y [m]	Ux [ $10^{-3}$ m]	Uy [ $10^{-3}$ m]	$\Delta Ux$ [ $10^{-3}$ m]	$\Delta Uy$ [ $10^{-3}$ m]	Node	X [m]	Y [m]	Ux [ $10^{-3}$ m]	Uy [ $10^{-3}$ m]	$\Delta Ux$ [ $10^{-3}$ m]	$\Delta Uy$ [ $10^{-3}$ m]
1	0.000	0.000	-103.237	0.000	2.067	0.000	1585	86.786	59.000	-104.178	20.132	12.427	-2.292
2	3.000	0.000	-103.237	0.000	2.067	0.000	1586	84.734	59.000	-102.036	18.517	12.580	-1.837
3	6.000	0.000	-103.237	0.000	2.067	0.000	1587	82.683	59.000	-100.124	16.873	12.662	-1.387
4	9.000	0.000	-103.237	0.000	2.067	0.000	1588	78.803	60.000	-97.354	14.348	13.091	-0.510
5	0.000	10.000	-112.579	-8.860	-2.060	0.033	1589	80.631	60.000	-98.905	15.629	13.057	-0.920
6	0.000	6.667	-112.041	-6.638	-1.649	-0.432	1590	80.631	59.250	-98.458	15.399	12.816	-0.923
7	0.000	3.333	-110.008	-3.715	-0.693	-0.447	1591	80.631	59.500	-98.585	15.476	12.913	-0.923
8	3.000	3.333	-108.340	-2.535	-0.266	0.037	1592	80.631	59.750	-98.739	15.552	12.990	-0.922
9	6.000	3.333	-107.149	-2.135	-0.013	0.161	1593	78.803	59.750	-97.188	14.280	13.033	-0.512
10	3.000	6.667	-110.606	-5.407	-1.405	0.083	1594	76.974	59.750	-95.834	13.025	13.025	-0.150
11	10.187	11.385	-108.850	-7.157	-1.911	0.562	1595	78.803	59.500	-97.052	14.209	12.954	-0.513
12	6.593	10.692	-110.102	-7.680	-1.958	0.471	1596	76.974	60.000	-95.995	13.082	13.081	-0.153
13	9.593	7.359	-108.238	-4.532	-1.158	0.350	1597	75.146	60.000	-94.907	11.801	12.968	0.173
14	9.000	3.333	-106.336	-1.841	0.127	0.202	1598	95.748	60.000	-115.389	28.912	12.056	-4.291
15	6.000	6.667	-109.306	-4.726	-1.184	0.254	1599	88.838	59.250	-106.564	21.952	12.393	-2.762
16	3.000	10.000	-111.434	-8.130	-2.009	0.270	1600	88.838	59.750	-106.949	22.152	12.563	-2.753
17	10.780	15.410	-108.751	-9.729	-2.145	0.805	1601	88.838	59.500	-106.746	22.054	12.487	-2.758
18	7.187	14.718	-110.150	-10.504	-2.206	0.783	1602	88.838	60.000	-107.160	22.251	12.626	-2.748
19	3.593	14.026	-111.543	-11.099	-2.205	0.718	1603	93.445	59.750	-112.282	26.592	12.270	-3.839
20	0.000	23.333	-114.668	-20.171	-0.753	2.752	1604	91.142	59.750	-109.599	24.294	12.436	-3.300
21	0.000	20.000	-113.889	-17.000	-1.442	2.013	1605	91.142	59.500	-109.384	24.189	12.353	-3.303
22	0.000	16.667	-113.267	-14.020	-1.888	1.307	1606	93.445	60.000	-112.520	26.695	12.332	-3.832
23	7.187	18.051	-110.340	-12.985	-2.094	1.116	1607	91.142	60.000	-109.838	24.392	12.502	-3.297
24	3.593	20.692	-112.230	-16.385	-1.642	1.719	1608	82.683	59.250	-100.240	16.959	12.776	-1.386
25	3.593	17.359	-111.802	-13.694	-2.050	1.185	1609	86.786	59.750	-104.627	20.439	12.732	-2.280
26	0.000	13.333	-112.891	-11.239	-2.098	0.660	1610	82.683	59.500	-100.388	17.041	12.868	-1.385
27	12.593	4.026	-105.910	-2.010	0.035	0.172	1611	84.734	59.750	-102.472	18.801	12.881	-1.829
28	13.187	8.051	-107.369	-4.279	-1.198	0.393	1612	84.734	59.250	-102.156	18.616	12.699	-1.835
29	13.780	12.077	-107.668	-6.651	-1.862	0.573	1613	86.786	59.500	-104.456	20.341	12.649	-2.285
30	15.243	5.473	-106.106	-2.501	-0.421	0.294	1614	82.683	59.750	-100.567	17.119	12.939	-1.383
31	17.894	6.920	-105.982	-2.977	-0.742	0.339	1615	86.786	59.250	-104.310	20.238	12.544	-2.289
32	15.837	9.498	-106.916	-4.676	-1.409	0.442	1616	84.734	60.000	-102.664	18.886	12.944	-1.826
33	15.000	0.000	-103.237	0.000	2.067	0.000	1617	82.683	60.000	-100.762	17.195	13.000	-1.382
34	18.000	0.000	-103.237	0.000	2.067	0.000	1618	86.786	60.000	-104.822	20.533	12.794	-2.273
35	21.000	0.000	-103.237	0.000	2.067	0.000	1619	84.734	59.500	-102.302	18.712	12.799	-1.832

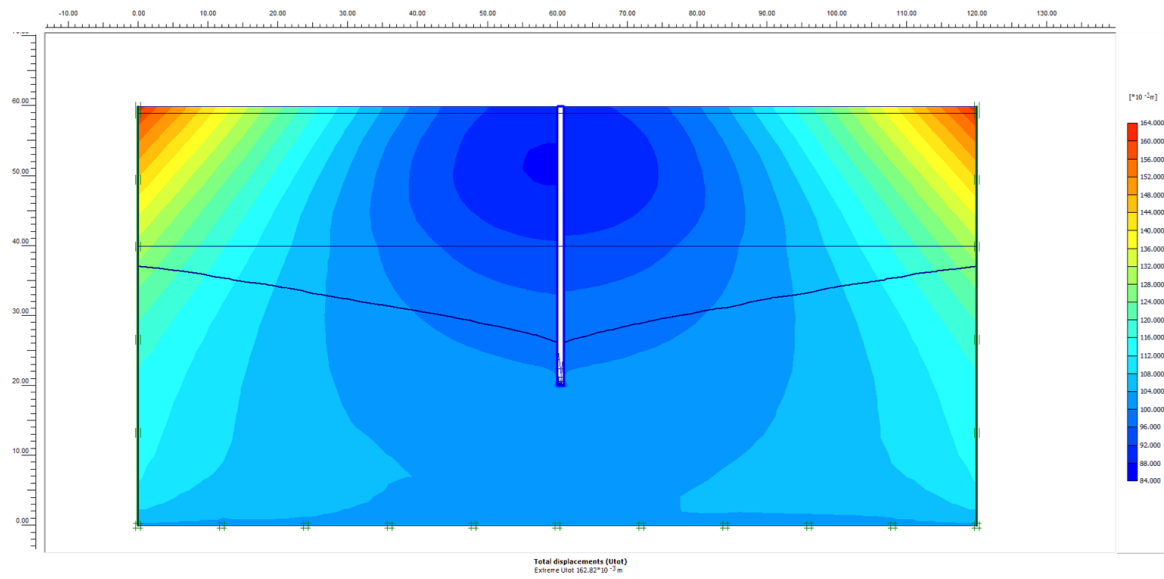
Se obtuvieron un total de 1619 puntos analizados. Fuente: PLAXIS.

**Figura 200.**  
Deformación de la malla en IRHS – 045.



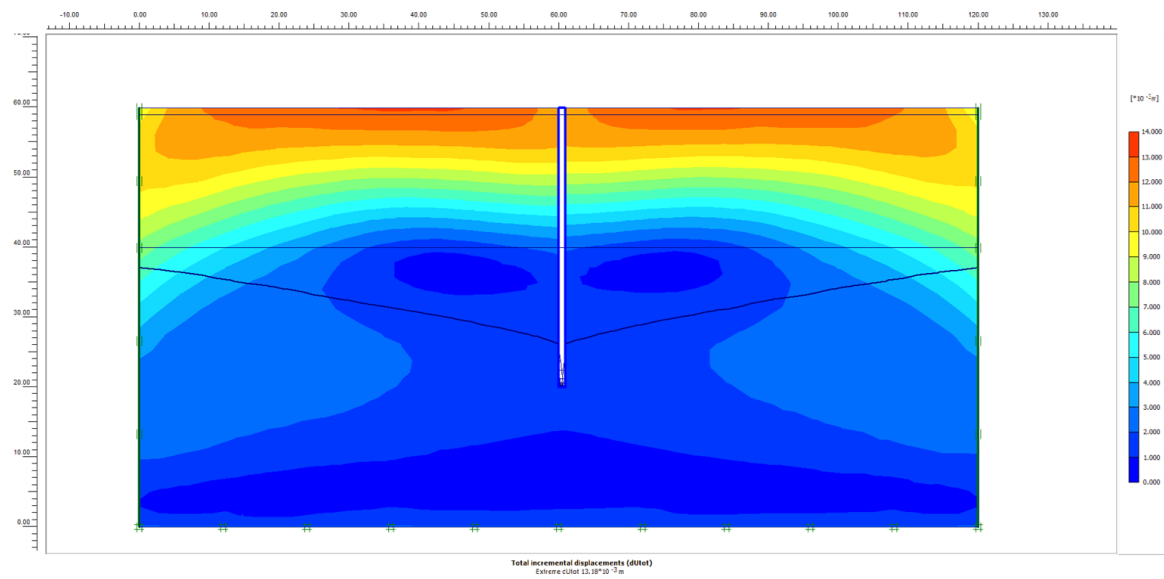
El resultado indica una deformación máxima de la malla de elementos finitos igual a  $162.82 \times 10^{-3}$  metros en IRHS – 045. Fuente: PLAXIS.

**Figura 201.**  
Desplazamiento total en IRHS – 045.



Los resultados indican un desplazamiento total de  $162.82 \times 10^{-3}$  metros en IRHS – 045. Fuente: PLAXIS.

**Figura 202.**  
Desplazamientos incrementales totales en IRHS – 045.

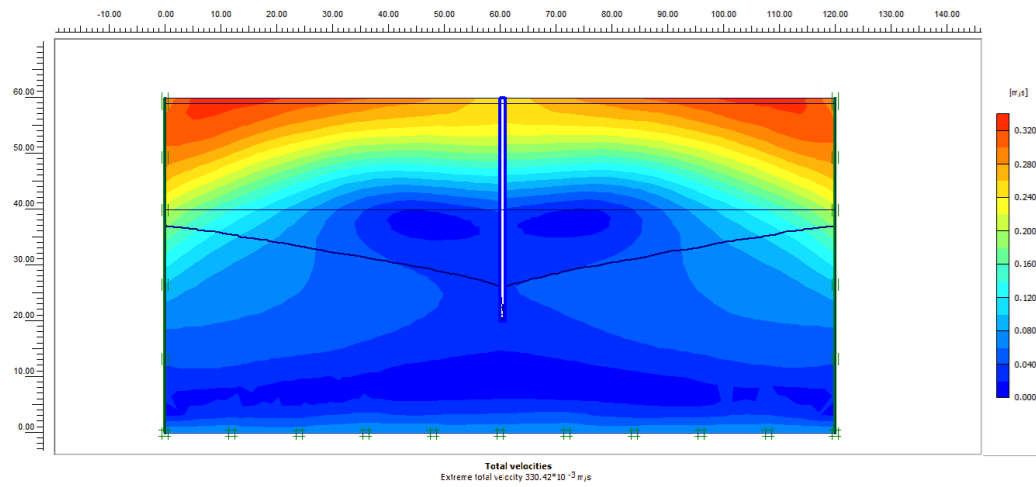


Los resultados indican un desplazamiento incremental total de  $13.18 \times 10^{-3}$  metros en IRHS – 045. Fuente: PLAXIS.

Los desplazamientos incrementales totales comprenden la suma de todos los cambios en la posición de un punto dentro de nuestro sistema acuífero planteado a lo largo del tiempo. En el presente estudio, estos desplazamientos son vitales para evaluar la respuesta de la estructura (pozo) y suelo, frente a las fuerzas sísmicas y asentamientos del suelo. Monitorizar y analizar estos desplazamientos son fundamentales para garantizar que la estructura o sistema mantengan niveles de seguridad adecuados y cumplan con los criterios de diseño establecidos.

**Figura 203.**

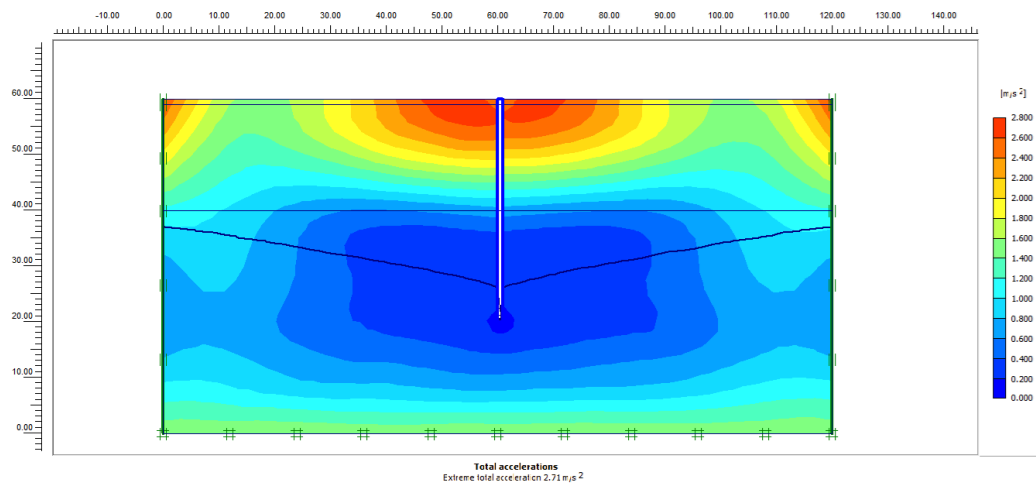
*Velocidades totales en IRHS – 045.*



Los resultados indican una velocidad total de  $330.42 \times 10^{-3}$  m/s en IRHS – 045. Fuente: PLAXIS.

**Figura 204.**

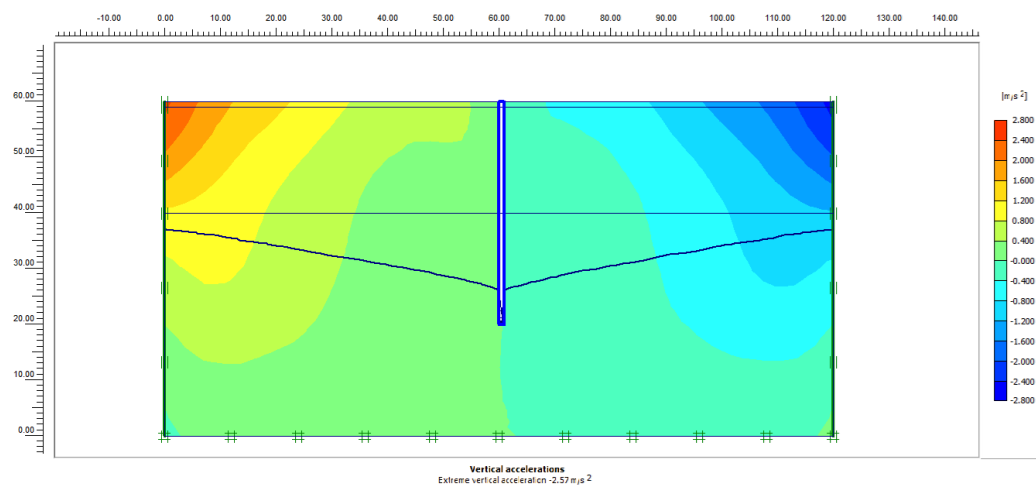
*Aceleraciones totales en IRHS – 045.*



Los resultados indican una aceleración total de  $2.71$  m/s<sup>2</sup> en IRHS – 045. Fuente: PLAXIS.

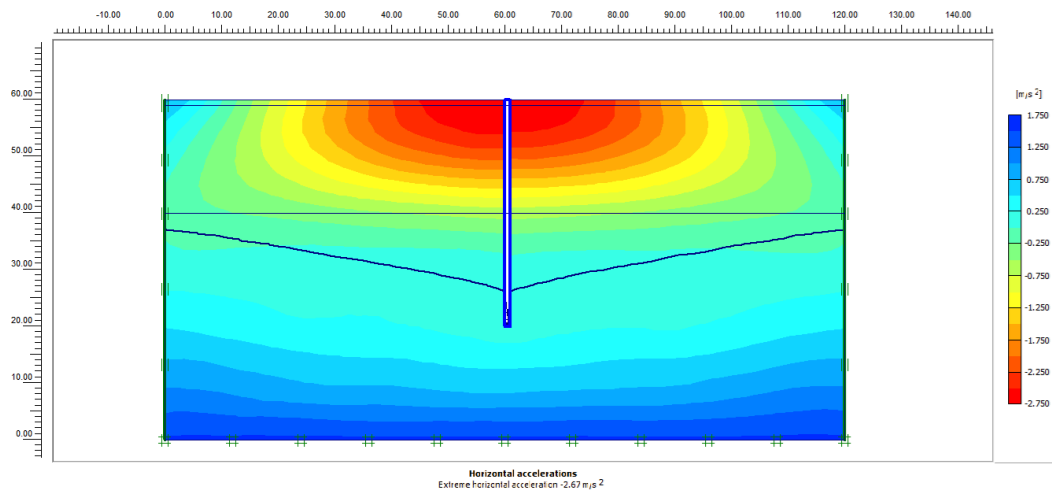
**Figura 205.**

*Aceleración vertical en IRHS – 045.*



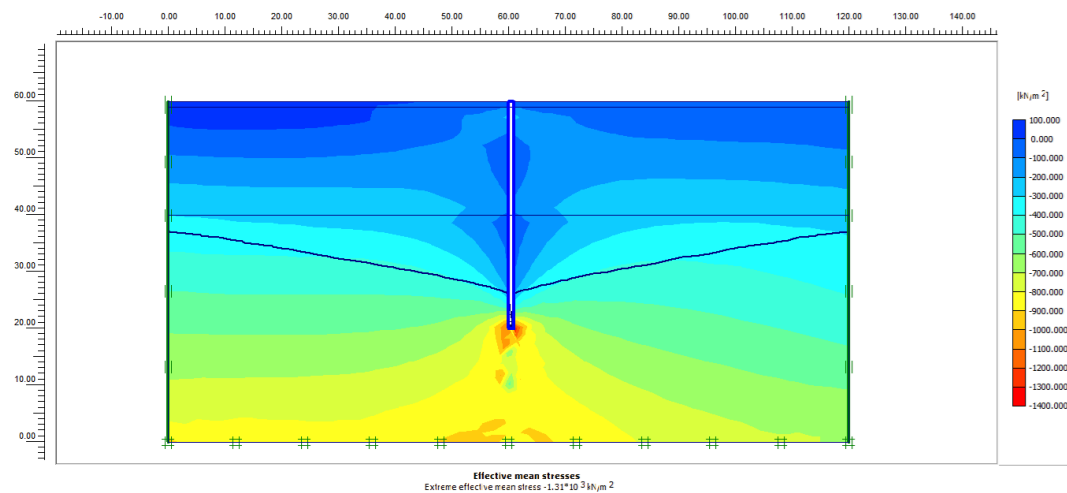
Los resultados indican una aceleración vertical de  $-2.57$  m/s<sup>2</sup> en IRHS – 045. Fuente: PLAXIS.

**Figura 206.**  
Aceleración horizontal en IRHS – 045.



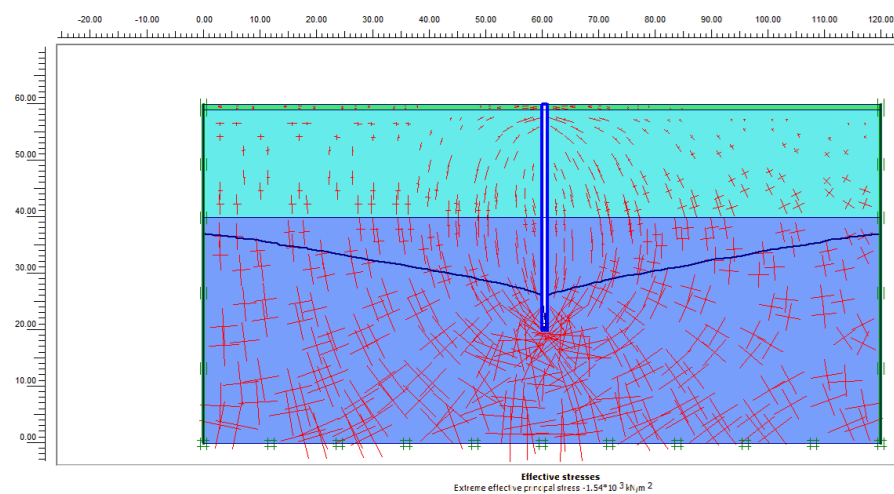
Los resultados indican una aceleración horizontal de  $-2.67 \text{ m/s}^2$  en IRHS – 045. Fuente: PLAXIS.

**Figura 207.**  
Tensiones medias efectivas en IRHS – 045.



Los resultados indican una tensión media efectiva de  $-1.31 \times 10^3 \text{ kN/m}^2$  en IRHS – 045. Fuente: PLAXIS.

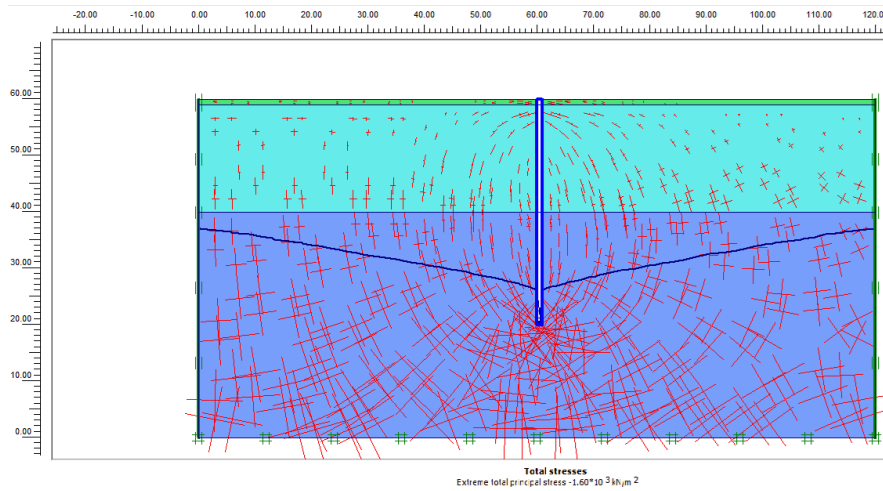
**Figura 208.**  
Tensión efectiva en IRHS – 045.



Los resultados indican una tensión efectiva de  $-1.54 \times 10^3 \text{ kN/m}^2$  en IRHS – 045. Fuente: PLAXIS.

**Figura 209.**

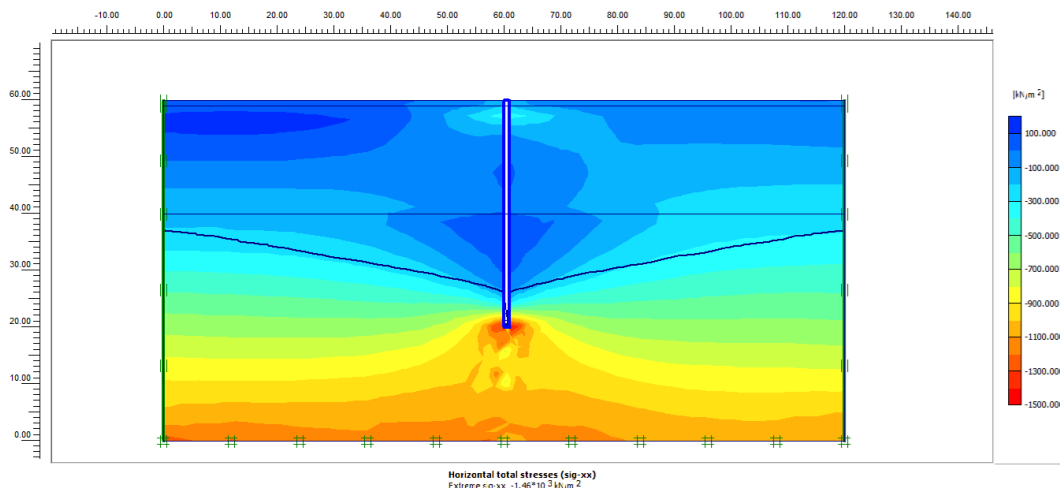
Tensión total en IRHS – 045.



Los resultados indican una tensión total de  $-1.60 \times 10^3 \text{ kN/m}^2$  en IRHS – 045. Fuente: PLAXIS.

**Figura 210.**

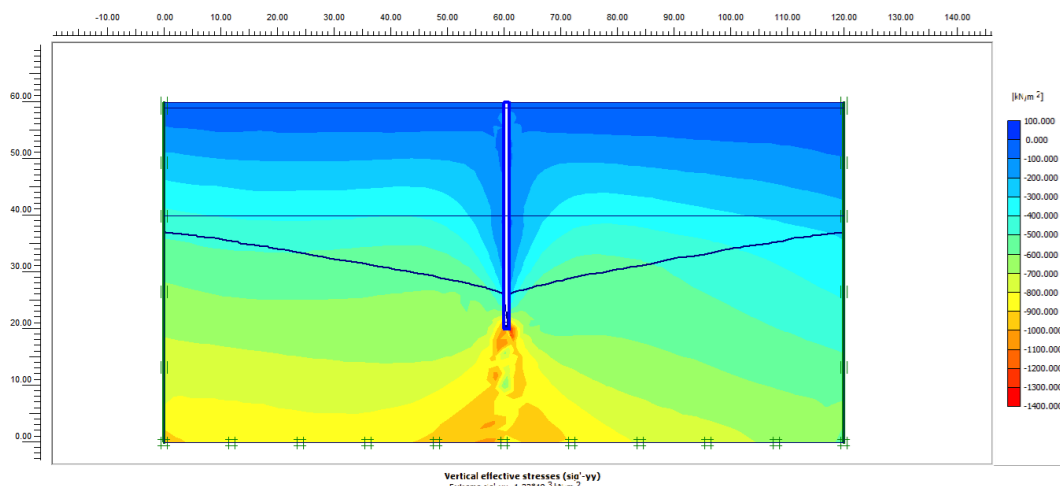
Tensión total horizontal en IRHS – 045.



Los resultados indican una tensión total horizontal de  $-1.46 \times 10^3 \text{ kN/m}^2$  en IRHS – 045. Fuente: PLAXIS.

**Figura 211.**

Tensión total vertical en IRHS – 045.

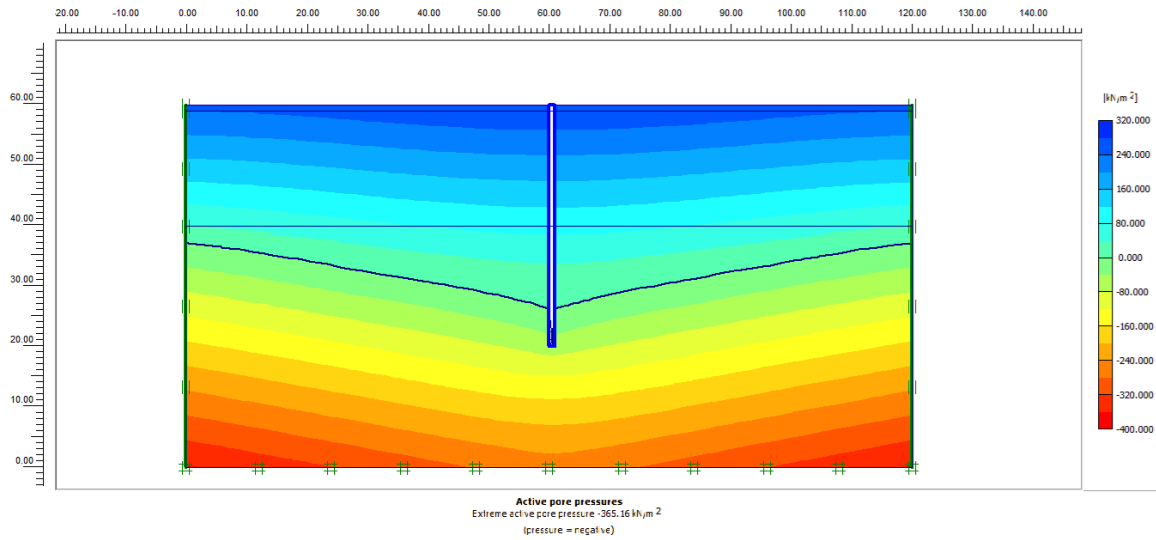


Los resultados indican una tensión total vertical de  $-1.32 \times 10^3 \text{ kN/m}^2$  en IRHS – 045. Fuente: PLAXIS.



**Figura 212.**

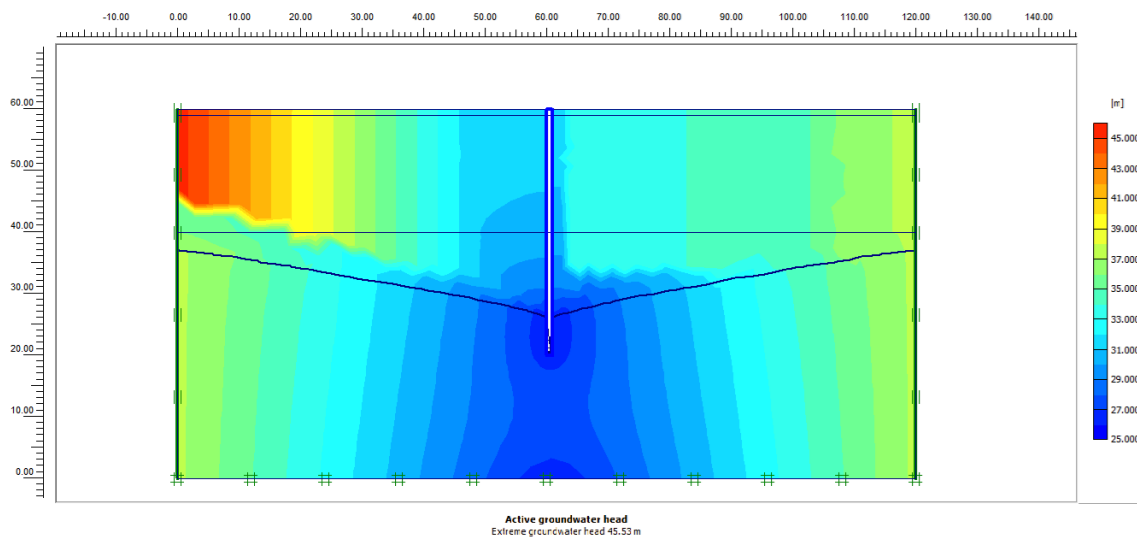
*Presiones de poro activas en IRHS – 045.*



Los resultados indican presiones de poro activas de  $-365.16 \text{ kN/m}^2$  en IRHS – 045. Fuente: PLAXIS.

**Figura 213.**

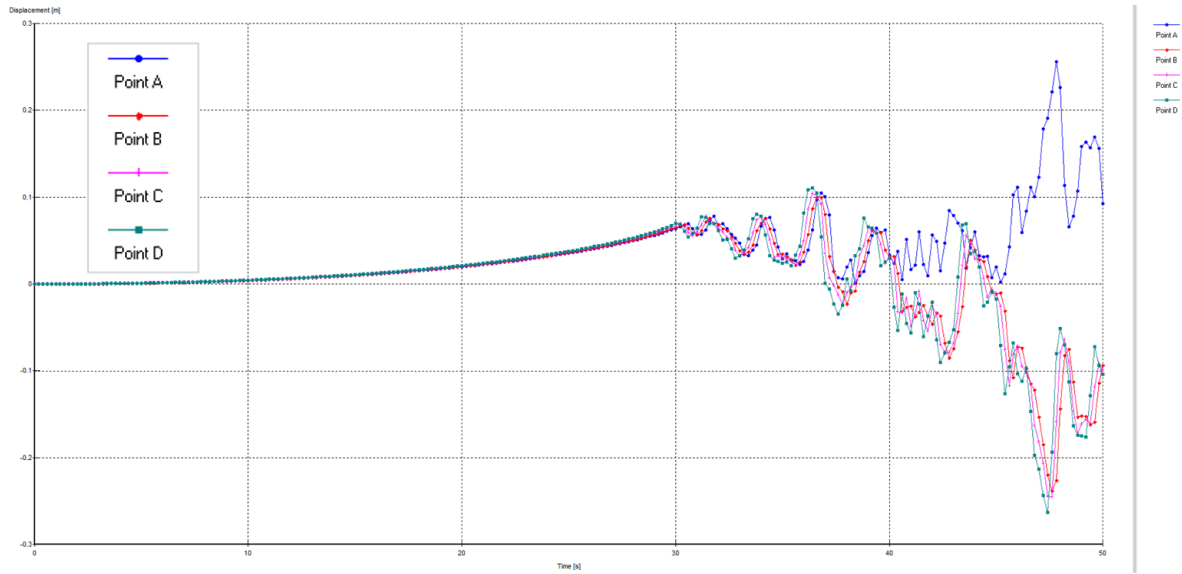
*Altura activa de las aguas subterráneas en IRHS – 045.*



Los resultados indican una altura activa de las aguas subterráneas de 45.53 metros en IRHS – 045; Es la distancia vertical entre el nivel freático y el punto más bajo dentro de un acuífero donde el agua está en movimiento (Importante para la gestión y explotación de los recursos hídricos subterráneos). Fuente: PLAXIS.

**Figura 214.**

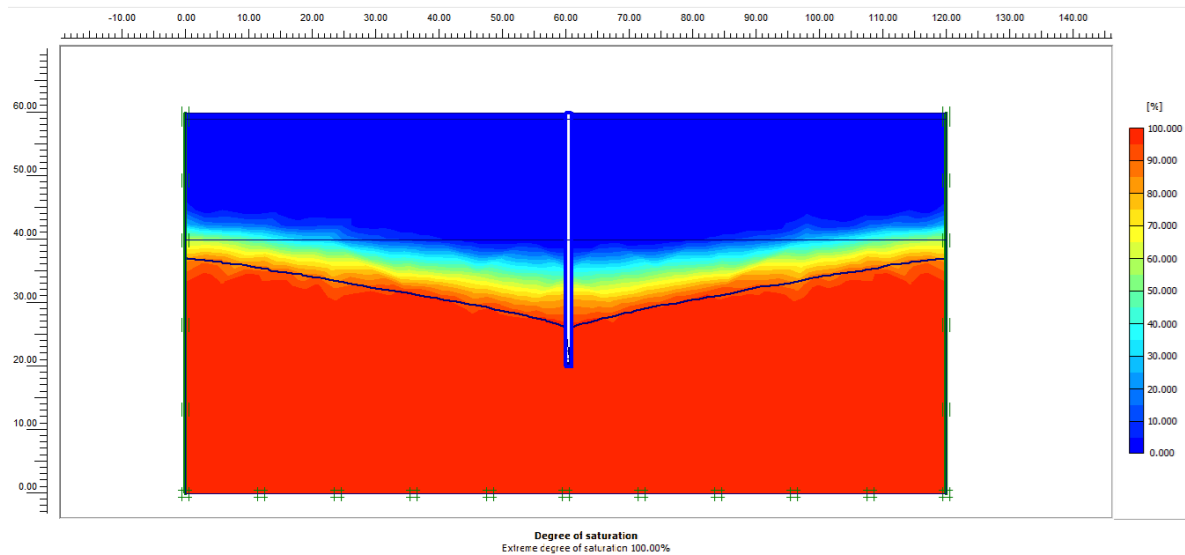
*Curvas de desplazamiento de los puntos seleccionados en IRHS – 045.*



*El punto A corresponde a la parte superior del pozo, el punto B corresponde al nivel freático, el punto C corresponde a la parte inferior del pozo y el punto D corresponde a la base de la sección de suelo analizado del pozo IRHS – 045. Fuente: PLAXIS.*

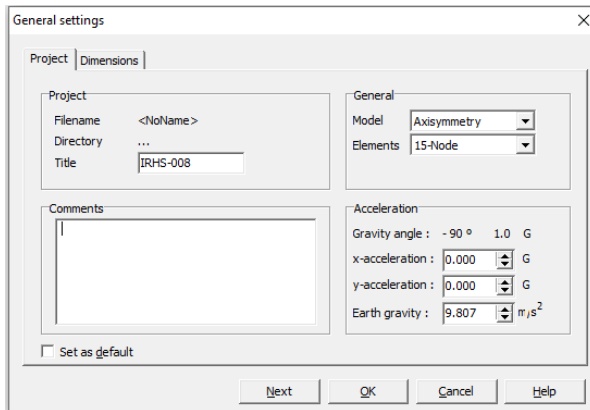
**Figura 215.**

*Grado de saturación en IRHS – 045.*



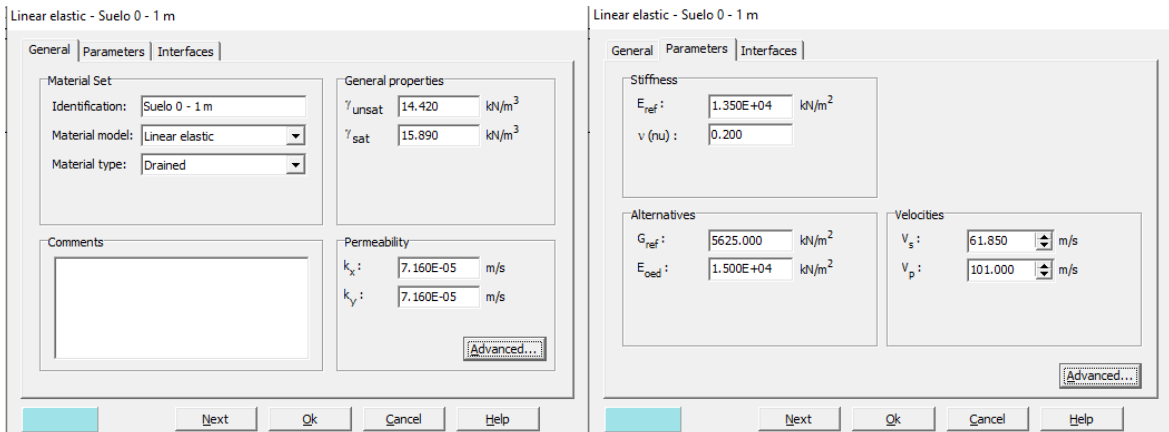
*Fuente: PLAXIS.*

**Figura 216.**  
Configuración general para IRHS-008.



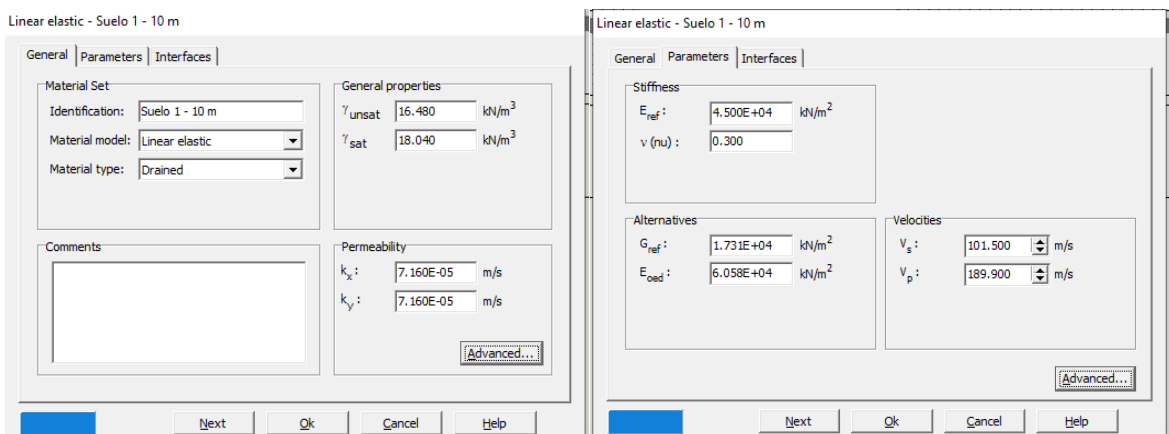
Fuente: PLAXIS.

**Figura 217.**  
Características del primer estrato en IRHS-008.



Estrato que va, desde el nivel del terreno natural hasta 1 metro de profundidad. Fuente: PLAXIS.

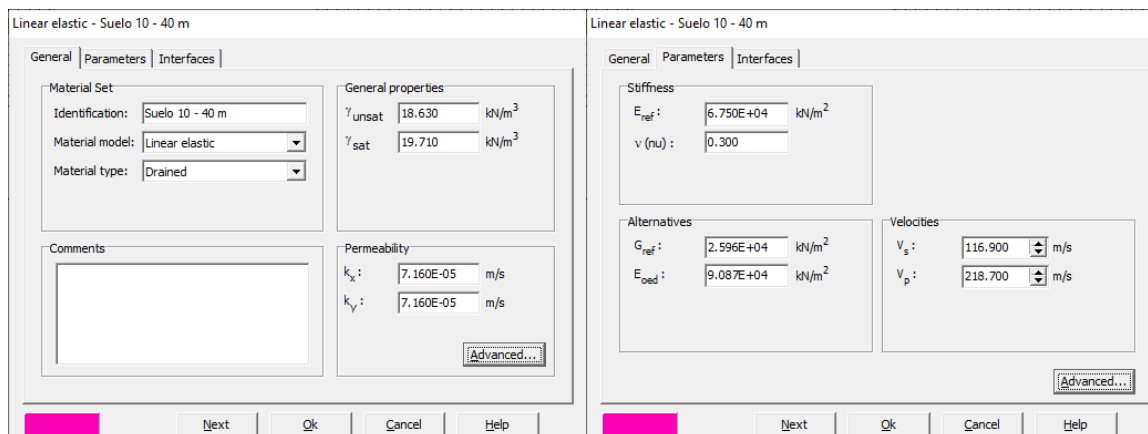
**Figura 218.**  
Características del segundo estrato en IRHS-008.



Estrato que va, desde 1 metro hasta los 10 metros de profundidad. Fuente: PLAXIS.

**Figura 219.**

Características del tercer estrato en IRHS-008.



Estrato que va, desde 10 metros hasta los 40 metros de profundidad. Fuente: PLAXIS.

Para la **tubería** de acero inoxidable de 18 pulgadas, se tendría:

**Tabla 72.**

Propiedades de la tubería ciega en pozo IRHS-008.

DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDAD DE MEDIDA
Espeor:	6.35	mm
Diámetro Interno:	18	pulgadas
Diámetro Externo:	0.469900914	m
Módulo de Elasticidad (E):	2.00E+11	N/m <sup>2</sup>
Poisson (ν):	0.30	
Sección Transversal (A):	0.00924743	m <sup>2</sup>
Momento de Inercia (I):	0.003974911	m <sup>4</sup>
EA:	1,849,485.95	kN
EI:	794,982.20	kN*m <sup>2</sup>
Densidad:	78.80	kN/m <sup>3</sup>
Peso revestimiento (w):	0.728722873	kN/m
Coeficiente de Rayleigh α:	0.01	
Coeficiente de Rayleigh β:	0.01	

Fuente: Elaboración propia.

Para el **filtro** de acero inoxidable de 18 pulgadas, se tendría:

**Tabla 73.**

Propiedades del filtro (tubería ranurada) en pozo IRHS-008.

DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDAD DE MEDIDA
Espeor:	6.35	mm
Diámetro Interno:	18	pulgadas
Diámetro Externo:	0.469900914	m
Módulo de Elasticidad (E):	1.90E+11	N/m <sup>2</sup>
Poisson (ν):	0.28	
Sección Transversal (A):	0.00924743	m <sup>2</sup>

DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDAD DE MEDIDA
Momento de Inercia (I):	0.003974911	m4
EA:	1,757,011.65	kN
EI:	755,233.09	kN*m2
Densidad:	70.92	kN/m3
Peso revestimiento (w):	0.655850586	kN/m
Coefficiente de Rayleigh $\alpha$ :	0.01	
Coefficiente de Rayleigh $\beta$ :	0.01	

Fuente: Elaboración propia.

### Figura 220.

Propiedades de la tubería ciega de acero inoxidable en pozo IRHS-008.

Plate properties ✕

**Material set**

Identification:

Material type:

**Properties**

EA :  kN,m

EI :  kNm<sup>2</sup>,m

d :  m

w :  kN,m,m

v :

M<sub>p</sub> :  kNm,m

N<sub>p</sub> :  kN,m

Rayleigh  $\alpha$  :

Rayleigh  $\beta$  :

**Comments**

Fuente: PLAXIS.

### Figura 221.

Propiedades del filtro de acero inoxidable en pozo IRHS-008.

Plate properties ✕

**Material set**

Identification:

Material type:

**Properties**

EA :  kN,m

EI :  kNm<sup>2</sup>,m

d :  m

w :  kN,m,m

v :

M<sub>p</sub> :  kNm,m

N<sub>p</sub> :  kN,m

Rayleigh  $\alpha$  :

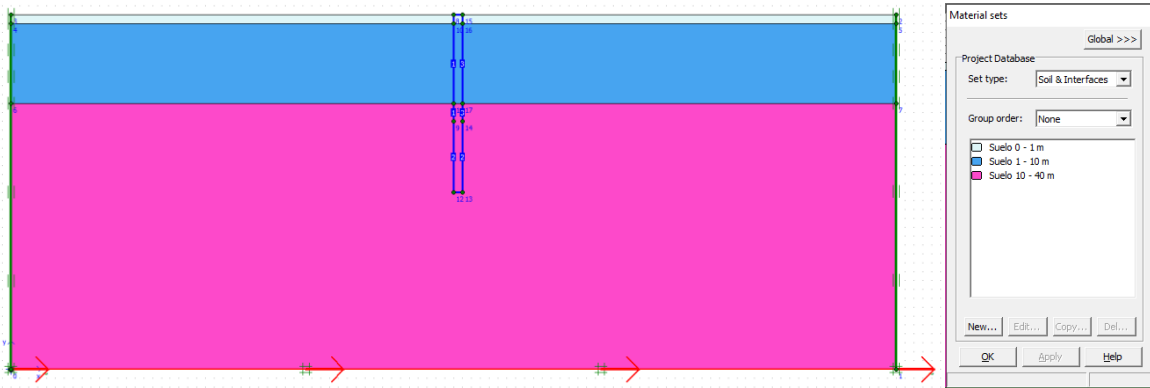
Rayleigh  $\beta$  :

**Comments**

Fuente: PLAXIS.

**Figura 222.**

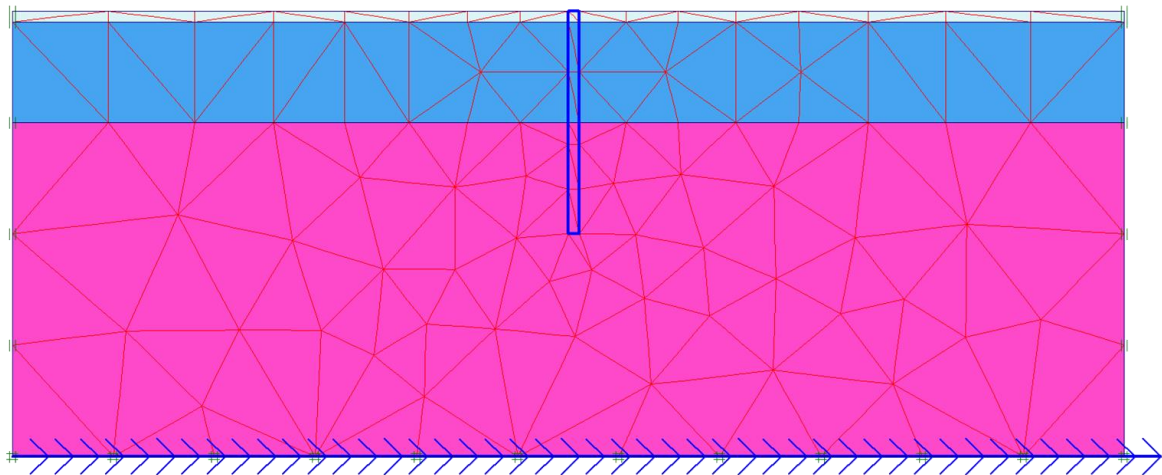
Asignación de parámetros para la carga sísmica y materiales en IRHS-008.



Fuente: PLAXIS.

**Figura 223.**

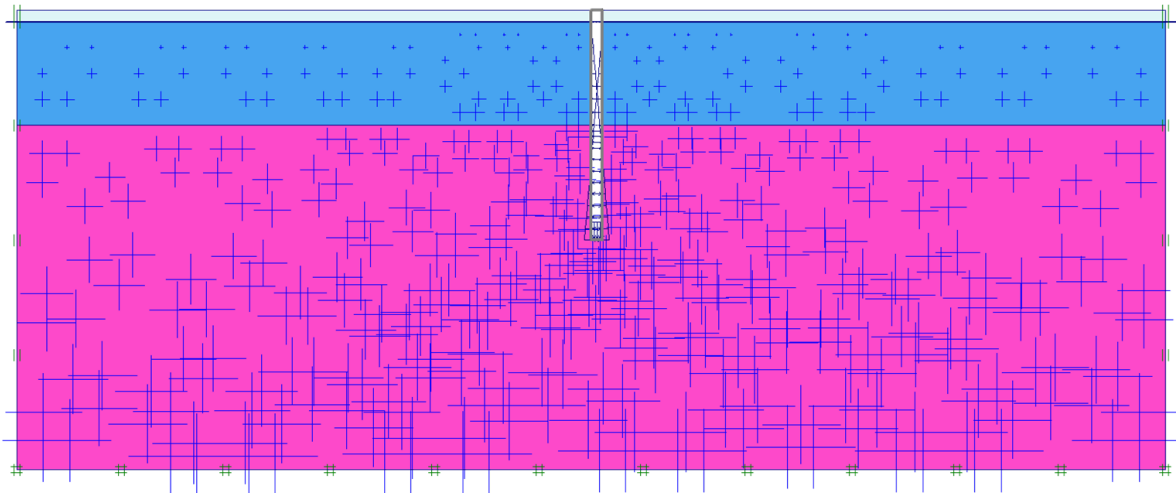
Generando la malla de elementos finitos en IRHS-008.



Fuente: PLAXIS.

**Figura 224.**

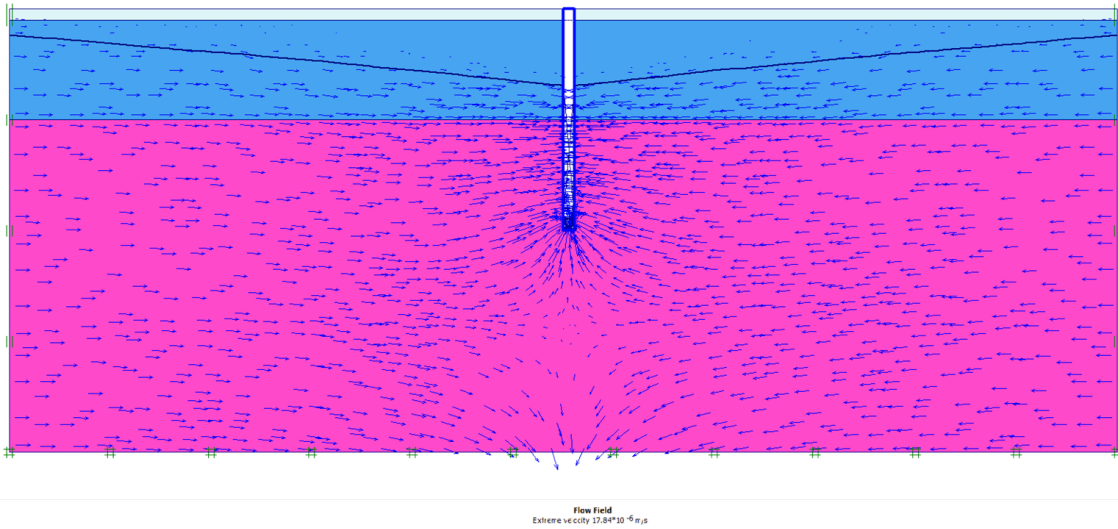
Presión de poros activas en IRHS - 008.



Active pore pressures  
Extreme active pore pressure = -379.84 kN/m<sup>2</sup>  
(pressure = negative)

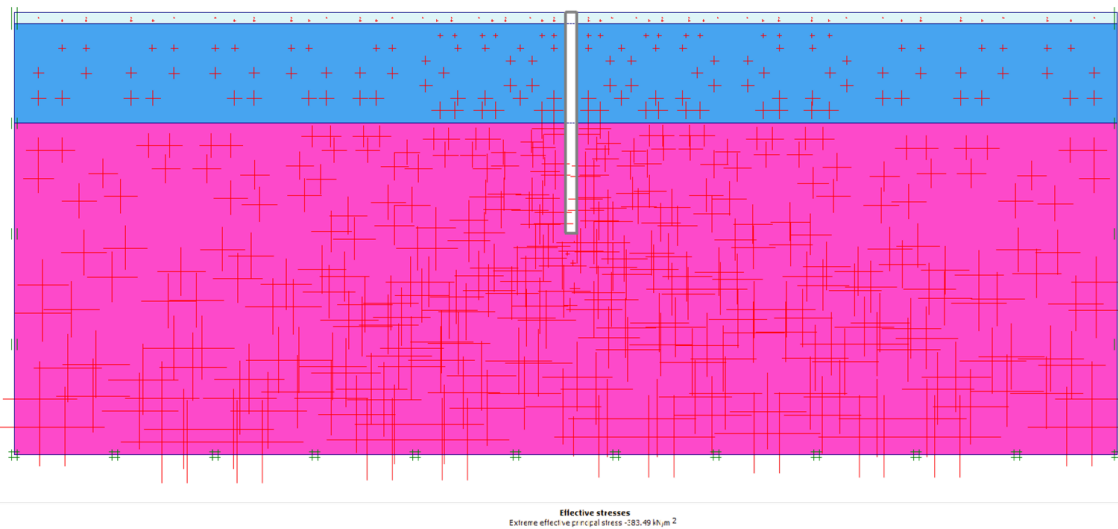
Los resultados indican presiones de poro activas de -379.84 kN/m<sup>2</sup> en IRHS - 008. Fuente: PLAXIS.

**Figura 225.**  
*Velocidad del agua subterránea en IRHS – 008.*



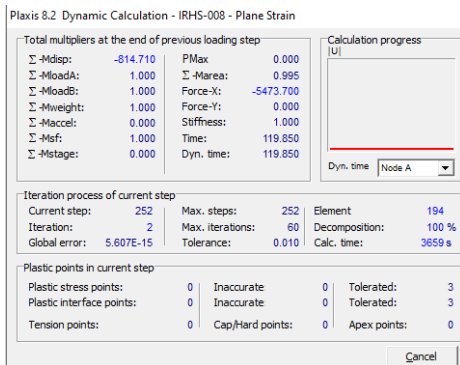
Los resultados indican una velocidad del agua subterránea (condiciones dinámicas) de  $17.84 \times 10^{-6} \text{ m/s}$  en IRHS – 008. Fuente: PLAXIS.

**Figura 226.**  
*Presión efectiva en IRHS – 008.*



Los resultados indican una presión efectiva de  $-383.49 \text{ kN/m}^2$  en IRHS – 008. Fuente: PLAXIS.

**Figura 227.**  
*Proceso del cálculo durante todo el tiempo que dura el sismo en pozo IRHS – 008.*



Fuente: PLAXIS.

**Figura 228.**  
Resultados de tensión efectiva en IRHS – 008.

Soil Element	Stress Point	X [m]	Y [m]	$\sigma_{xx}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_{yy}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xy}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_{zz}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	Status	Soil Element	Stress Point	X [m]	Y [m]	$\sigma_{xx}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_{yy}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xy}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_{zz}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	Status
1 Suelo 10 -	1	59.801	25.939	-87.657	-179.630	-3.434	-131.717	Elastic	194 Suelo 0 - 1	2307	92.622	39.937	18.993	-0.743	-0.118	3.104	Elastic
	2	59.604	29.707	-36.059	-147.575	14.683	-91.684	Elastic		2308	97.895	39.499	14.812	-6.820	0.488	-2.740	Elastic
	3	55.825	29.707	-15.328	-141.091	14.446	-83.520	Elastic		2309	97.895	39.751	18.910	-3.476	0.332	0.930	Elastic
	4	58.843	27.669	-56.222	-166.738	2.759	-111.558	Elastic		2310	95.766	39.751	16.980	-3.638	0.253	0.512	Elastic
	5	58.781	28.841	-41.018	-156.403	9.548	-99.251	Elastic		2311	99.551	39.363	14.539	-9.699	2.066	-4.539	Elastic
	6	57.606	28.841	-34.332	-155.626	8.954	-97.012	Elastic		2312	99.551	39.690	20.863	-4.524	0.724	0.583	Elastic
	7	59.790	27.042	-69.516	-171.280	1.238	-119.398	Elastic		2313	97.380	39.947	21.313	-0.795	0.130	3.644	Elastic
	8	59.710	28.558	-48.753	-158.460	8.616	-103.314	Elastic		2314	94.626	39.947	19.446	-0.735	-0.030	3.282	Elastic
	9	58.449	29.753	-30.055	-147.566	15.024	-89.697	Elastic		2315	94.626	39.690	15.652	-4.726	0.340	-0.500	Elastic
	10	56.929	29.753	-21.411	-145.258	15.053	-86.412	Elastic		2316	97.380	39.363	12.136	-8.401	0.208	-4.760	Elastic
	11	56.991	28.558	-33.852	-156.944	6.622	-98.389	Elastic		2317	98.935	39.063	7.679	-12.774	1.433	-9.125	Elastic
	12	58.591	27.042	-64.438	-171.873	-1.204	-118.052	Elastic		2318	92.090	39.874	17.977	-1.783	0.006	2.147	Elastic
2 Suelo 10 -	13	51.266	28.252	-2.565	-71.905	3.644	-64.701	Elastic	2319	92.090	39.063	5.846	-13.412	0.092	-9.619	Elastic	
	14	54.689	29.874	-8.107	-131.214	15.159	-77.729	Elastic	2320	95.790	39.249	9.614	-10.675	0.409	-6.707	Elastic	
	15	51.266	29.874	-0.032	-61.529	7.413	-54.400	Elastic	2321	93.662	39.501	12.595	-7.089	0.107	-3.212	Elastic	
	16	52.052	28.997	-0.846	-92.470	8.181	-67.402	Elastic	2322	93.662	39.249	8.876	-10.648	0.181	-6.850	Elastic	
	17	53.117	29.501	-2.838	-112.349	12.044	-71.964	Elastic	2323	96.931	39.310	11.061	-9.752	0.610	-5.705	Elastic	
	18	52.052	29.501	0.056	-88.872	10.198	-64.053	Elastic	2324	94.177	39.637	14.744	-5.186	0.093	-1.233	Elastic	
	19	52.310	28.727	-2.897	-101.466	7.105	-71.787	Elastic	2325	92.006	39.637	14.441	-5.202	0.033	-1.297	Elastic	
	20	53.687	29.379	-5.889	-122.710	11.810	-76.472	Elastic	2326	92.006	39.310	9.561	-9.862	0.071	-6.027	Elastic	
	21	53.687	29.894	-3.276	-117.532	14.004	-72.096	Elastic	2327	94.177	39.053	6.112	-13.422	0.283	-9.654	Elastic	
	22	52.310	29.894	-1.059	-92.982	12.219	-64.066	Elastic	2328	96.931	39.053	7.011	-13.368	0.736	-9.464	Elastic	
	23	51.224	29.379	2.249	-61.853	6.079	-55.773	Elastic									

Se obtuvieron un total de 2328 puntos analizados. Fuente: PLAXIS.

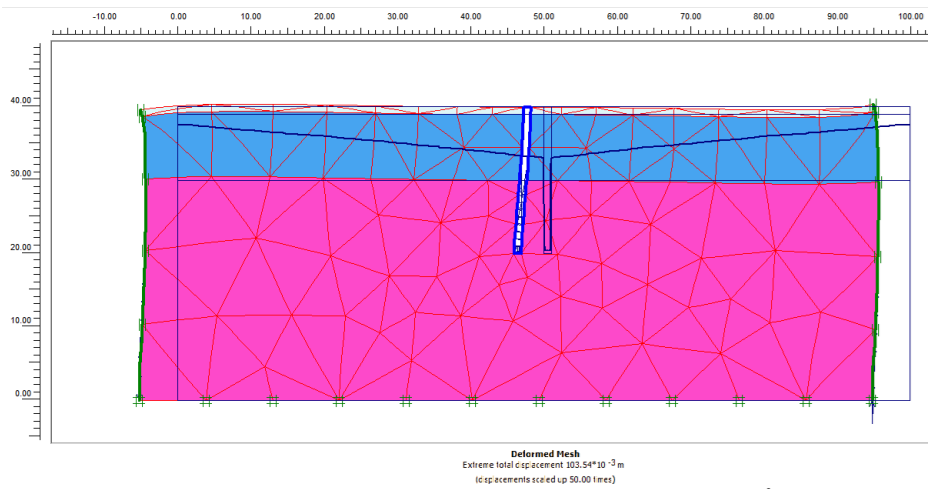
**Figura 229.**  
Resultados de las deformaciones efectivas en IRHS – 008.

Node	X [m]	Y [m]	Ux [10 <sup>-3</sup> m]	Uy [10 <sup>-3</sup> m]	$\Delta Ux$ [10 <sup>-3</sup> m]	$\Delta Uy$ [10 <sup>-3</sup> m]	Node	X [m]	Y [m]	Ux [10 <sup>-3</sup> m]	Uy [10 <sup>-3</sup> m]	$\Delta Ux$ [10 <sup>-3</sup> m]	$\Delta Uy$ [10 <sup>-3</sup> m]
1	0.000	27.500	-85.654	5.954	5.508	15.789	1607	97.889	36.750	-87.483	-2.461	9.072	-18.565
2	0.000	25.000	-85.901	7.331	4.469	14.527	1608	93.668	39.000	-83.010	-6.573	8.509	-17.045
3	0.000	22.500	-86.862	8.326	3.555	13.114	1609	95.778	39.000	-87.218	-4.457	9.299	-18.212
4	4.308	27.500	-82.688	8.856	3.972	13.787	1610	95.778	36.750	-84.355	-6.025	8.247	-17.658
5	2.154	27.500	-84.022	7.660	4.744	14.783	1611	93.668	36.750	-81.336	-8.015	7.341	-16.500
6	2.154	25.000	-84.643	8.377	3.710	13.608	1612	93.668	34.500	-80.286	-8.907	6.300	-15.708
7	0.000	36.750	-90.331	-3.397	9.800	19.429	1613	97.889	39.000	-91.844	-0.686	9.979	-19.052
8	0.000	34.500	-87.701	-0.277	8.978	18.853	1614	97.889	39.250	-92.389	-0.562	10.098	-19.106
9	0.000	32.250	-86.660	2.385	8.038	17.989	1615	95.778	39.500	-87.845	-4.231	9.563	-18.320
10	2.154	32.250	-83.894	5.278	7.112	16.967	1616	93.668	39.750	-83.533	-6.251	8.936	-17.173
11	4.308	32.250	-81.681	7.551	6.173	15.912	1617	93.668	39.500	-83.341	-6.371	8.793	-17.141
12	2.154	34.500	-84.590	3.729	8.127	17.909	1618	93.668	39.250	-83.166	-6.478	8.651	-17.098
13	6.462	30.000	-80.716	9.295	4.261	13.651	1619	95.778	39.250	-87.522	-4.350	9.432	-18.272
14	4.308	30.000	-82.262	8.286	5.112	14.793	1620	100.000	39.250	-97.382	6.541	10.700	-19.877
15	2.154	30.000	-84.130	6.618	5.956	15.813	1621	97.889	40.000	-94.201	-0.176	10.396	-19.205
16	0.000	30.000	-86.261	4.359	6.791	16.925	1622	95.778	40.000	-88.491	-3.953	9.812	-18.383
17	6.462	32.250	-79.807	8.953	5.221	14.706	1623	100.000	39.500	-98.469	6.936	10.828	-19.916
18	4.308	34.500	-82.028	6.687	7.214	16.882	1624	97.889	39.750	-93.562	-0.336	10.307	-19.184
19	2.154	36.750	-86.871	2.102	9.049	18.591	1625	95.778	39.750	-88.165	-4.106	9.690	-18.357
20	6.462	34.500	-79.674	8.396	6.225	15.696	1626	97.889	39.500	-92.952	-0.465	10.207	-19.151
21	6.462	36.750	-80.613	7.500	7.263	16.482	1627	100.000	39.750	-99.585	7.264	10.936	-19.944
22	4.308	36.750	-83.679	5.604	8.197	17.667	1628	93.668	40.000	-83.728	-6.097	9.086	-17.202
23	6.462	39.250	-82.265	5.979	8.580	17.082	1629	100.000	40.000	-100.769	7.522	11.041	-19.967

Se obtuvieron un total de 1629 puntos analizados. Fuente: PLAXIS.

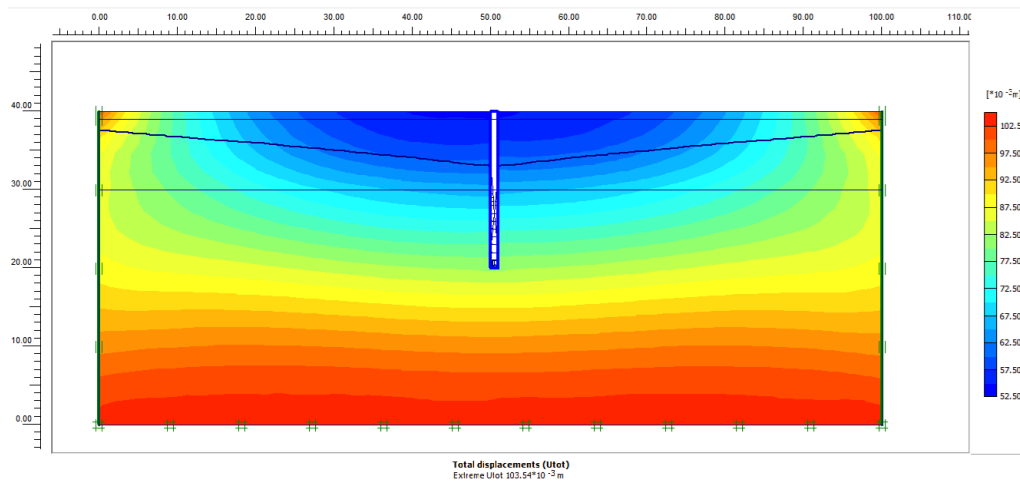


**Figura 230.**  
Deformación de la malla en IRHS – 008.



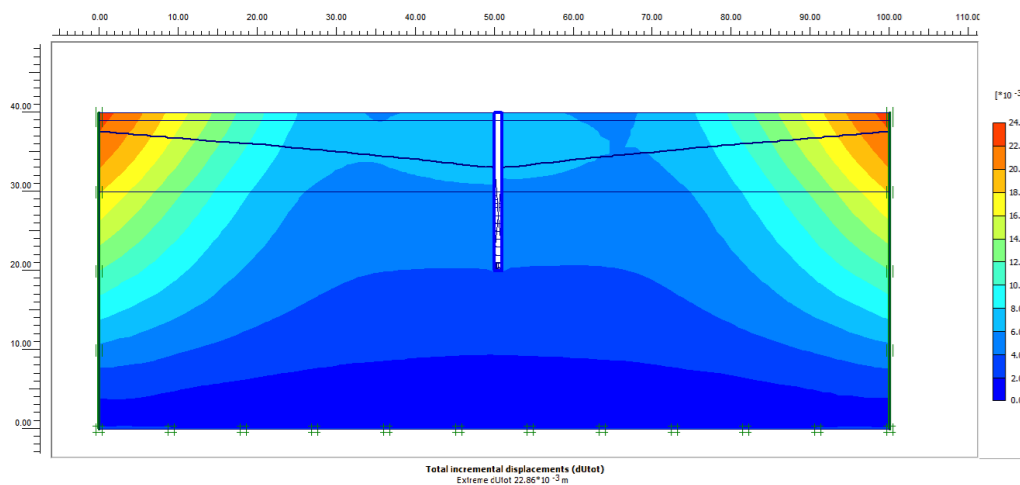
La deformación máxima de la malla de elementos finitos es  $103.54 \times 10^{-3}$  m. en IRHS – 008. Fuente: PLAXIS.

**Figura 231.**  
Desplazamiento total en IRHS – 008.



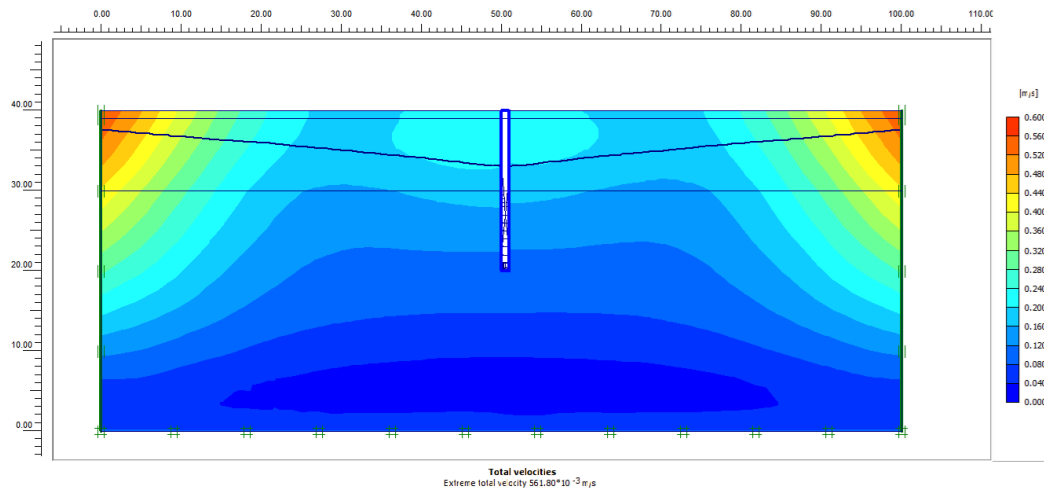
El resultado indica un desplazamiento total de  $103.54 \times 10^{-3}$  metros en IRHS – 008. Fuente: PLAXIS.

**Figura 232.**  
Desplazamiento incremental total en IRHS – 008.



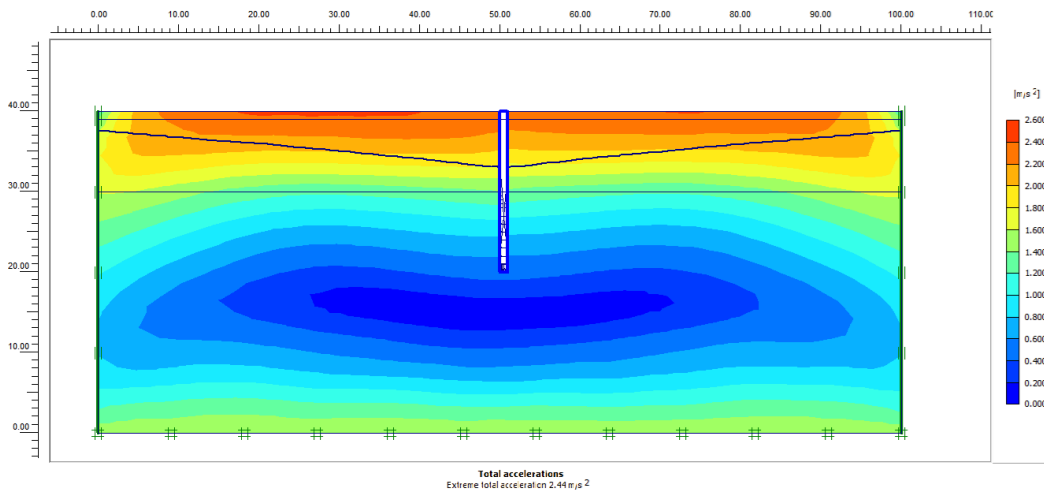
El resultado indica un desplazamiento incremental total de  $22.86 \times 10^{-3}$  metros en IRHS – 008. Fuente: PLAXIS.

**Figura 233.**  
*Velocidades totales en IRHS – 008.*



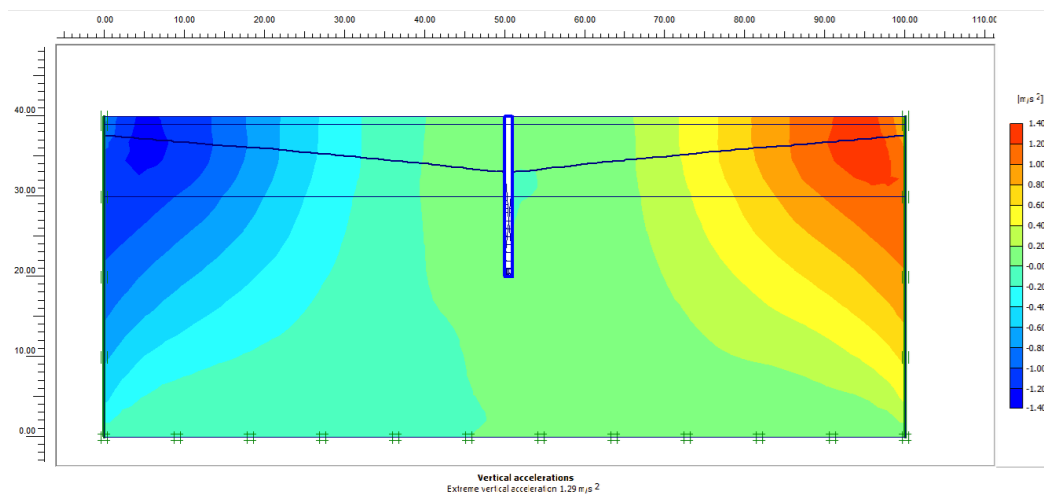
*El resultado indica una velocidad total de  $561.80 \times 10^{-3}$  m/s en IRHS – 008. Fuente: PLAXIS.*

**Figura 234.**  
*Aceleraciones totales en IRHS – 008.*



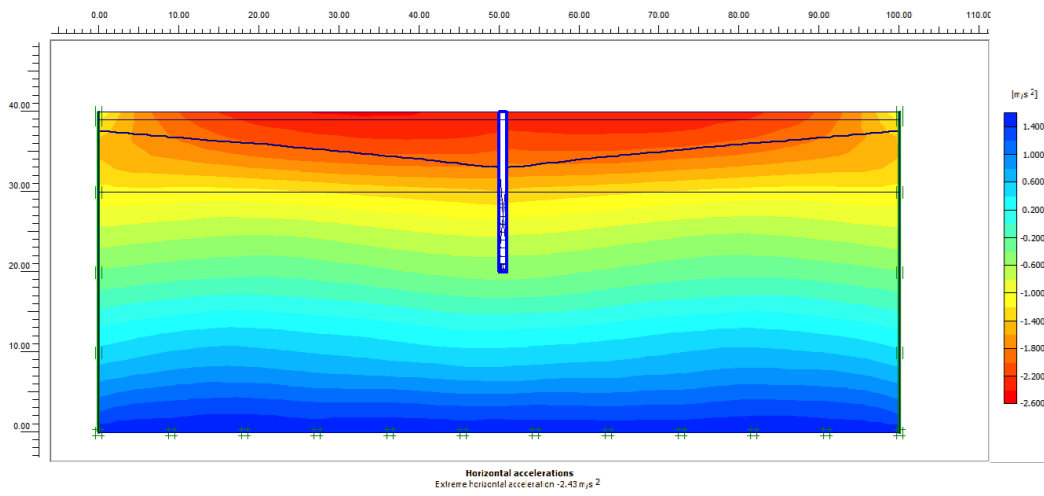
*El resultado indica una aceleración total de  $2.44$  m/s<sup>2</sup> en IRHS – 008. Fuente: PLAXIS.*

**Figura 235.**  
*Aceleración vertical en IRHS – 008.*



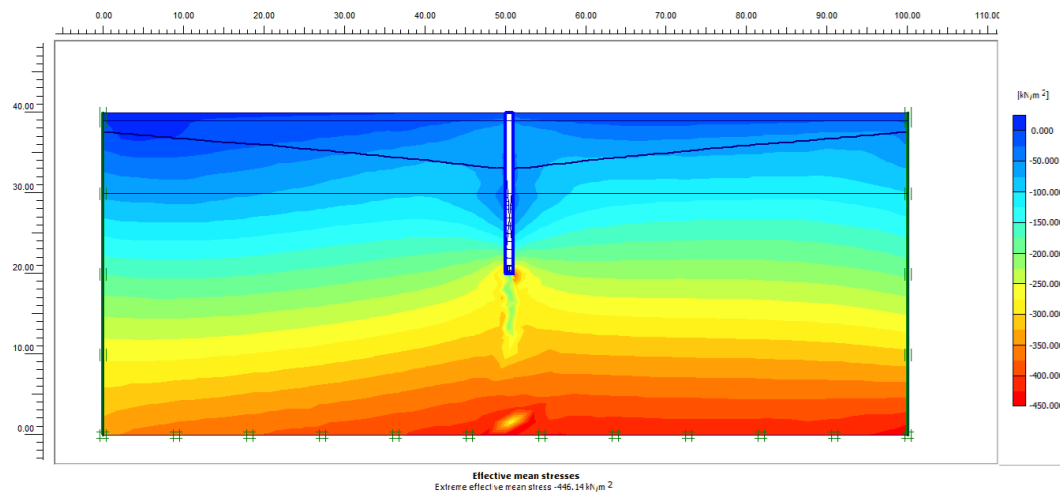
*El resultado indica una aceleración vertical de  $1.29$  m/s<sup>2</sup> en IRHS – 008. Fuente: PLAXIS.*

**Figura 236.**  
Aceleración horizontal en IRHS – 008.



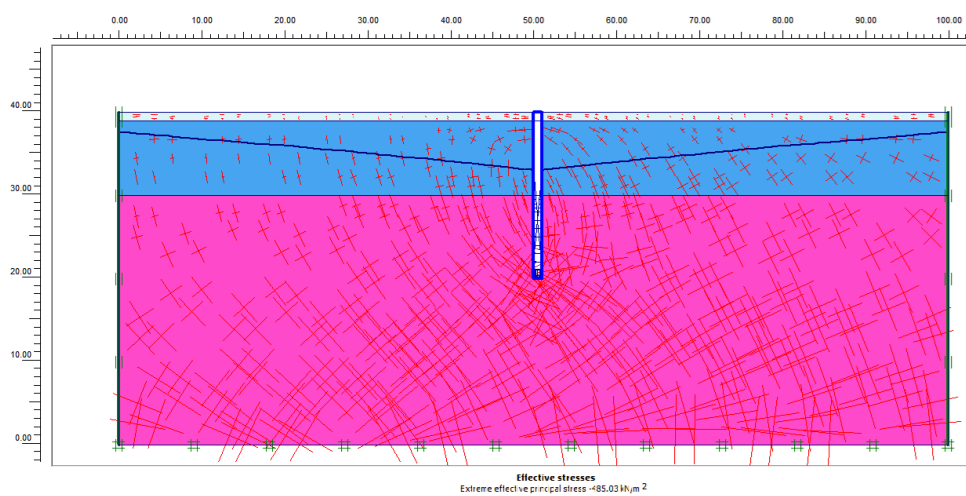
El resultado indica una aceleración horizontal de  $-2.43 \text{ m/s}^2$  en IRHS – 008. Fuente: PLAXIS.

**Figura 237.**  
Tensiones medias efectivas en IRHS – 008.



El resultado indica una tensión media efectiva de  $-446.14 \text{ kN/m}^2$  en IRHS – 008. Fuente: PLAXIS.

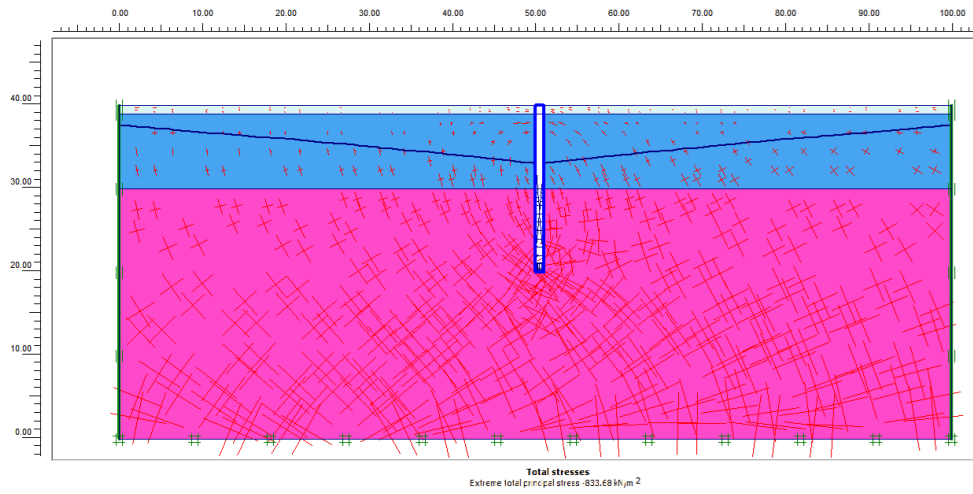
**Figura 238.**  
Tensión efectiva en IRHS – 008.



El resultado indica una tensión efectiva de  $-485.03 \text{ kN/m}^2$  en IRHS – 008. Fuente: PLAXIS.

### Figura 239.

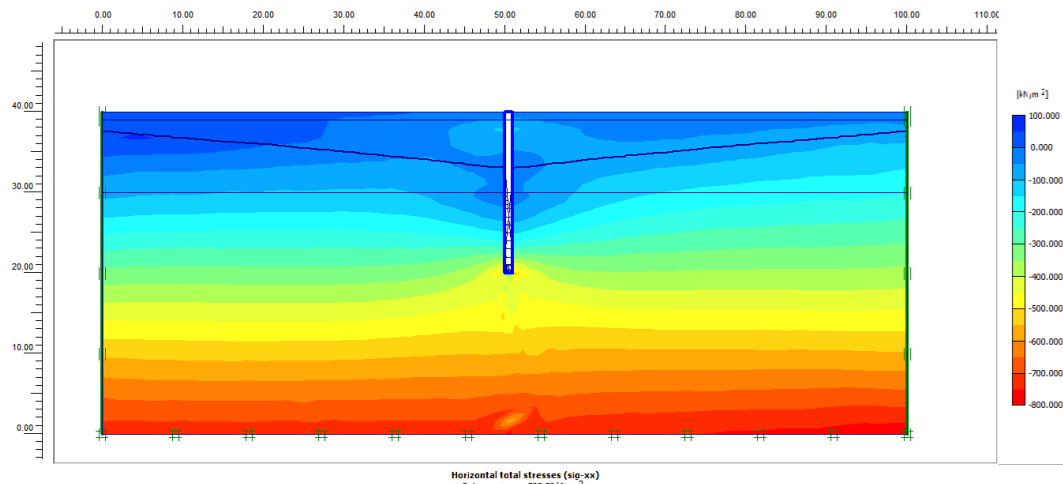
Tensión total en IRHS – 008.



El resultado indica una tensión total de  $-833.68 \text{ kN/m}^2$  en IRHS – 008. Fuente: PLAXIS.

### Figura 240.

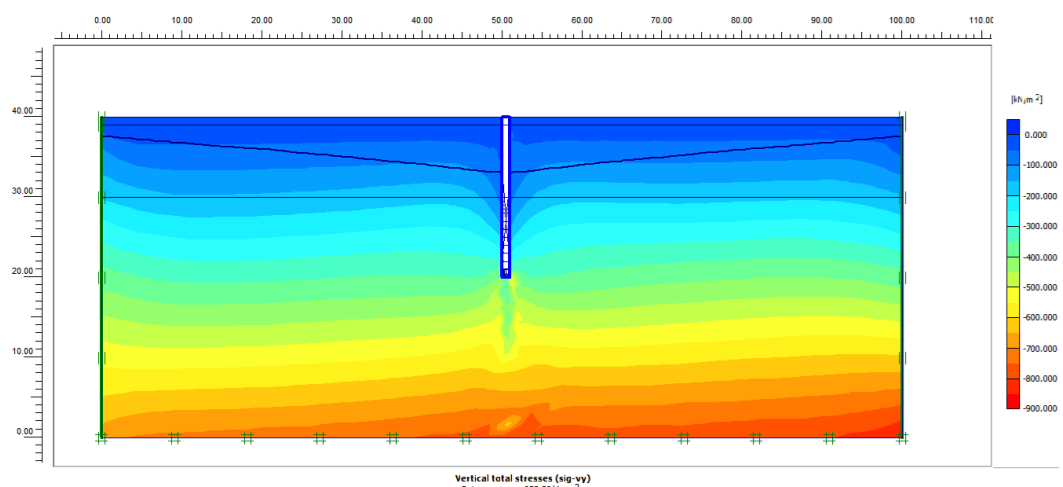
Tensión total horizontal en IRHS – 008.



El resultado indica una tensión total horizontal de  $-792.70 \text{ kN/m}^2$  en IRHS – 008. Fuente: PLAXIS.

### Figura 241.

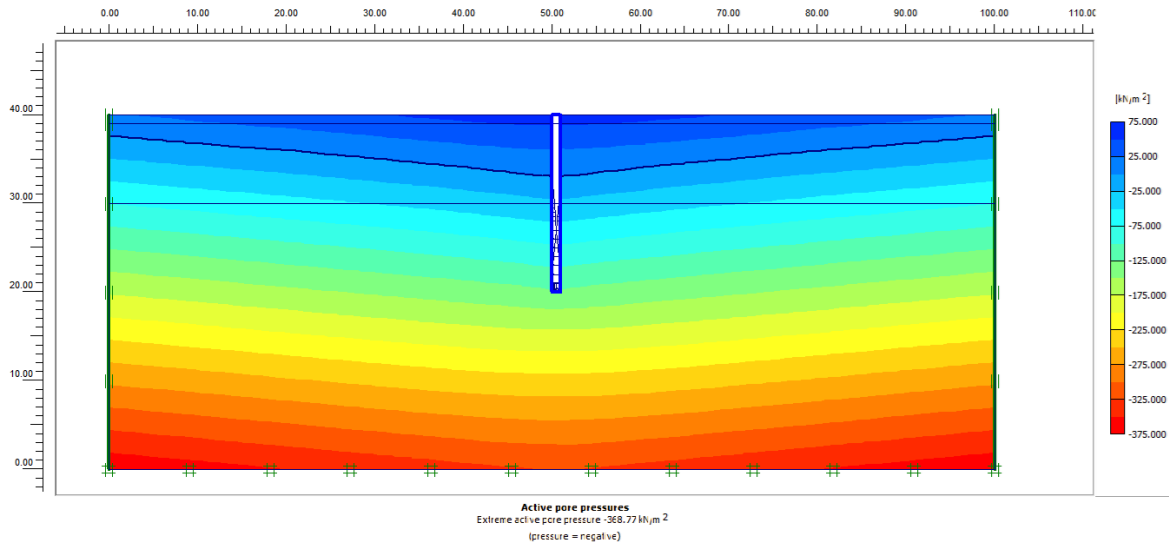
Tensión total vertical en IRHS – 008.



El resultado indica una tensión total vertical de  $-855.53 \text{ kN/m}^2$  en IRHS – 008. Fuente: PLAXIS.

### Figura 242.

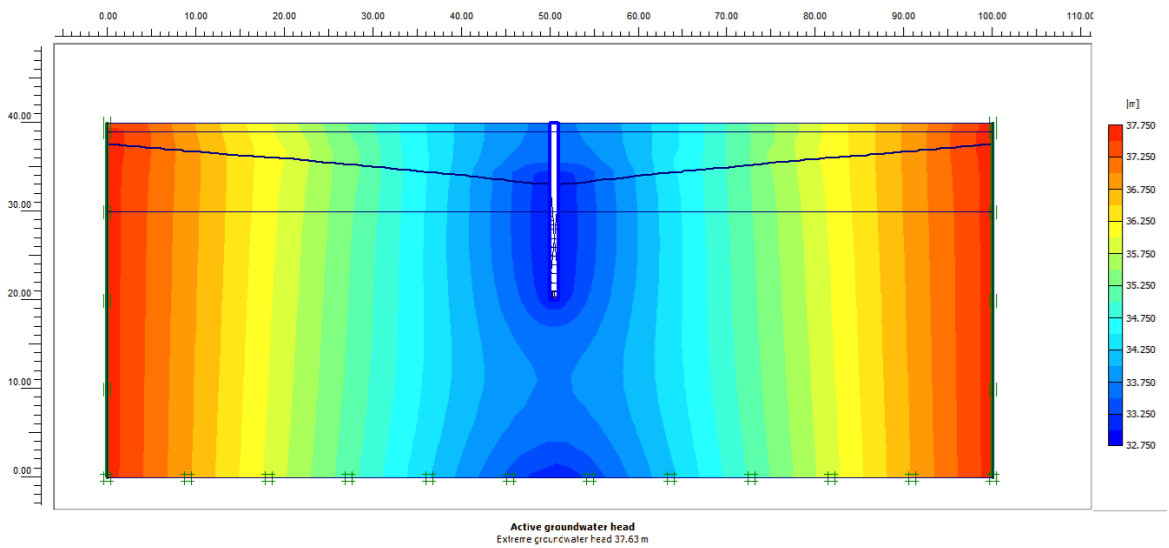
Presiones de poro activas en IRHS – 008.



El resultado indica una presión de poros activa de  $-368.77 \text{ kN/m}^2$  en IRHS – 008. Fuente: PLAXIS.

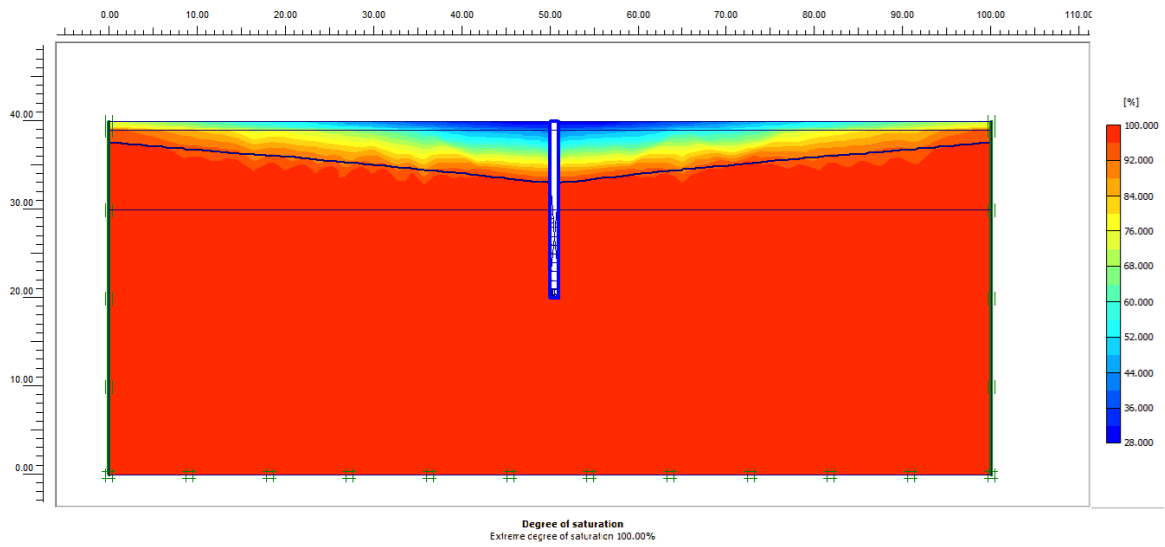
### Figura 243.

Altura activa de las aguas subterráneas en IRHS – 008.



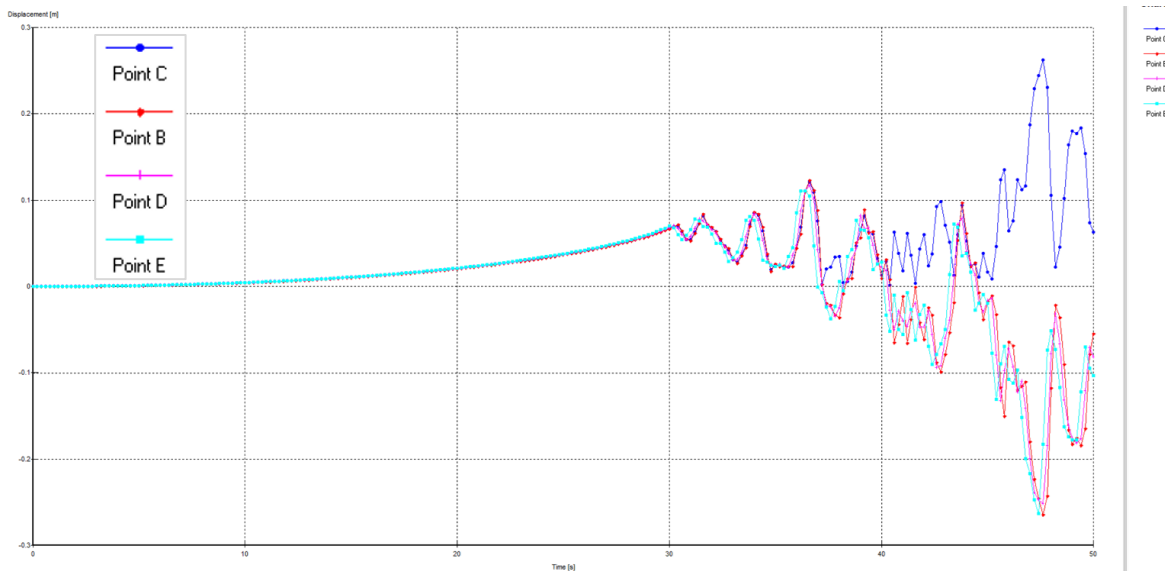
Los resultados indican una altura activa de las aguas subterráneas de 37.63 metros en IRHS – 008; Es la distancia vertical entre el nivel freático y el punto más bajo dentro de un acuífero donde el agua está en movimiento (Importante para la gestión y explotación de los recursos hídricos subterráneos. Fuente: PLAXIS.

**Figura 244.**  
*Grado de saturación en IRHS – 008.*



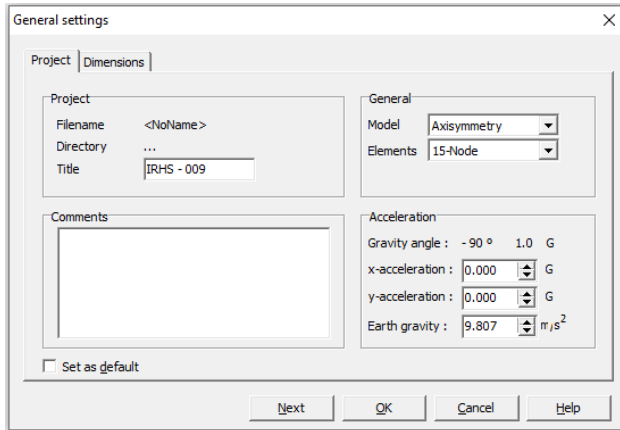
Fuente: PLAXIS.

**Figura 245.**  
*Curvas de desplazamiento en IRHS – 008.*



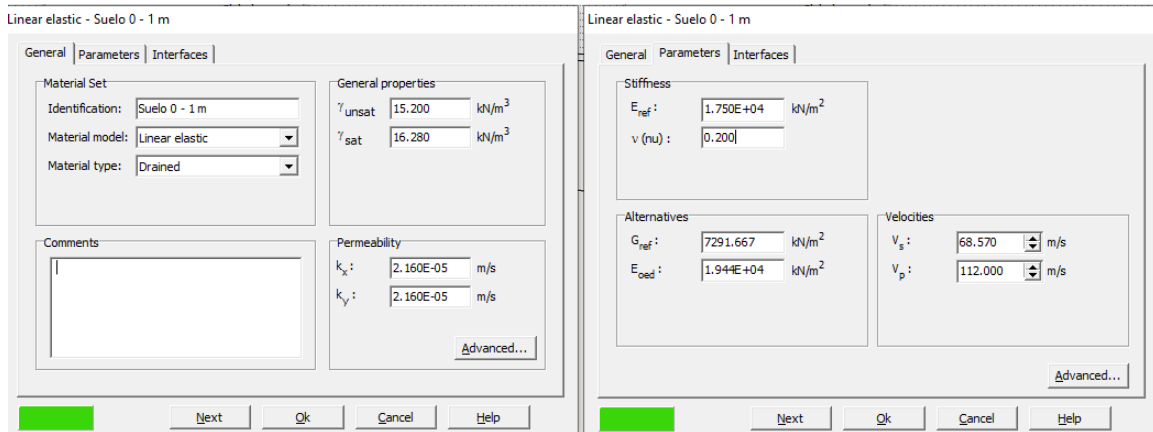
*El punto C corresponde a la parte superior del pozo, el punto B corresponde al nivel freático, el punto D corresponde a la parte inferior del pozo y el punto E corresponde a la base de la sección de suelo analizado del pozo IRHS – 008. Fuente: PLAXIS.*

**Figura 246.**  
Configuración general del pozo IRHS – 009.



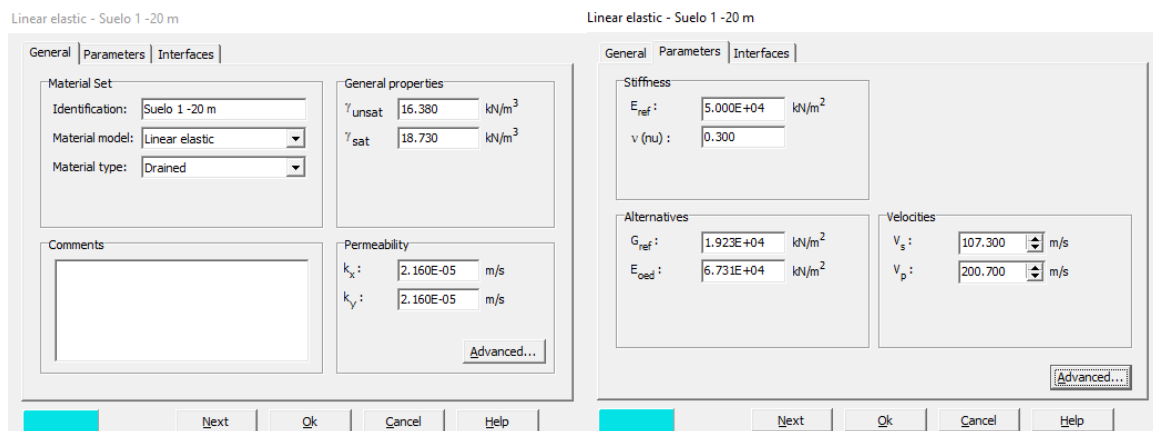
Fuente: PLAXIS.

**Figura 247.**  
Características del primer estrato en IRHS-009.



Estrato que va, desde el nivel del terreno natural hasta 1 metro de profundidad. Fuente: PLAXIS.

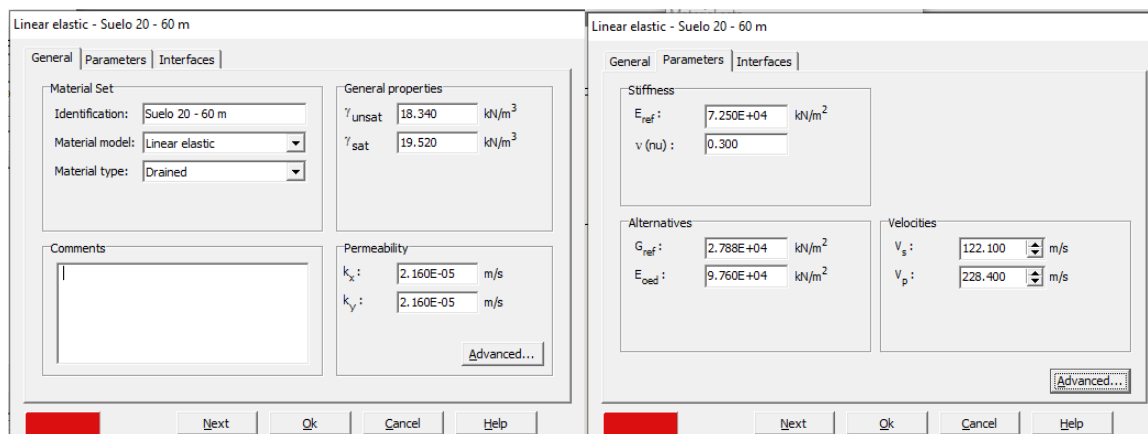
**Figura 248.**  
Características del segundo estrato en IRHS-009.



Estrato que va, desde 1 metro hasta los 20 metros de profundidad. Fuente: PLAXIS.

**Figura 249.**

Características del tercer estrato en IRHS-009.



Estrato que va, desde 20 metros hasta los 60 metros de profundidad. Fuente: PLAXIS.

Para la tubería de acero al carbono de 18 pulgadas, se tendría:

**Tabla 74.**

Propiedades de la tubería ciega en pozo IRHS – 009.

DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDAD DE MEDIDA
Espesor:	6.35	mm
Diámetro Interno:	18	pulgadas
Diámetro Externo:	0.469900914	m
Módulo de Elasticidad (E):	2.10E+11	N/m <sup>2</sup>
Poisson (ν):	0.28	
Sección Transversal (A):	0.00924743	m <sup>2</sup>
Momento de Inercia (I):	0.003974911	m <sup>4</sup>
EA:	1,941,960.24	kN
EI:	834,731.31	kN*m <sup>2</sup>
Densidad:	77.04	kN/m <sup>3</sup>
Peso revestimiento (w):	0.712387865	kN/m
Coeficiente de Rayleigh α:	0.01	
Coeficiente de Rayleigh β:	0.01	

Fuente: Elaboración propia.

Para el filtro de acero al carbono de 18 pulgadas, se tendría:

**Tabla 75.**

Propiedades del filtro (tubería ranurada) en pozo IRHS – 009.

DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDAD DE MEDIDA
Espesor:	6.35	mm
Diámetro Interno:	18	pulgadas
Diámetro Externo:	0.469900914	m
Módulo de Elasticidad (E):	2.00E+11	N/m <sup>2</sup>
Poisson (ν):	0.27	
Sección Transversal (A):	0.00924743	m <sup>2</sup>



DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDAD DE MEDIDA
Momento de Inercia (I):	0.003974911	m <sup>4</sup>
EA:	1,844,862.23	kN
EI:	792,994.74	kN*m <sup>2</sup>
Densidad:	69.33	kN/m <sup>3</sup>
Peso revestimiento (w):	0.641149078	kN/m
Coefficiente de Rayleigh $\alpha$ :	0.01	
Coefficiente de Rayleigh $\beta$ :	0.01	

Fuente: Elaboración propia.

### Figura 250.

Tubería ciega de acero al carbono en pozo IRHS – 009.

Fuente: PLAXIS.

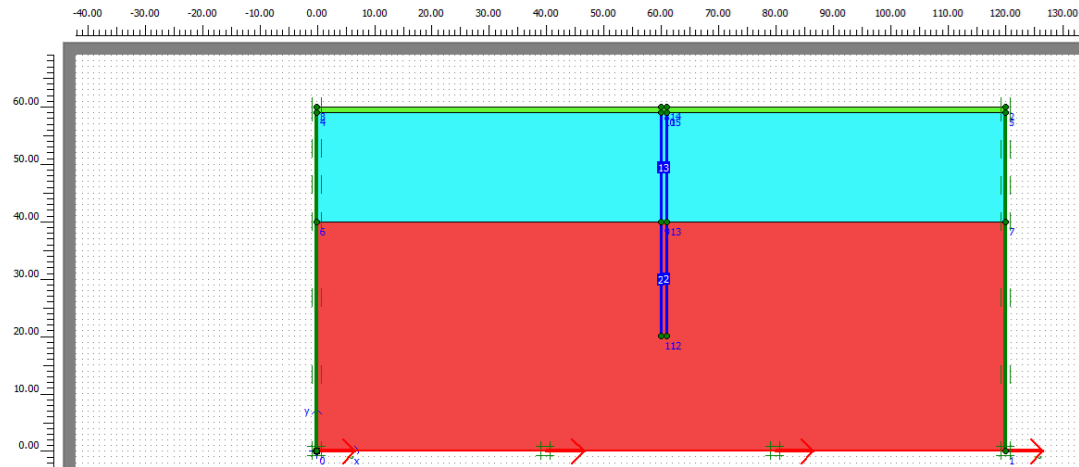
### Figura 251.

Tubería ranurada de acero al carbono (filtro) en pozo IRHS – 009.

Fuente: PLAXIS.

**Figura 252.**

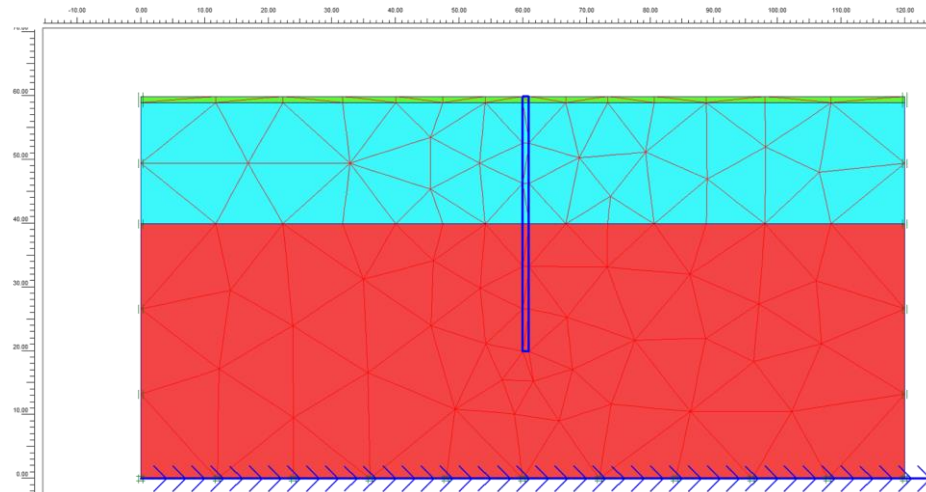
*Distribución de materiales y carga sísmica en IRHS – 009.*



*Asignación de materiales, carga sísmica y límites espaciales del terremoto en IRHS – 009. Fuente: PLAXIS.*

**Figura 253.**

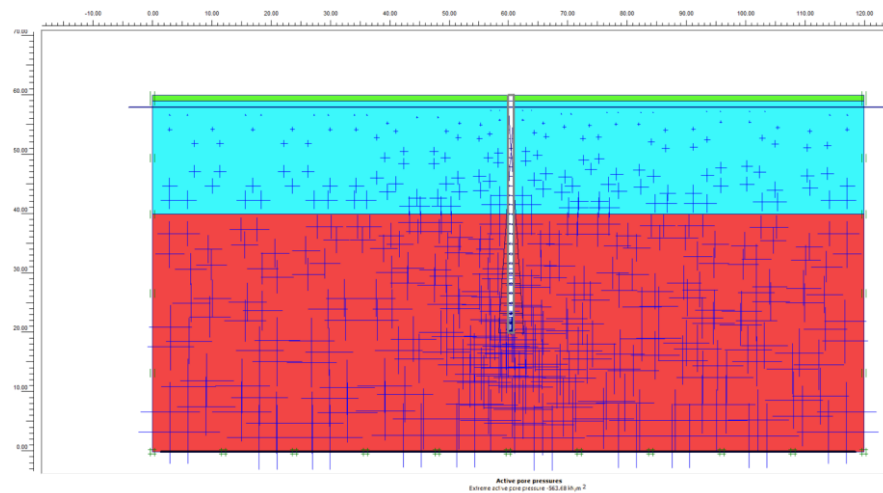
*Generación de malla de elementos finitos en IRHS – 009.*



*Fuente: PLAXIS.*

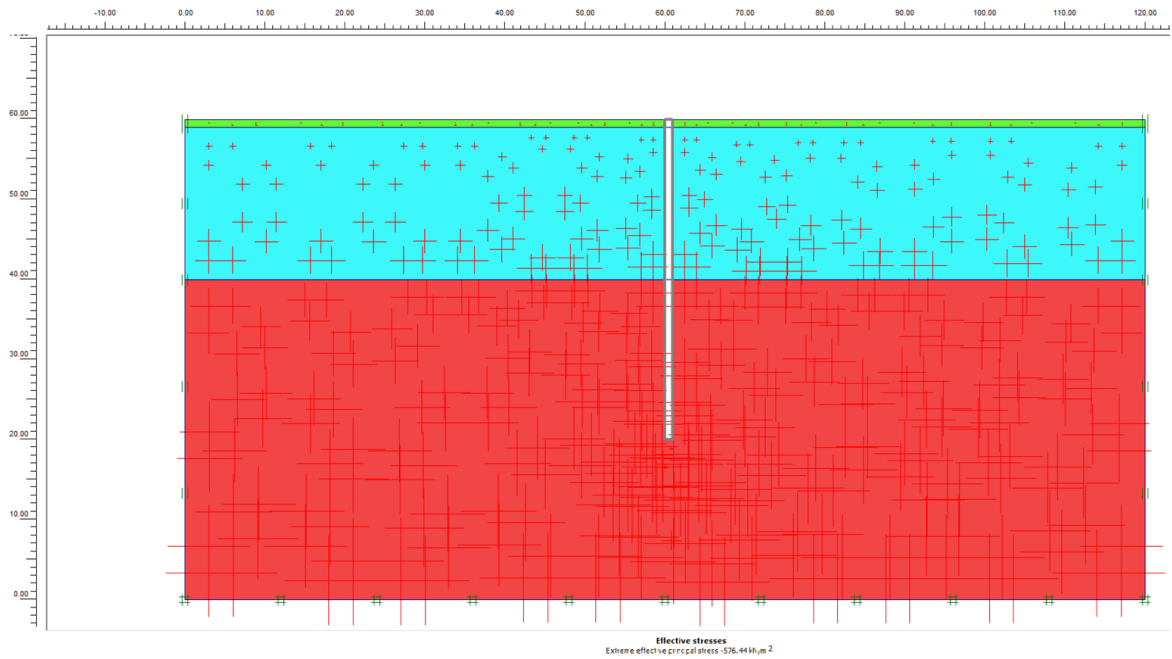
**Figura 254.**

*Presiones de poros activas en IRHS – 009.*



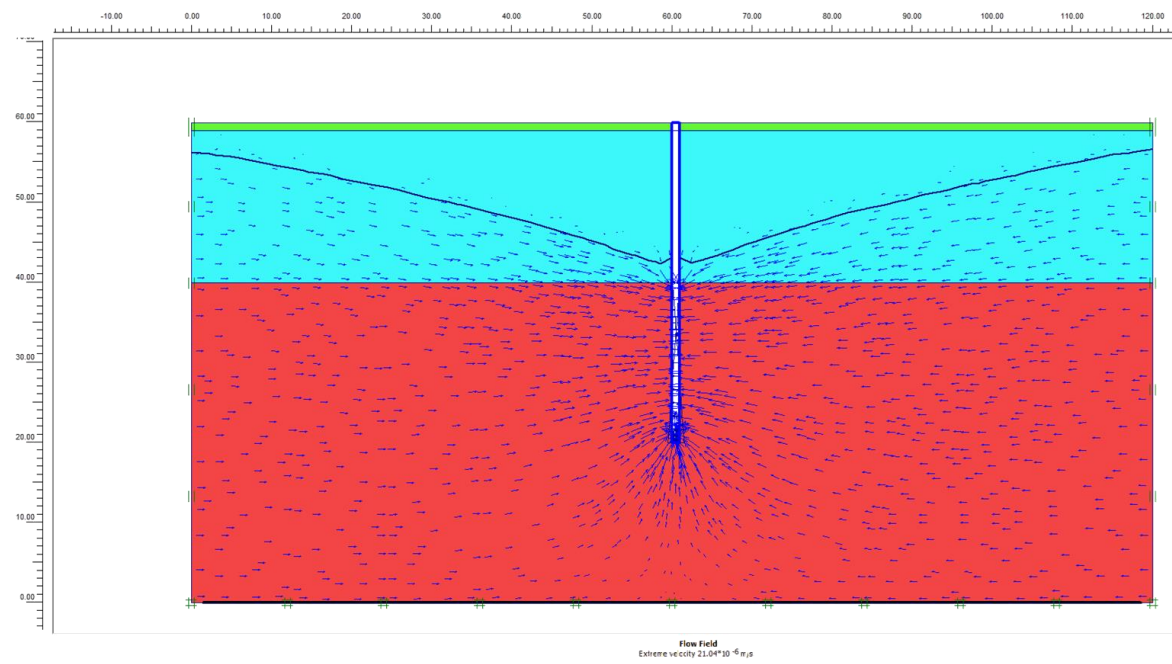
*El resultado indica una presión de poros activa de -563.68 kN/m<sup>2</sup> en IRHS – 009. Fuente: PLAXIS.*

**Figura 255.**  
*Presión efectiva en IRHS-009.*



El resultado indica una presión efectiva de -576.44 kN/m<sup>2</sup> en IRHS – 009. Fuente: PLAXIS.

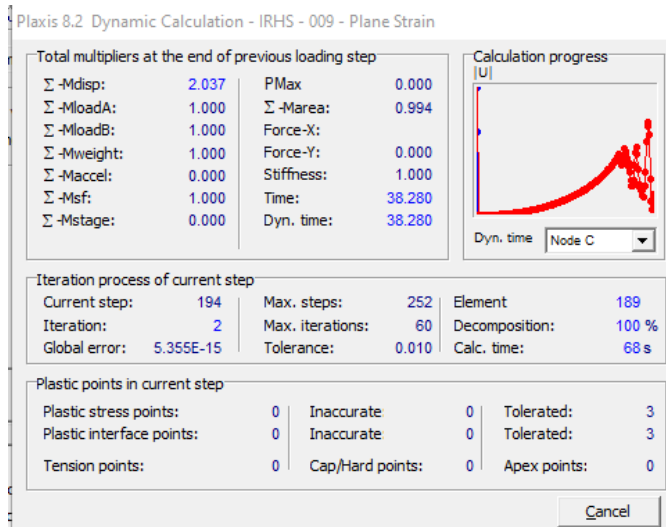
**Figura 256.**  
*Velocidad del agua subterránea en IRHS-009.*



El resultado indica una velocidad de  $21.04 \cdot 10^{-6}$  m/s (nivel dinámico estable) en IRHS – 009. Fuente: PLAXIS.

**Figura 257.**

Proceso del cálculo durante todo el tiempo que dura el sismo en IRHS-009.



Fuente: PLAXIS.

**Figura 258.**

Resultados de tensión efectiva en IRHS-009.

Cluster	Soil Element	Stress Point	X [m]	Y [m]	$\sigma_{xx}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_{yy}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xy}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_{zz}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	Status	Cluster	Soil Element	Stress Point	X [m]	Y [m]	$\sigma_{xx}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_{yy}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xy}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_{zz}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	Status		
1	1	Suelo 20	1	72.822	34.069	-45.360	-376.875	-26.614	-226.656	Elastic											
			2	72.902	39.572	7.921	-319.570	31.708	-172.088	Elastic											
			3	67.620	39.572	36.171	-270.357	28.934	-148.849	Elastic											
			4	71.648	36.597	-4.970	-344.323	2.522	-194.947	Elastic											
			5	71.671	38.308	8.396	-326.501	19.875	-178.938	Elastic											
			6	70.029	38.308	19.533	-313.291	20.418	-171.633	Elastic											
			7	72.914	35.680	-24.430	-360.454	-8.028	-209.189	Elastic											
			8	72.944	37.894	-3.387	-337.279	15.318	-187.317	Elastic											
			9	71.292	39.639	18.912	-310.381	32.239	-165.771	Elastic											
			10	69.167	39.639	31.643	-290.602	31.061	-156.018	Elastic											
			11	69.143	37.894	21.931	-308.102	17.154	-170.969	Elastic											
			12	71.238	35.680	-10.774	-351.358	-7.156	-202.363	Elastic											
	2	Suelo 20	13	61.366	34.175	19.331	-140.850	2.517	-136.033	Elastic											
			14	66.071	39.579	40.716	-242.956	25.826	-139.235	Elastic											
			15	61.366	39.579	31.544	-108.090	-0.133	-101.527	Elastic											
			16	62.447	36.657	28.928	-164.944	7.996	-130.730	Elastic											
			17	63.910	38.338	37.019	-199.588	15.167	-132.160	Elastic											
			18	62.447	38.338	33.611	-155.323	9.531	-119.903	Elastic											
			19	62.801	35.757	26.182	-184.735	6.857	-140.992	Elastic											
			20	64.694	37.931	35.212	-225.344	16.495	-142.012	Elastic											
			21	64.694	39.646	39.961	-212.375	21.984	-130.030	Elastic											
			22	62.801	39.646	35.154	-163.042	13.275	-116.672	Elastic											
			23	61.308	37.931	28.249	-114.589	2.908	-110.874	Elastic											
			24	61.308	35.757	21.499	-128.548	5.214	-125.541	Elastic											
			3	Suelo 20	25	66.186	25.944	-221.621	-422.223	-148.363											
	26	61.374			32.410	13.320	-156.828	-4.621	-149.492	Elastic											
	27	61.374			27.005	-92.997	-250.095	-63.897	-230.381	Elastic											
	28	63.976			27.672	-101.881	-363.186	-97.715	-264.377	Elastic											
	29	62.480			29.683	-19.307	-256.367	-38.260	-199.741	Elastic											
	30	62.480			28.002	-64.645	-294.679	-67.934	-231.372	Elastic											
	31	64.778			27.903	-105.370	-381.423	-103.327	-270.000	Elastic											
	32	62.842			30.504	-9.000	-256.365	-29.702	-193.458	Elastic											
	33	61.315			30.840	1.771	-172.301	-16.123	-163.699	Elastic											
	34	61.315			28.666	-31.665	-205.072	-38.232	-192.015	Elastic											
	35	62.842			26.615	-135.765	-352.189	-105.268	-275.356	Elastic											
0-1	Suelo 0-1	2234			107.740	59.937	3.410	-0.753	0.577	-0.044	Elastic										
		2235	99.356	59.937	-0.611	-0.918	-0.033	-0.881	Elastic												
		2236	105.815	59.499	-3.615	-6.313	-0.226	-6.559	Elastic												
		2237	105.815	59.751	-0.096	-3.278	-0.149	-2.948	Elastic												
		2238	103.207	59.751	-0.949	-3.262	0.011	-3.116	Elastic												
		2239	107.843	59.363	-4.698	-8.840	0.401	-8.513	Elastic												
		2240	107.843	59.690	-0.134	-4.471	0.565	-3.751	Elastic												
		2241	105.183	59.947	2.495	-0.740	-0.203	-0.134	Elastic												
		2242	101.810	59.947	1.284	-0.718	0.162	-0.371	Elastic												
		2243	101.810	59.690	-2.481	-4.377	0.202	-4.202	Elastic												
		2244	105.183	59.363	-5.739	-8.004	-0.241	-8.554	Elastic												
		188	2245	109.857	59.063	-8.049	-12.855	0.219	-12.725	Elastic											
0-1	Suelo 0-1	2246	119.268	59.063	3.057	-7.732	-3.383	-9.480	Elastic												
		2247	119.268	59.874	8.655	-1.401	-0.133	0.300	Elastic												
		2248	114.180	59.249	0.938	-8.651	-0.460	-8.389	Elastic												
		2249	117.106	59.249	3.876	-9.819	-1.320	-8.035	Elastic												
		2250	117.106	59.501	7.088	-6.785	-0.926	-4.486	Elastic												
		2251	112.612	59.053	-4.359	-10.163	0.080	-11.540	Elastic												
		2252	116.398	59.053	0.656	-12.714	-0.965	-11.047	Elastic												
		2253	119.383	59.310	4.391	-5.434	-1.942	-6.498	Elastic												
		2254	119.383	59.637	6.460	-3.469	-0.352	-2.717	Elastic												
		2255	116.398	59.637	8.839	-4.766	-0.622	-2.501	Elastic												
		2256	112.612	59.310	-0.701	-7.638	0.243	-7.957	Elastic												
		189	2257	109.125	59.126	-7.243	-11.894	-0.947	-11.797	Elastic											
0-1	Suelo 0-1	2258	118.535	59.937	10.964	-0.820	0.162	1.453	Elastic												
		2259	109.125	59.937	2.706	-1.009	-0.619	-0.236	Elastic												
		2260	111.286	59.499	-0.180	-5.808	0.394	-5.771	Elastic												
		2261	114.213	59.751	8.488	-2.919	-0.080	-1.160	Elastic												
		2262	111.286	59.751	3.387	-3.037	0.403	-2.203	Elastic												
		2263	111.995	59.363	-1.023	-7.271	0.455	-7.464	Elastic												
		2264	115.781	59.690	9.317	-3.965	-0.621	-1.760	Elastic												
		2265	115.781	59.947	13.104	-0.621	-0.383	2.012	Elastic												
		2266	111.995	59.947	7.558	-0.644	0.320	0.898	Elastic												
		2267	109.009	59.690	-0.377	-4.523	-0.795	-3.811	Elastic												
		2268	109.009	59.363	-4.250	-8.622	-1.068	-8.379	Elastic												

Se obtuvieron un total de 2268 puntos analizados. Fuente: PLAXIS.

**Figura 259.**

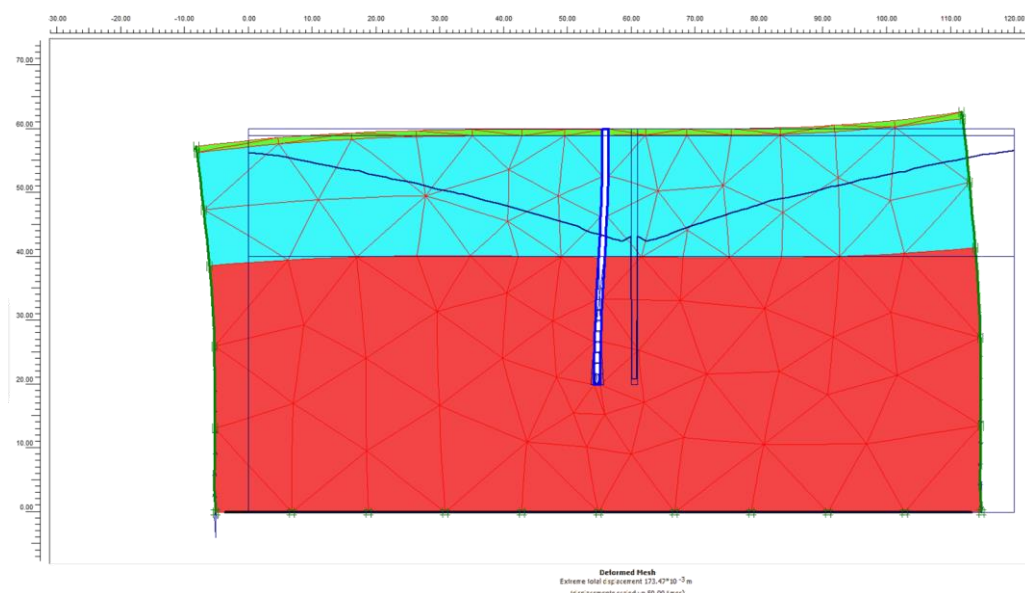
Resultados de las deformaciones efectivas en IRHS-009.

Node	X [m]	Y [m]	Ux [10 <sup>-3</sup> m]	Uy [10 <sup>-3</sup> m]	ΔUx [10 <sup>-3</sup> m]	ΔUy [10 <sup>-3</sup> m]	Node	X [m]	Y [m]	Ux [10 <sup>-3</sup> m]	Uy [10 <sup>-3</sup> m]	ΔUx [10 <sup>-3</sup> m]	ΔUy [10 <sup>-3</sup> m]
1	0.000	60.000	-164.015	-54.392	7.036	4.625	1553	114.196	42.375	-120.299	21.406	4.400	-5.395
2	0.000	59.750	-163.219	-54.253	7.162	4.662	1554	120.000	42.375	-126.819	32.766	5.041	-6.899
3	0.000	59.500	-162.413	-54.092	7.282	4.708	1555	120.000	44.750	-131.210	36.463	5.932	-6.947
4	0.000	59.250	-161.564	-53.900	7.400	4.763	1556	117.098	51.875	-141.373	39.170	8.188	-6.197
5	8.853	60.000	-148.640	-33.277	10.462	5.534	1557	114.196	54.250	-142.016	35.116	9.099	-5.995
6	5.902	60.000	-153.926	-39.902	9.515	5.743	1558	110.845	53.901	-136.225	27.439	9.516	-5.717
7	2.951	60.000	-158.765	-46.479	8.369	5.587	1559	110.396	51.178	-130.411	24.035	8.615	-5.651
8	2.951	59.750	-158.172	-46.377	8.409	5.611	1560	113.747	51.526	-135.763	31.305	8.498	-6.067
9	2.951	59.500	-157.563	-46.268	8.447	5.631	1561	111.294	56.625	-142.477	30.674	9.987	-5.626
10	5.902	59.750	-153.365	-39.787	9.508	5.765	1562	120.000	59.750	-164.027	53.933	7.115	-4.405
11	5.902	59.250	-152.219	-39.528	9.489	5.804	1563	111.294	60.000	-149.798	33.192	10.442	-5.324
12	8.853	59.250	-146.999	-32.889	10.367	5.589	1564	117.098	56.625	-151.635	44.107	8.709	-5.719
13	8.853	59.500	-147.546	-33.024	10.403	5.573	1565	120.000	59.250	-162.373	53.578	7.354	-4.508
14	2.951	59.250	-156.942	-46.153	8.479	5.648	1566	114.196	60.000	-154.960	39.761	9.486	-5.509
15	5.902	59.500	-152.797	-39.665	9.500	5.785	1567	120.000	56.625	-155.648	51.307	7.958	-5.107
16	8.853	59.750	-148.088	-33.148	10.434	5.555	1568	120.000	59.500	-163.219	53.770	7.235	-4.452
17	0.000	56.625	-154.844	-51.603	7.988	5.350	1569	117.098	60.000	-159.685	46.265	8.317	-5.335
18	0.000	54.250	-149.852	-49.265	8.009	5.891	1570	114.196	56.625	-147.210	37.333	9.371	-5.828
19	0.000	51.875	-144.935	-46.443	7.699	6.375	1571	117.098	59.250	-157.856	45.943	8.442	-5.404
20	8.853	59.000	-146.448	-32.743	10.325	5.604	1572	114.196	59.750	-154.397	39.650	9.480	-5.531
21	5.902	59.000	-151.638	-39.381	9.474	5.821	1573	117.098	54.250	-146.423	41.882	8.602	-5.975
22	2.951	59.000	-156.305	-46.018	8.510	5.669	1574	117.098	59.500	-158.479	46.055	8.402	-5.385
23	2.951	56.625	-150.744	-44.288	8.730	5.957	1575	111.294	59.750	-149.243	33.070	10.416	-5.342
24	2.951	54.250	-145.571	-42.047	8.605	6.199	1576	120.000	51.875	-145.658	46.200	7.701	-6.158
25	5.902	56.625	-146.235	-37.458	9.380	6.048	1577	114.196	59.250	-153.248	39.393	9.459	-5.572
26	0.000	59.000	-160.658	-53.678	7.522	4.827	1578	111.294	59.500	-148.686	32.937	10.385	-5.360
27	11.804	59.250	-141.482	-27.003	11.134	5.164	1579	120.000	54.250	-150.621	48.994	7.993	-5.659
28	11.804	59.500	-141.947	-27.134	11.188	5.151	1580	114.196	59.500	-153.828	39.528	9.471	-5.552
29	11.804	59.750	-142.403	-27.262	11.234	5.137	1581	117.098	59.000	-157.225	45.825	8.475	-5.421
30	19.692	60.000	-128.165	-15.353	12.883	3.609	1582	120.000	59.000	-161.472	53.360	7.476	-4.573
31	17.063	60.000	-132.919	-19.050	12.483	4.167	1583	120.000	60.000	-164.827	54.074	6.990	-4.369
32	14.433	60.000	-137.789	-22.952	11.920	4.662	1584	111.294	59.250	-148.124	32.793	10.349	-5.377
33	17.063	59.750	-132.555	-18.933	12.428	4.177	1585	117.098	59.750	-159.087	46.161	8.359	-5.361
34	14.433	59.750	-137.395	-22.832	11.872	4.677	1586	114.196	59.000	-152.663	39.250	9.445	-5.589
35	14.433	59.500	-136.994	-22.706	11.815	4.690	1587	111.294	59.000	-147.555	32.635	10.309	-5.396

Se obtuvieron un total de 1587 puntos analizados. Fuente: PLAXIS.

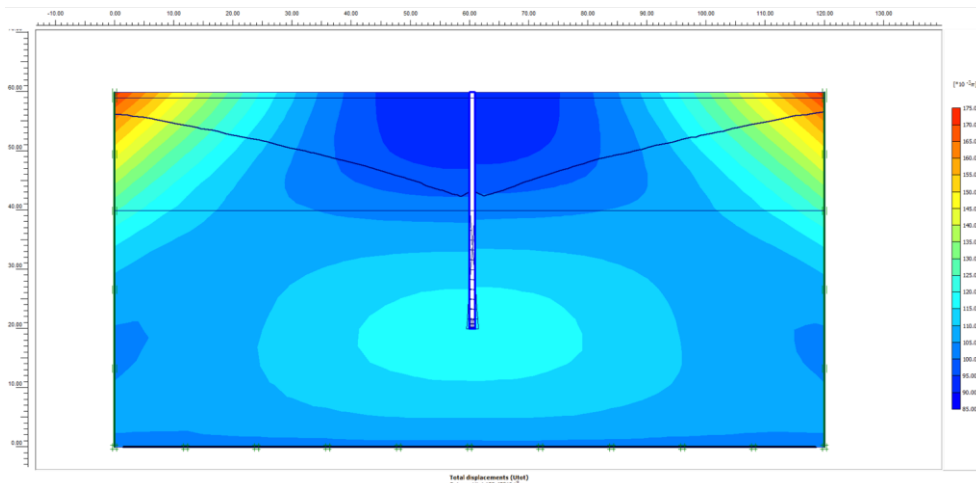
**Figura 260.**

Deformación de la malla de elementos finitos en IRHS-009.



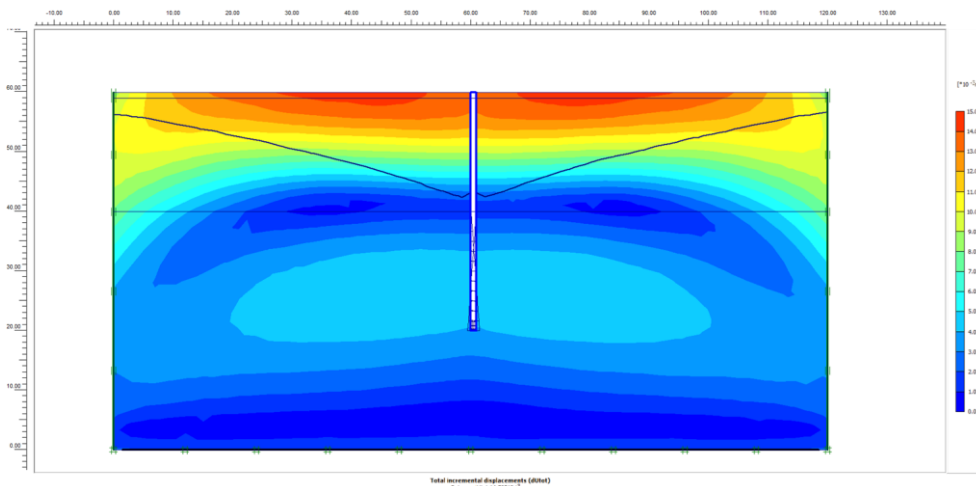
El resultado indica una deformación de la malla de elementos finitos de  $173.47 \times 10^{-3}$  metros en IRHS – 009. Fuente: PLAXIS.

**Figura 261.**  
Desplazamiento total en IRHS-009.



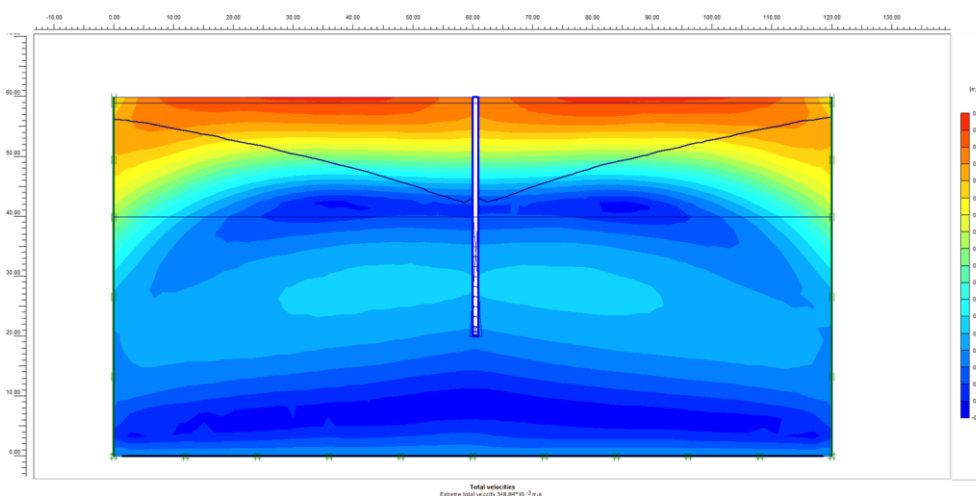
El resultado indica un desplazamiento total de  $173.47 \times 10^{-3}$  metros en IRHS – 009. Fuente: PLAXIS.

**Figura 262.**  
Desplazamiento incremental total en IRHS-009.



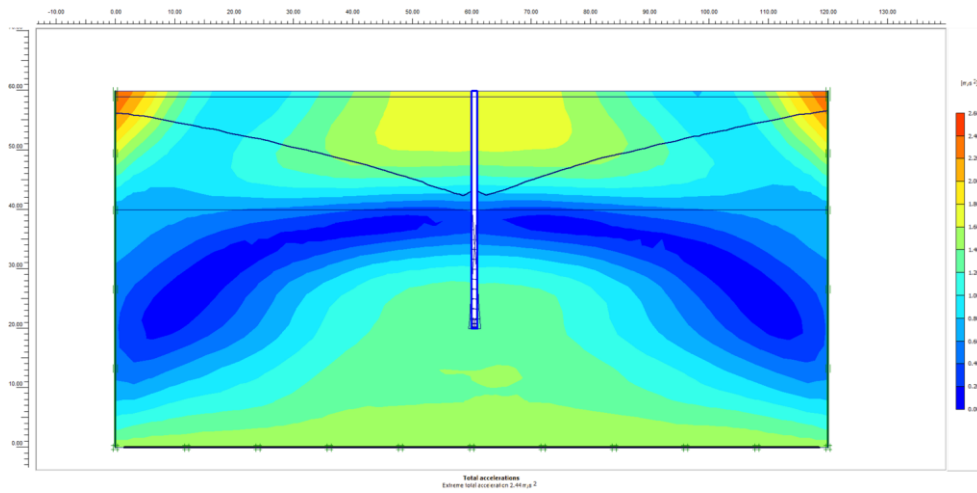
El resultado indica un desplazamiento incremental total de  $14.70 \times 10^{-3}$  metros en IRHS – 009. Fuente: PLAXIS.

**Figura 263.**  
Velocidades totales en IRHS-009.



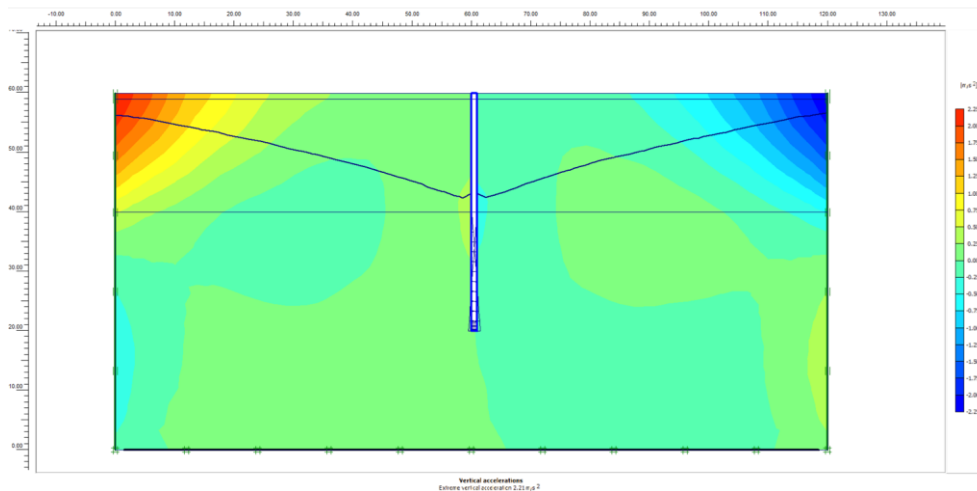
El resultado indica una velocidad total de  $348.84 \times 10^{-3}$  m/s en IRHS – 009. Fuente: PLAXIS.

**Figura 264.**  
Aceleraciones totales en IRHS-009.



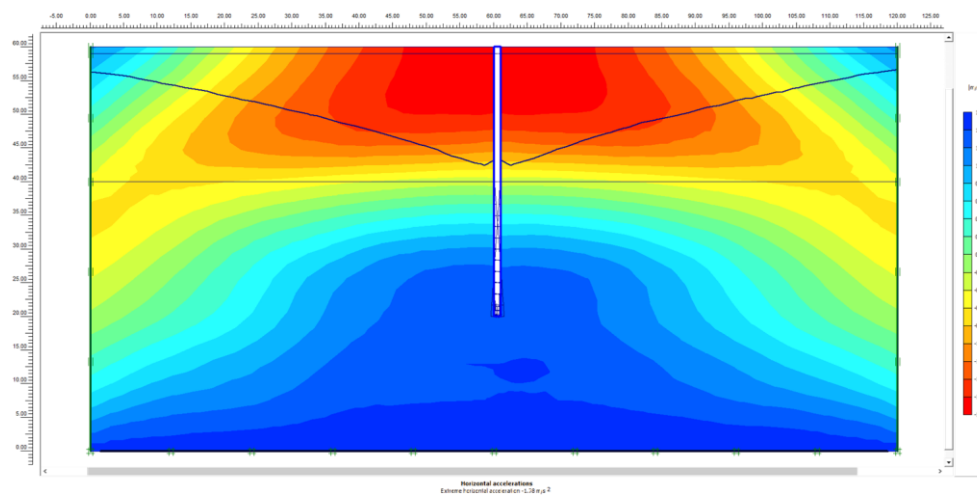
El resultado indica una aceleración total de 2.44 m/s<sup>2</sup> en IRHS – 009. Fuente: PLAXIS.

**Figura 265.**  
Aceleración vertical en IRHS-009.



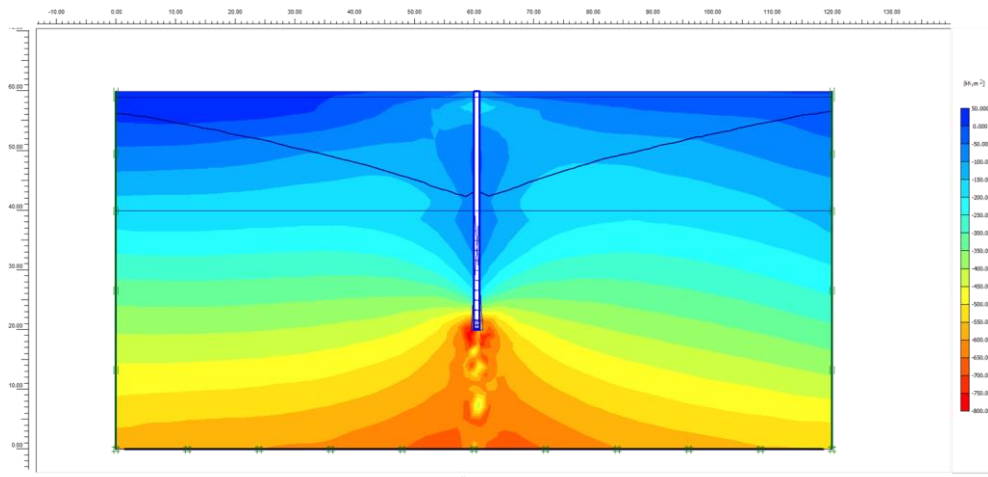
El resultado indica una aceleración vertical de 2.21 m/s<sup>2</sup> en IRHS – 009. Fuente: PLAXIS.

**Figura 266.**  
Aceleración horizontal en IRHS-009.



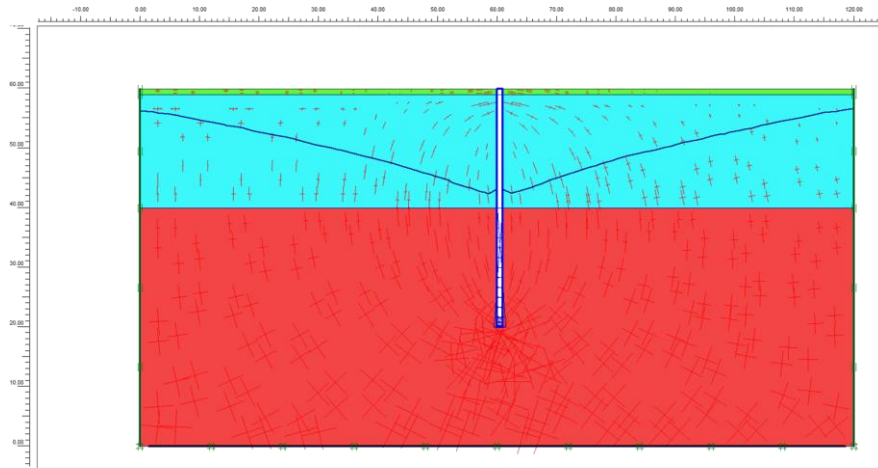
El resultado indica una aceleración horizontal de -1.78 m/s<sup>2</sup> en IRHS – 009. Fuente: PLAXIS.

**Figura 267.**  
Tensiones medias efectivas en IRHS-009.



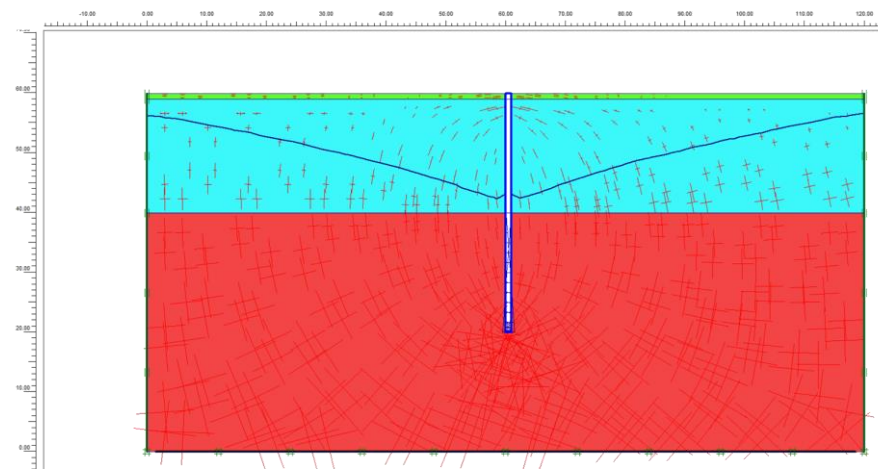
El resultado indica una tensión media efectiva de  $-781.19 \text{ kN/m}^2$  en IRHS – 009. Fuente: PLAXIS.

**Figura 268.**  
Tensión efectiva en IRHS-009.



El resultado indica una tensión efectiva de  $-1.14 \times 10^3 \text{ kN/m}^2$  en IRHS – 009. Fuente: PLAXIS.

**Figura 269.**  
Tensión total en IRHS-009.

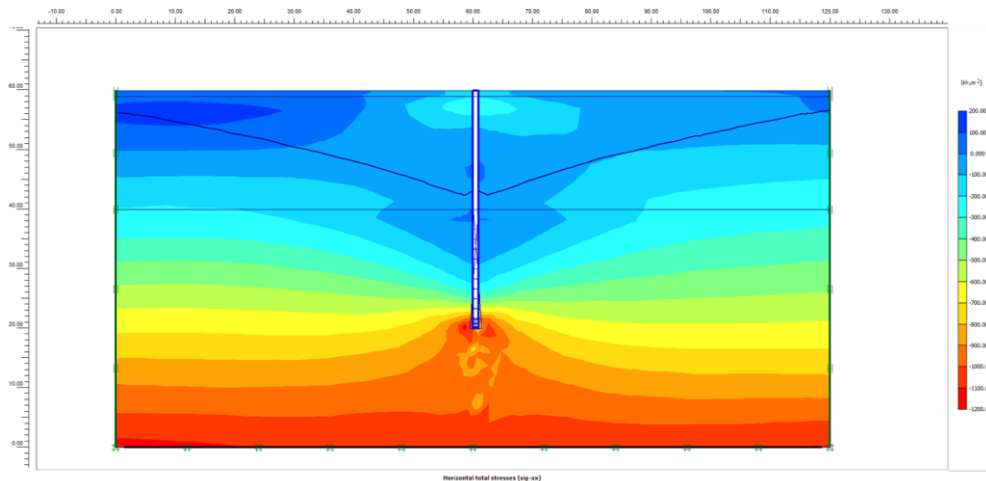


El resultado indica una tensión total de  $-1.35 \times 10^3 \text{ kN/m}^2$  en IRHS – 009. Fuente: PLAXIS.



### Figura 270.

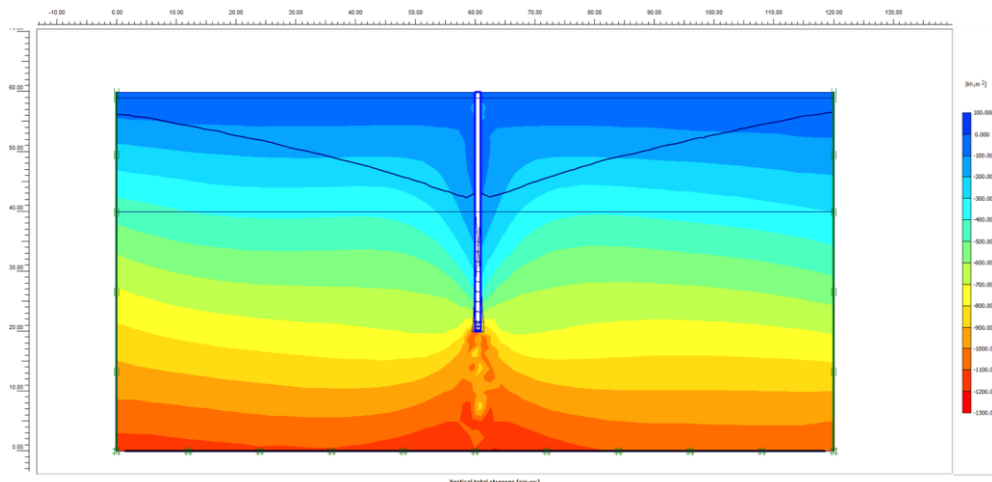
Tensión total horizontal en IRHS-009.



El resultado indica una tensión total horizontal de  $-1.15 \times 10^3$  kN/m<sup>2</sup> en IRHS – 009. Fuente: PLAXIS.

### Figura 271.

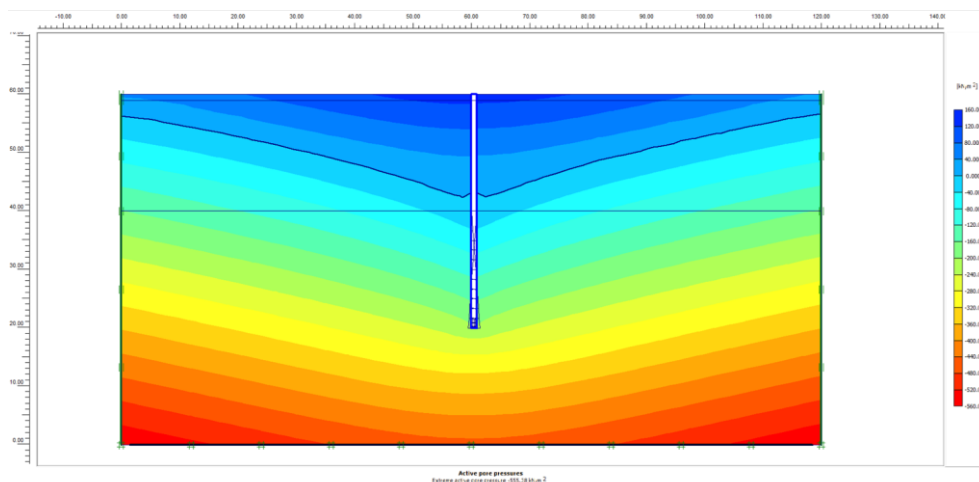
Tensión total vertical en IRHS-009.



El resultado indica una tensión total vertical de  $-1.21 \times 10^3$  kN/m<sup>2</sup> en IRHS – 009. Fuente: PLAXIS.

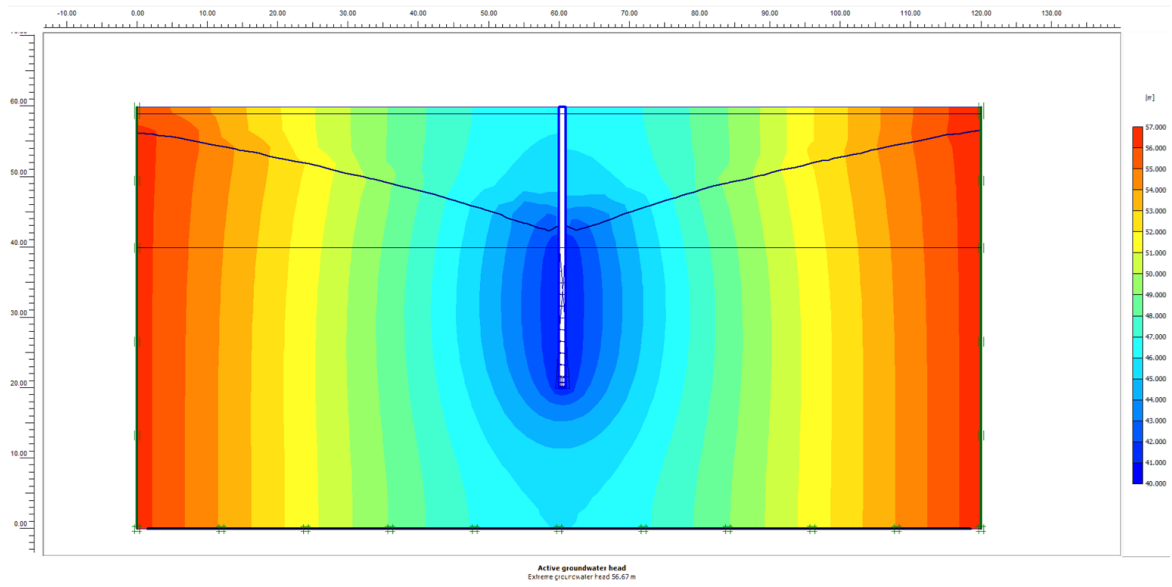
### Figura 272.

Presiones de poros activas en IRHS-009.



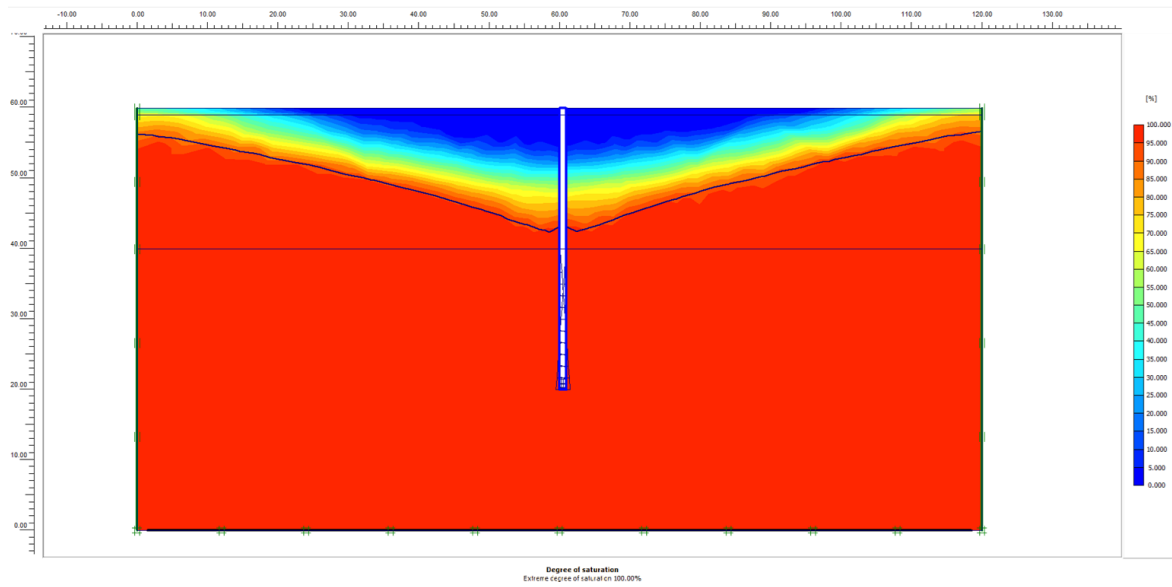
El resultado indica una presión de poros activa de  $-555.38$  kN/m<sup>2</sup> en IRHS – 009. Fuente: PLAXIS.

**Figura 273.**  
*Altura activa de las aguas subterráneas en IRHS-009.*



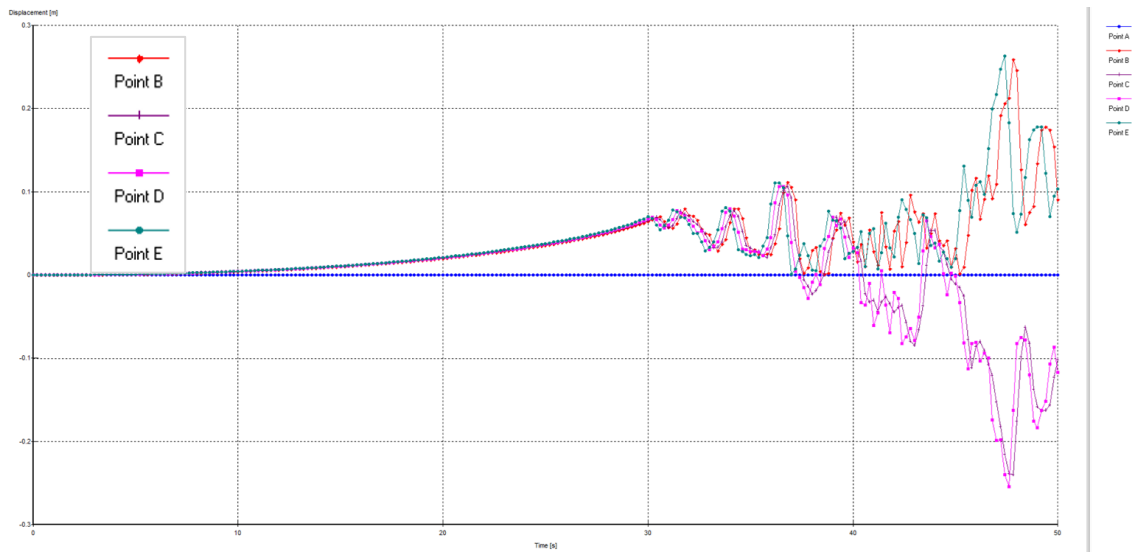
Los resultados indican una altura activa de las aguas subterráneas de 56.67 metros en IRHS – 009; Es la distancia vertical entre el nivel freático y el punto más bajo dentro de un acuífero donde el agua está en movimiento (Importante para la gestión y explotación de los recursos hídricos subterráneos). Fuente: PLAXIS.

**Figura 274.**  
*Grado de saturación en IRHS-009.*



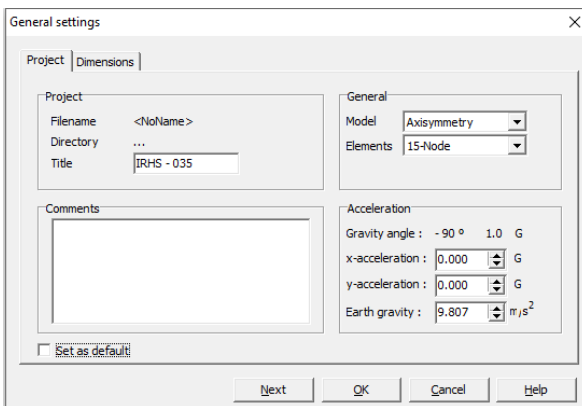
Fuente: PLAXIS.

**Figura 275.**  
Curvas de desplazamiento en IRHS-009.



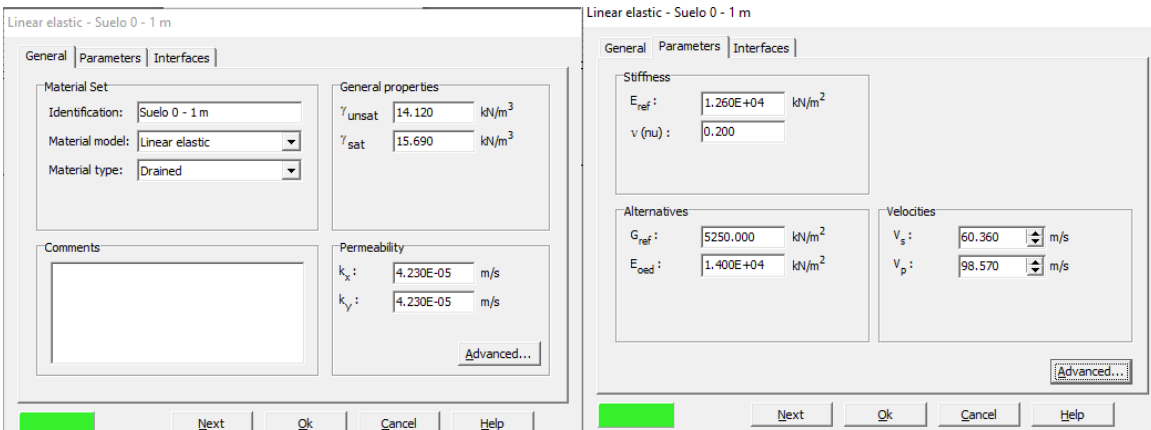
El punto B corresponde a la parte superior del pozo, el punto C corresponde al nivel freático, el punto D corresponde a la parte inferior del pozo y el punto E corresponde a la base de la sección de suelo analizado del pozo IRHS – 009. Fuente: PLAXIS.

**Figura 276.**  
Configuración general en IRHS-035.



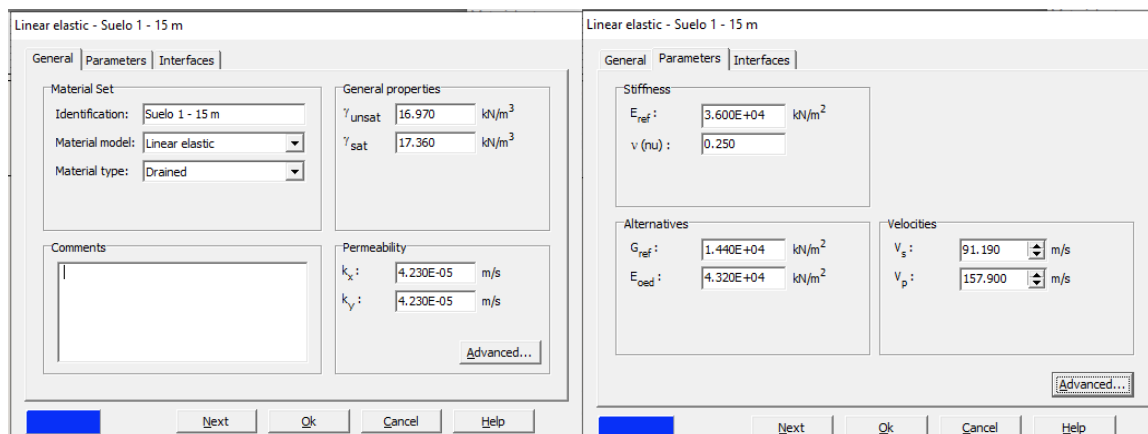
Fuente: PLAXIS.

**Figura 277.**  
Características del primer estrato en IRHS-035.



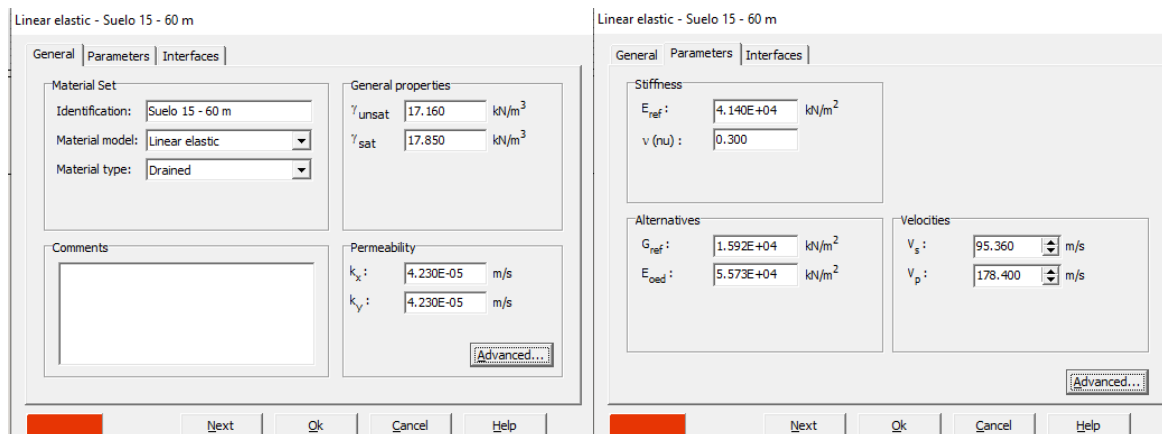
Estrato que va, desde el nivel del terreno natural hasta 1 metro de profundidad. Fuente: PLAXIS.

**Figura 278.**  
Características del segundo estrato en IRHS-035.



Estrato que va, desde 1 metro hasta los 15 metros de profundidad. Fuente: PLAXIS.

**Figura 279.**  
Características del tercer estrato en IRHS-035.



Estrato que va, desde 15 metros hasta los 60 metros de profundidad. Fuente: PLAXIS.

Para la **tubería** de acero inoxidable de 14.5 pulgadas, se tendría:

**Tabla 76.**  
Propiedades de la tubería ciega en pozo IRHS-035.

DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDAD DE MEDIDA
Espesor:	6.35	mm
Diámetro Interno:	14.5	pulgadas
Diámetro Externo:	0.381000737	m
Módulo de Elasticidad (E):	2.00E+11	N/m <sup>2</sup>
Poisson (ν):	0.30	
Sección Transversal (A):	0.00747395	m <sup>2</sup>
Momento de Inercia (I):	0.002098737	m <sup>4</sup>
EA:	1,494,790.00	kN
EI:	419,747.49	kN*m <sup>2</sup>

DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDAD DE MEDIDA
Densidad:	78.80	kN/m <sup>3</sup>
Peso revestimiento (w):	0.588967798	kN/m
Coefficiente de Rayleigh $\alpha$ :	0.01	
Coefficiente de Rayleigh $\beta$ :	0.01	

Fuente: Elaboración propia.

Para el **filtro** de acero inoxidable de 14.5 pulgadas, se tendría:

**Tabla 77.**

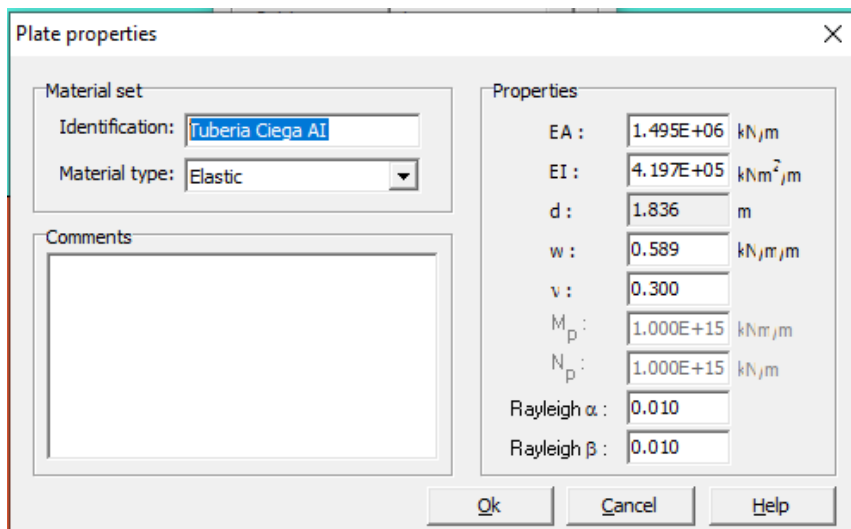
Propiedades del filtro (tubería ranurada) en pozo IRHS-035.

DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDAD DE MEDIDA
Espesor:	6.35	mm
Diámetro Interno:	14.5	pulgadas
Diámetro Externo:	0.381000737	m
Módulo de Elasticidad (E):	1.90E+11	N/m <sup>2</sup>
Poisson (v):	0.28	
Sección Transversal (A):	0.00747395	m <sup>2</sup>
Momento de Inercia (I):	0.002098737	m <sup>4</sup>
EA:	1,420,050.50	kN
EI:	398,760.11	kN*m <sup>2</sup>
Densidad:	70.92	kN/m <sup>3</sup>
Peso revestimiento (w):	0.530071018	kN/m
Coefficiente de Rayleigh $\alpha$ :	0.01	
Coefficiente de Rayleigh $\beta$ :	0.01	

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 280.**

Tubería ciega de acero inoxidable en pozo IRHS – 035.



Fuente: PLAXIS.

**Figura 281.**

*Tubería ranurada de acero inoxidable (filtro) en pozo IRHS – 035.*

Material set	
Identification:	Filtro AI
Material type:	Elastic

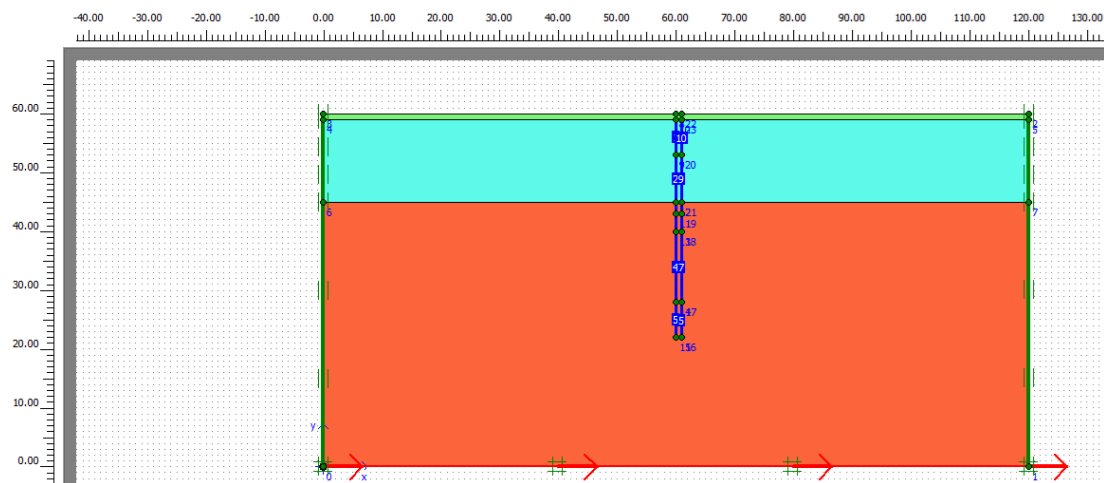
  

Properties	
EA :	1.420E+06 kN/m
EI :	3.988E+05 kNm²/m
d :	1.836 m
w :	0.530 kN/m
v :	0.280
$M_p$ :	1.000E+15 kNm/m
$N_p$ :	1.000E+15 kN/m
Rayleigh $\alpha$ :	0.010
Rayleigh $\beta$ :	0.010

Fuente: PLAXIS.

**Figura 282.**

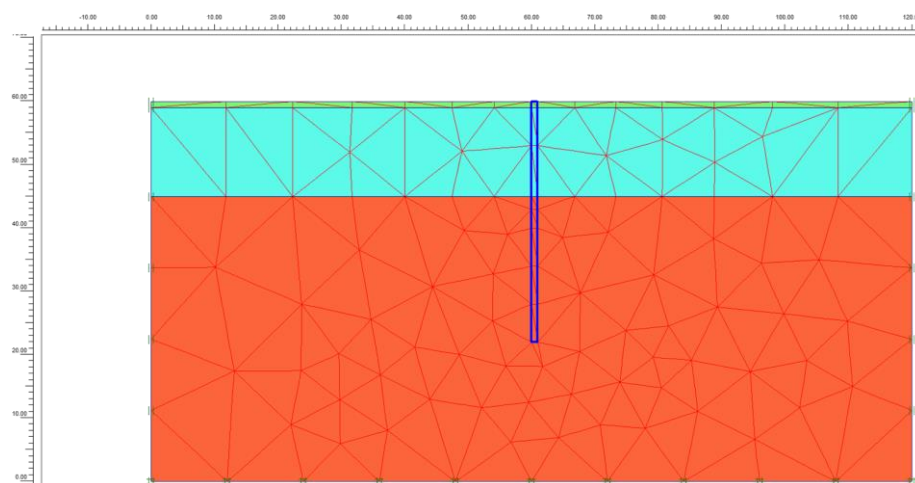
*Asignación de materiales, carga sísmica y límites espaciales del terremoto en IRHS – 035.*



Fuente: PLAXIS.

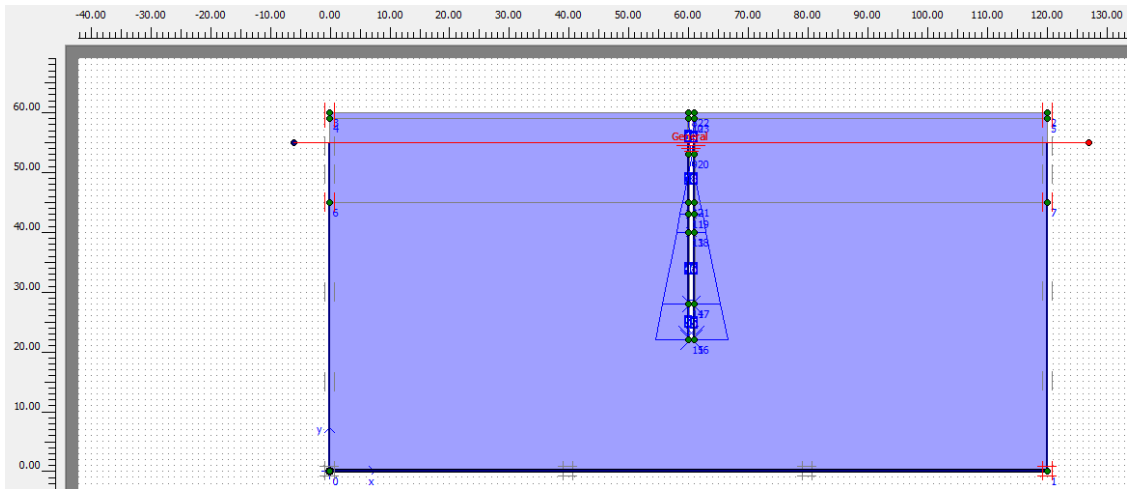
**Figura 283.**

*Generación de la malla de elementos finitos en IRHS – 035.*



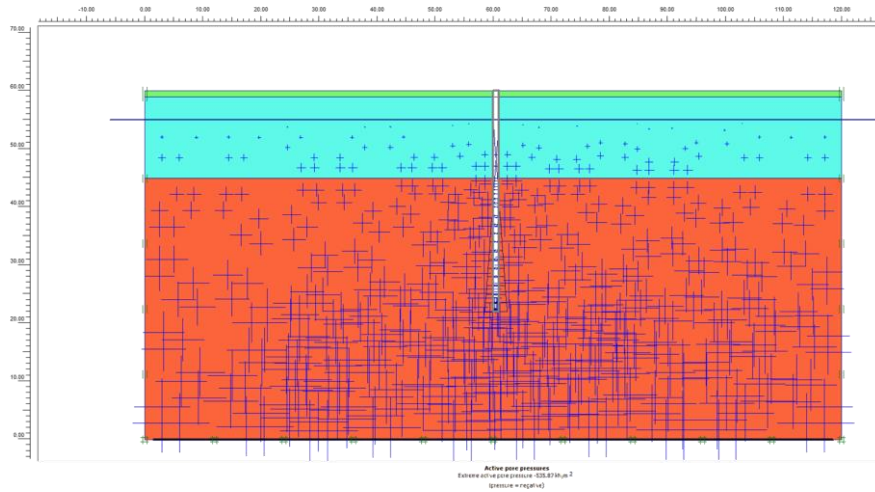
Fuente: PLAXIS.

**Figura 284.**  
Colocación del nivel estático en IRHS – 035.



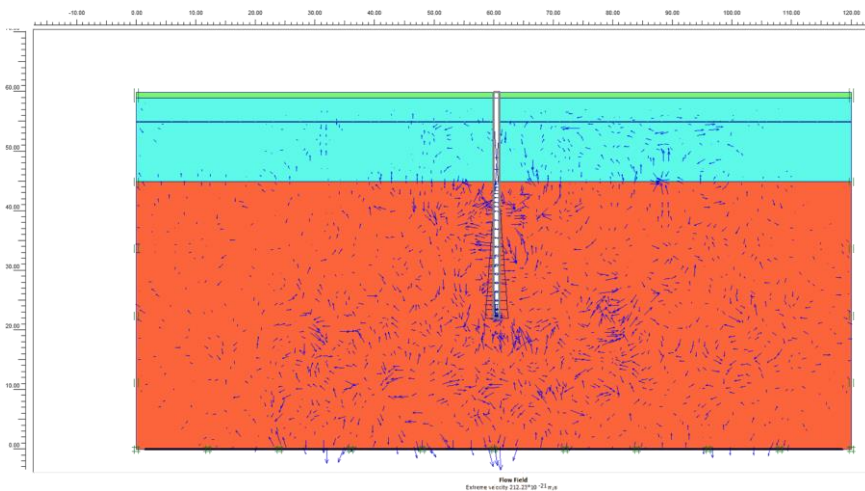
Fuente: PLAXIS.

**Figura 285.**  
Presión de poros activa en IRHS – 035.



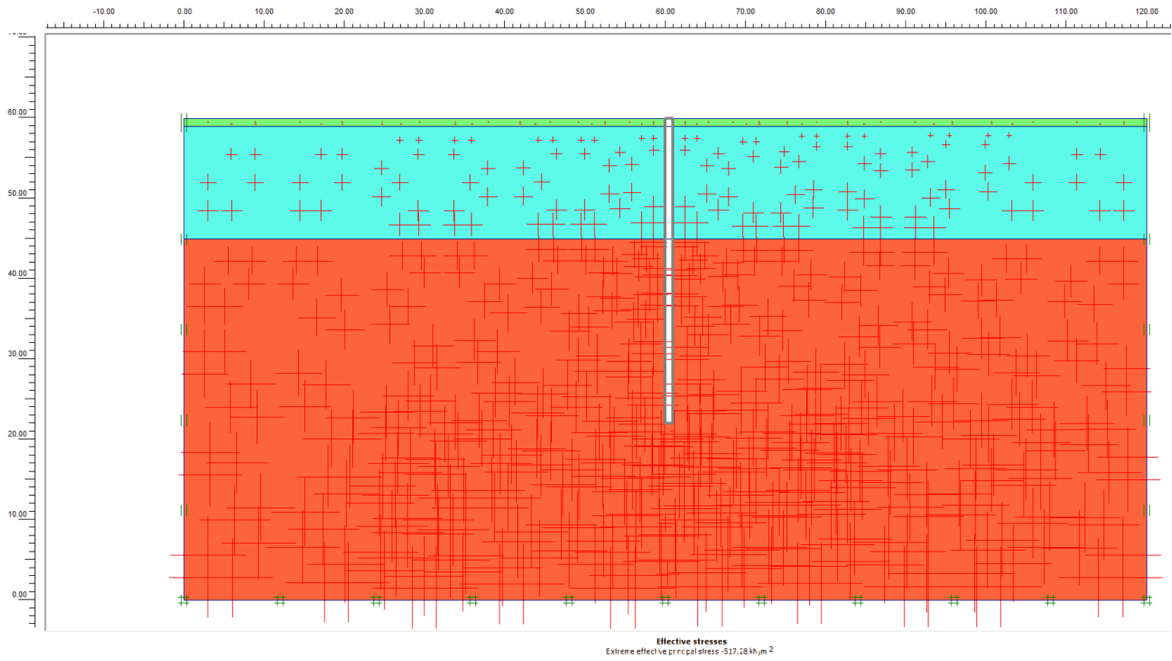
El resultado indica una presión de poros activa de  $-535.87 \text{ kN/m}^2$  en IRHS – 035. Fuente: PLAXIS.

**Figura 286.**  
Velocidad del agua subterránea (condiciones estáticas) en IRHS – 035.



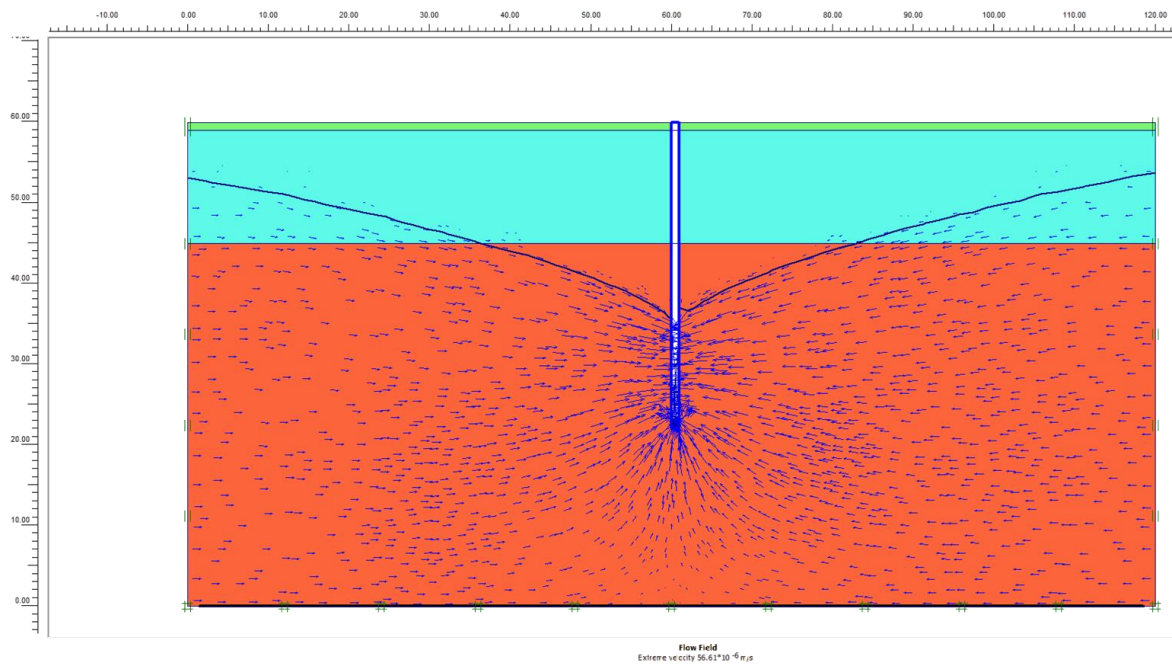
El resultado indica una velocidad del agua subterránea de  $212.23 \times 10^{-21} \text{ m/s}$  en IRHS – 035. Fuente: PLAXIS.

**Figura 287.**  
*Presión efectiva en IRHS – 035.*



El resultado indica una presión efectiva de  $-517.28 \text{ kN/m}^2$  en IRHS – 035. Fuente: PLAXIS.

**Figura 288.**  
*Velocidad del agua subterránea (condiciones dinámicas) en IRHS – 035.*

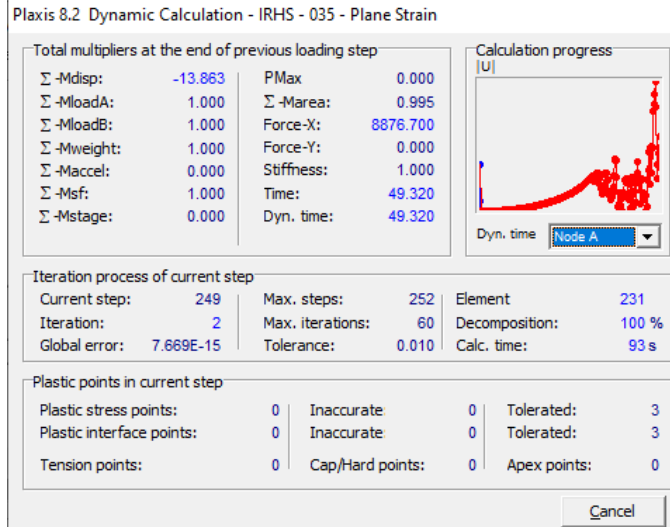


El resultado indica una velocidad del agua subterránea (durante bombeo) de  $56.61 \times 10^{-6} \text{ m/s}$  en IRHS – 035. Fuente: PLAXIS.



**Figura 289.**

Proceso del cálculo durante todo el tiempo que dura el sismo en IRHS – 035.



Fuente: PLAXIS.

**Figura 290.**

Resultados de las tensiones efectivas en IRHS – 035.

Cluster	Soil Element	Stress Point	X [m]	Y [m]	$\sigma_{xx}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_{yy}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_{xy}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma_{zz}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	Status
1	1 Suelo 15 -	1	66.071	44.874	-0.989	-209.791	25.422	-126.680	Elastic
		2	61.366	44.874	29.610	-88.540	-33.278	-81.125	Elastic
		3	61.366	43.252	22.308	-98.295	-29.032	-91.464	Elastic
		4	63.910	44.501	13.320	-168.734	4.486	-111.270	Elastic
		5	62.447	44.501	20.686	-131.217	-13.775	-97.805	Elastic
		6	62.447	43.997	22.273	-131.901	-14.824	-99.158	Elastic
		7	64.694	44.894	6.711	-182.095	14.000	-115.998	Elastic
		8	62.801	44.894	16.677	-141.551	-6.833	-100.844	Elastic
		9	61.308	44.379	26.312	-89.501	-33.176	-83.995	Elastic
		10	61.308	43.727	23.475	-93.508	-31.227	-88.149	Elastic
		11	62.801	43.727	21.450	-143.107	-10.347	-103.636	Elastic
		12	64.694	44.379	8.150	-187.745	12.698	-118.917	Elastic
	2 Suelo 15 -	13	64.445	38.909	9.325	-238.487	-0.393	-151.403	Elastic
		14	61.249	42.529	21.068	-97.267	-29.073	-93.856	Elastic
		15	61.249	40.097	20.486	-111.212	-22.467	-106.046	Elastic
		16	62.977	40.013	17.673	-176.307	-6.393	-126.688	Elastic
		17	61.983	41.139	21.592	-131.340	-16.990	-108.397	Elastic
		18	61.983	40.382	21.071	-136.765	-15.298	-112.616	Elastic
		19	63.510	39.998	16.109	-194.710	-2.599	-132.726	Elastic
		20	62.224	41.455	21.487	-137.738	-15.277	-109.331	Elastic
		21	61.210	41.832	21.817	-99.386	-27.624	-96.513	Elastic
		22	61.210	40.853	21.486	-104.979	-24.911	-101.441	Elastic
		23	62.224	39.705	19.997	-151.228	-11.991	-119.460	Elastic
		24	63.510	39.227	13.847	-203.637	-3.543	-138.567	Elastic
	3 Suelo 15 -	25	64.445	38.341	7.687	-246.727	-1.540	-156.195	Elastic
		26	61.249	39.529	20.386	-114.135	-21.755	-108.781	Elastic
		27	61.249	34.665	-0.344	-153.207	-21.576	-142.385	Elastic
		28	62.977	37.769	11.368	-202.053	-7.948	-143.528	Elastic
		29	61.983	38.139	17.012	-156.405	-13.438	-126.950	Elastic
		30	61.983	36.626	11.860	-171.841	-14.372	-137.998	Elastic
		31	63.510	38.748	12.334	-209.694	-4.027	-142.379	Elastic
		32	62.224	39.226	18.854	-154.938	-12.138	-122.457	Elastic
		33	61.210	38.060	18.855	-122.298	-20.230	-116.420	Elastic
		34	61.210	36.103	10.188	-137.832	-19.301	-129.981	Elastic
		35	62.224	35.726	7.795	-192.532	-16.153	-148.323	Elastic

Se obtuvieron un total de 2772 puntos analizados (nodos de tensión). Fuente: PLAXIS.

**Figura 291.**

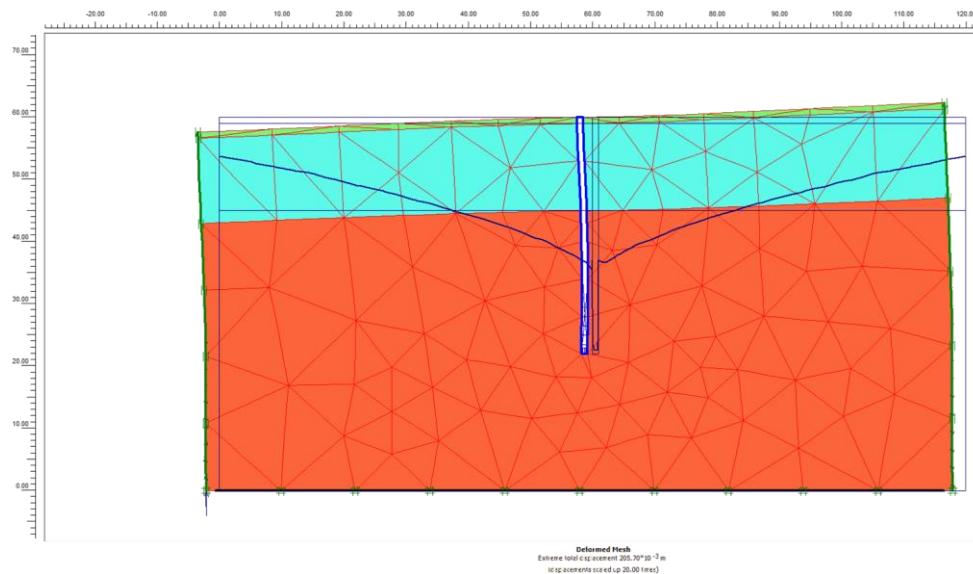
Resultados de las deformaciones efectivas en IRHS – 035.

Node	X [m]	Y [m]	Ux [10 <sup>-3</sup> m]	Uy [10 <sup>-3</sup> m]	ΔUx [10 <sup>-3</sup> m]	ΔUy [10 <sup>-3</sup> m]	Node	X [m]	Y [m]	Ux [10 <sup>-3</sup> m]	Uy [10 <sup>-3</sup> m]	ΔUx [10 <sup>-3</sup> m]	ΔUy [10 <sup>-3</sup> m]
1	0.000	8.438	-108.702	-13.078	-2.647	-0.261	1889	105.807	59.750	-163.366	87.372	5.679	-4.668
2	0.000	5.625	-109.586	-9.156	-2.125	-0.806	1890	103.222	59.750	-161.191	81.778	6.839	-5.267
3	0.000	2.813	-108.568	-5.083	-0.889	-0.786	1891	105.807	59.500	-162.780	87.290	5.738	-4.697
4	0.000	0.000	-103.237	0.000	2.067	0.000	1892	120.000	52.000	-158.698	112.713	3.364	0.065
5	3.000	0.000	-103.237	0.000	2.067	0.000	1893	120.000	55.500	-164.201	114.548	2.089	1.126
6	6.000	0.000	-103.237	0.000	2.067	0.000	1894	120.000	59.000	-168.497	115.398	0.219	1.940
7	9.000	0.000	-103.237	0.000	2.067	0.000	1895	111.294	48.500	-140.529	89.549	6.010	-4.437
8	3.000	5.625	-108.211	-8.908	-1.748	-0.200	1896	114.196	52.000	-152.993	101.554	4.930	-2.837
9	3.000	2.813	-107.030	-4.324	-0.254	-0.129	1897	117.098	55.500	-162.513	110.121	2.949	-0.759
10	6.000	2.813	-105.920	-4.145	0.083	0.023	1898	117.098	48.500	-148.434	102.637	4.899	-2.363
11	9.544	11.534	-103.836	-17.608	-2.881	0.212	1899	117.098	52.000	-156.041	107.369	4.183	-1.493
12	6.272	9.986	-105.764	-15.832	-2.685	0.074	1900	114.196	48.500	-144.561	96.388	5.498	-3.466
13	9.272	7.173	-105.610	-10.733	-1.822	0.087	1901	120.000	48.500	-152.054	108.683	4.169	-1.136
14	9.000	2.813	-105.156	-3.910	0.222	0.143	1902	111.294	59.000	-165.929	100.165	3.496	-2.988
15	6.000	5.625	-106.912	-8.704	-1.429	-0.029	1903	117.098	59.000	-168.114	111.474	1.133	-0.211
16	3.000	8.438	-107.594	-13.559	-2.540	-0.105	1904	114.196	55.500	-160.383	105.006	3.844	-2.248
17	0.000	19.688	-106.208	-36.101	-1.024	2.553	1905	111.294	55.500	-157.880	98.517	4.784	-3.475
18	0.000	16.875	-106.011	-29.287	-1.832	1.806	1906	111.294	52.000	-149.587	94.975	5.677	-3.964
19	0.000	14.063	-106.498	-23.139	-2.351	1.088	1907	114.196	59.000	-167.329	106.700	2.278	-1.724
20	3.272	12.798	-105.475	-21.032	-2.784	0.394	1908	114.196	60.000	-169.370	106.945	1.805	-1.601
21	6.544	14.346	-103.354	-23.166	-2.923	0.421	1909	120.000	59.250	-168.848	115.440	0.001	2.009
22	9.815	15.894	-101.174	-24.655	-3.071	0.540	1910	111.294	60.000	-168.381	100.463	3.092	-2.861
23	3.272	18.423	-103.624	-31.982	-2.052	1.367	1911	120.000	59.500	-169.188	115.475	-0.217	2.067
24	3.272	15.611	-104.282	-26.269	-2.558	0.844	1912	117.098	60.000	-169.624	111.633	0.528	-0.107
25	6.544	17.159	-102.079	-28.212	-2.713	0.758	1913	120.000	59.750	-169.523	115.497	-0.441	2.112
26	0.000	11.250	-107.572	-17.672	-2.666	0.424	1914	114.196	59.750	-168.880	106.921	1.921	-1.629
27	9.815	18.707	-99.938	-29.424	-2.906	0.869	1915	117.098	59.250	-168.520	111.550	0.985	-0.185
28	6.544	19.971	-101.325	-33.556	-2.274	1.193	1916	111.294	59.750	-167.776	100.423	3.193	-2.889
29	3.272	21.236	-103.679	-38.161	-1.301	1.967	1917	117.098	59.500	-168.904	111.600	0.834	-0.159
30	5.807	24.065	-102.110	-42.586	-1.073	2.113	1918	111.294	59.500	-167.168	100.358	3.294	-2.920
31	9.078	22.800	-99.432	-37.275	-2.184	1.551	1919	114.196	59.250	-167.861	106.799	2.157	-1.692
32	8.341	26.894	-101.020	-46.080	-0.730	2.478	1920	117.098	59.750	-169.265	111.623	0.681	-0.134
33	0.000	22.500	-107.235	-43.463	-0.092	3.255	1921	120.000	60.000	-169.879	115.515	-0.680	2.145
34	7.604	30.987	-105.285	-55.815	1.306	3.423	1922	111.294	59.250	-166.553	100.269	3.395	-2.951
35	5.070	28.158	-105.240	-52.749	0.690	3.135	1923	114.196	59.500	-168.378	106.872	2.038	-1.659

Se obtuvieron un total de 1923 puntos analizados (nodos de deformación). Fuente: PLAXIS.

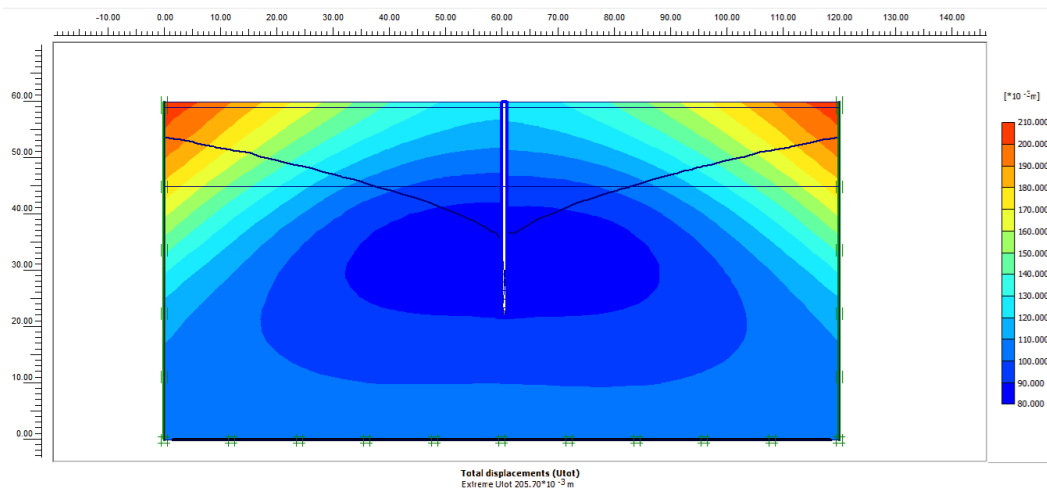
**Figura 292.**

Deformación de la malla de elementos finitos en IRHS – 035.



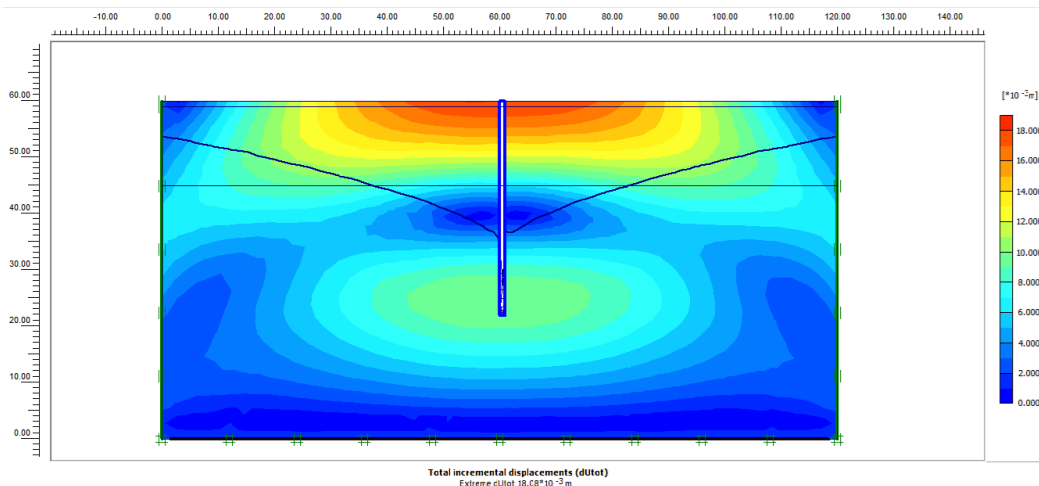
El resultado indica una deformación máxima de la malla de elementos finitos igual a  $205.70 \times 10^{-3}$  metros en IRHS – 035. Fuente: PLAXIS.

**Figura 293.**  
Desplazamiento total en IRHS – 035.



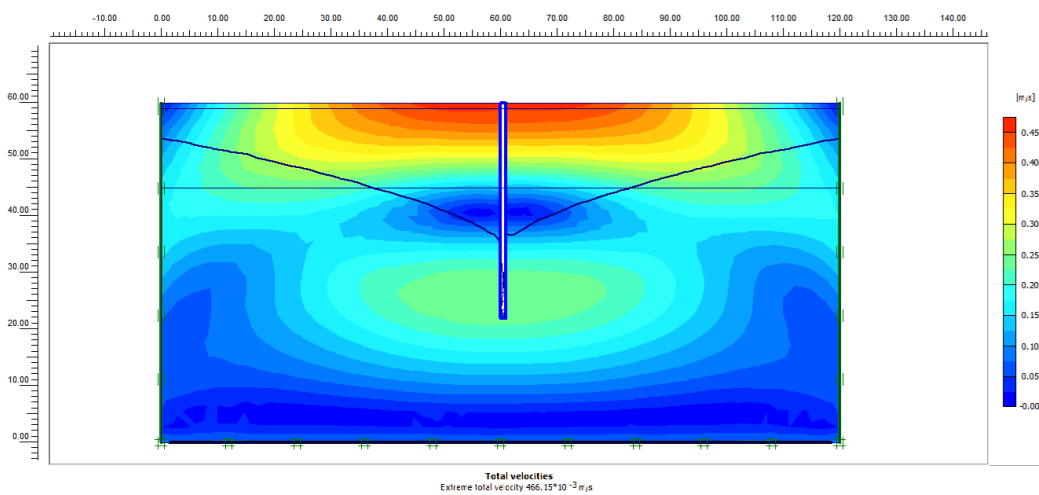
El resultado indica un desplazamiento total de  $205.70 \times 10^{-3}$  metros en IRHS – 035. Fuente: PLAXIS.

**Figura 294.**  
Desplazamiento incremental total en IRHS – 035.



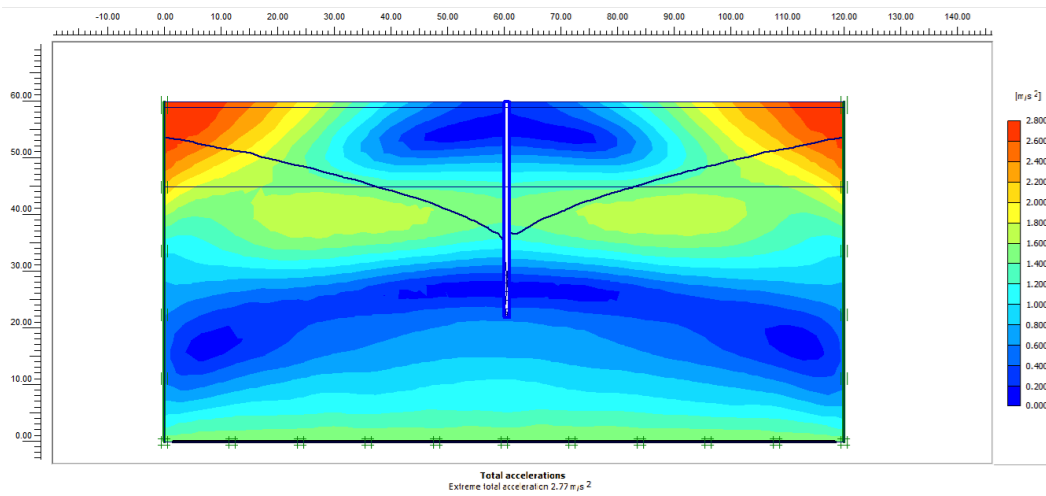
El resultado indica un desplazamiento incremental de  $18.08 \times 10^{-3}$  metros en IRHS – 035. Fuente: PLAXIS.

**Figura 295.**  
Velocidad total en IRHS – 035.



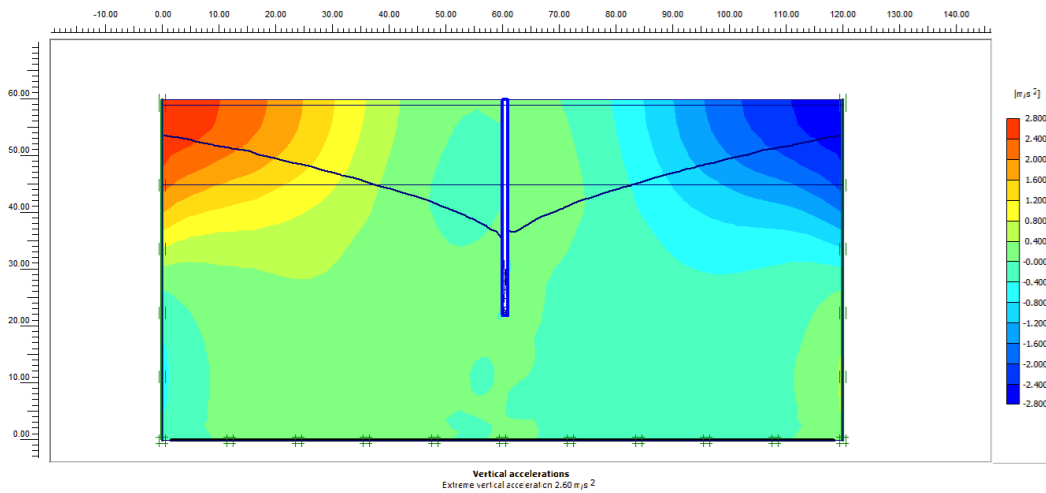
El resultado indica una velocidad total de  $466.15 \times 10^{-3}$  m/s en IRHS – 035. Fuente: PLAXIS.

**Figura 296.**  
*Aceleraciones totales en IRHS – 035.*



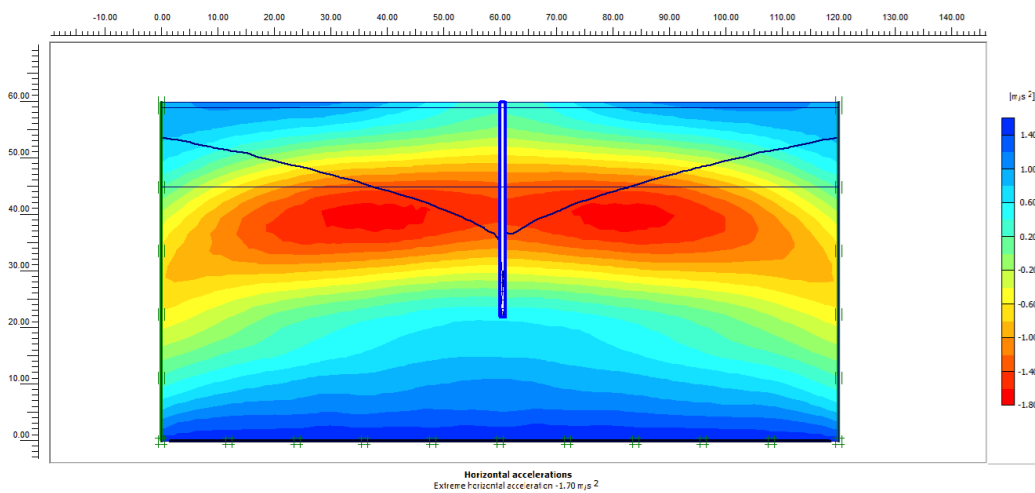
*El resultado indica una aceleración total de 2.77 m/s<sup>2</sup> en IRHS – 035. Fuente: PLAXIS.*

**Figura 297.**  
*Aceleración vertical en IRHS – 035.*



*El resultado indica una aceleración vertical de 2.60 m/s<sup>2</sup> en IRHS – 035. Fuente: PLAXIS.*

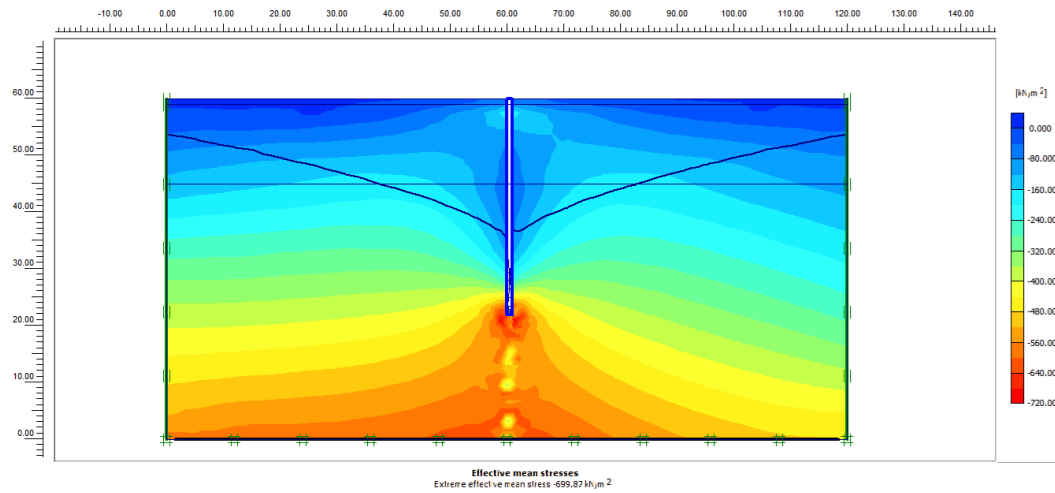
**Figura 298.**  
*Aceleración horizontal en IRHS – 035.*



*El resultado indica una aceleración horizontal de -1.70 m/s<sup>2</sup> en IRHS – 035. Fuente: PLAXIS.*

### Figura 299.

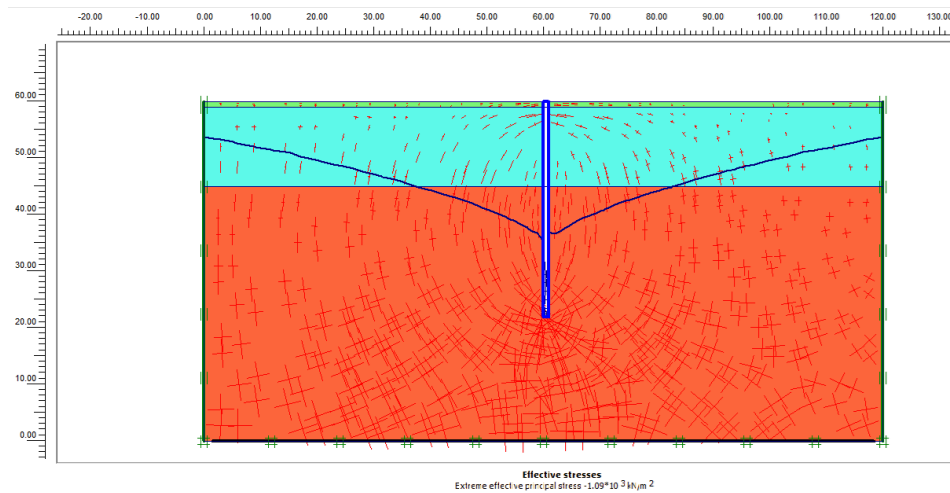
Tensiones medias efectivas en IRHS – 035.



El resultado indica una tensión media efectiva de  $-699.87 \text{ kN/m}^2$  en IRHS – 035. Fuente: PLAXIS.

### Figura 300.

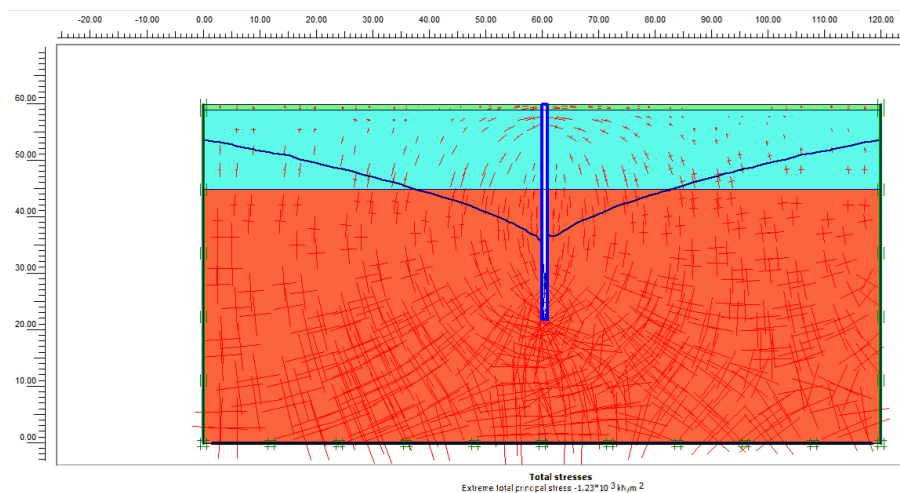
Tensión efectiva en IRHS – 035.



El resultado indica una tensión efectiva de  $-1.09 \times 10^3 \text{ kN/m}^2$  en IRHS – 035. Fuente: PLAXIS.

### Figura 301.

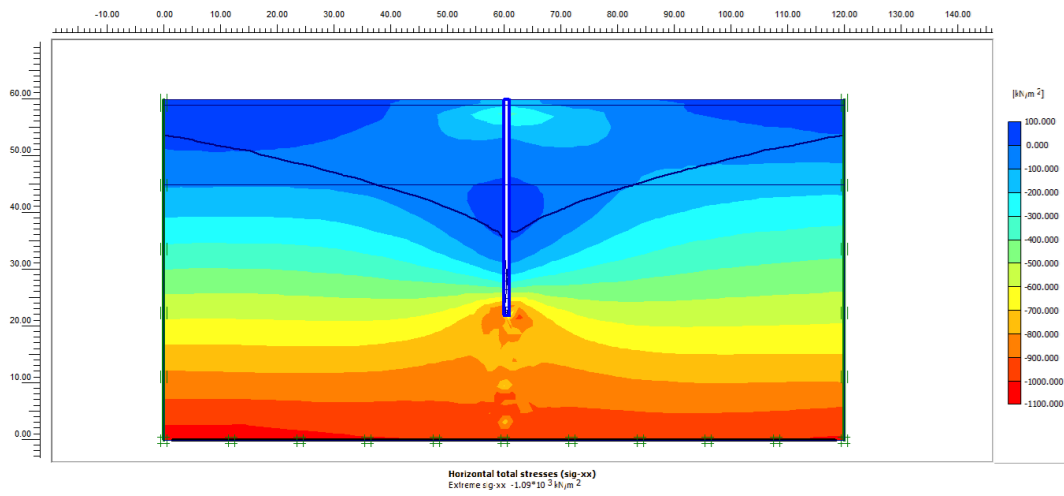
Tensión total en IRHS – 035.



El resultado indica una tensión total de  $-1.23 \times 10^3 \text{ kN/m}^2$  en IRHS – 035. Fuente: PLAXIS.

**Figura 302.**

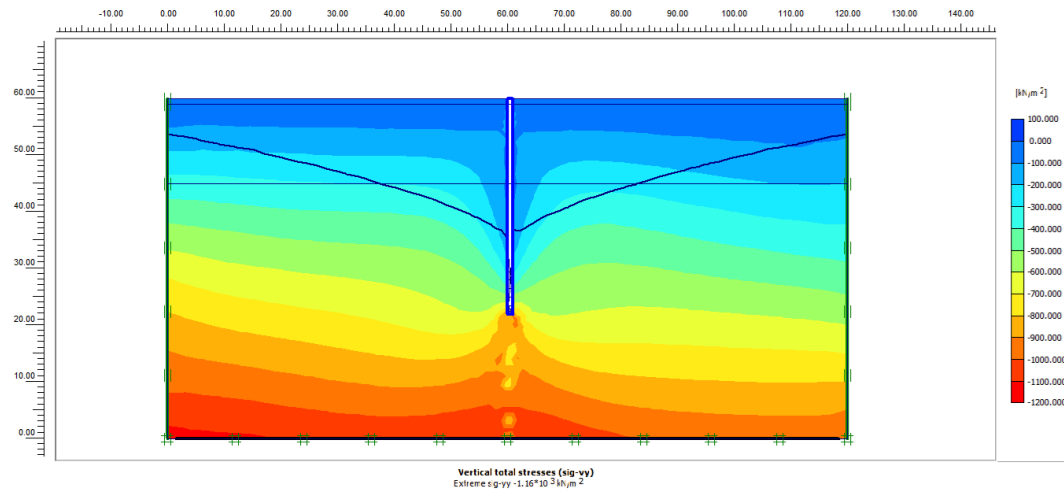
Tensión total horizontal en IRHS – 035.



El resultado indica una tensión total horizontal de  $-1.09 \times 10^3$  kN/m<sup>2</sup> en IRHS – 035. Fuente: PLAXIS.

**Figura 303.**

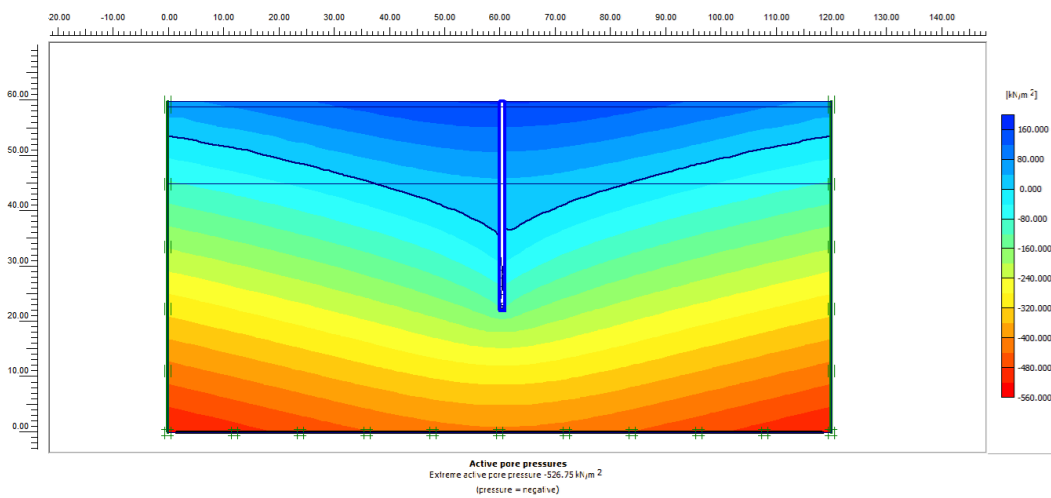
Tensión total vertical en IRHS – 035.



El resultado indica una tensión total vertical de  $-1.16 \times 10^3$  kN/m<sup>2</sup> en IRHS – 035. Fuente: PLAXIS.

**Figura 304.**

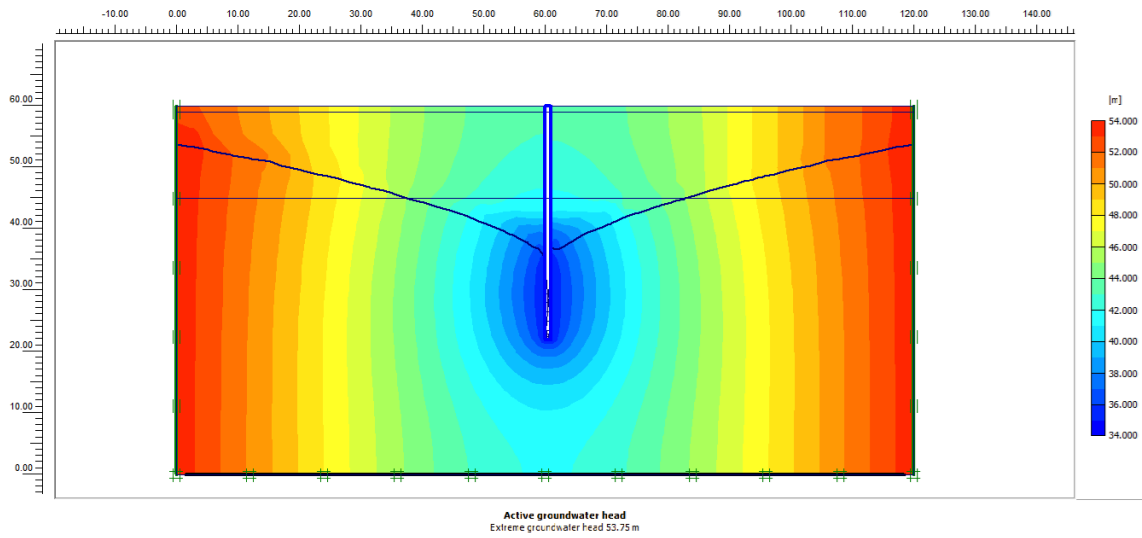
Presiones de poros activa en IRHS – 035.



El resultado indica una presión de poros activa de  $-526.75$  kN/m<sup>2</sup> en IRHS – 035. Fuente: PLAXIS.

### Figura 305.

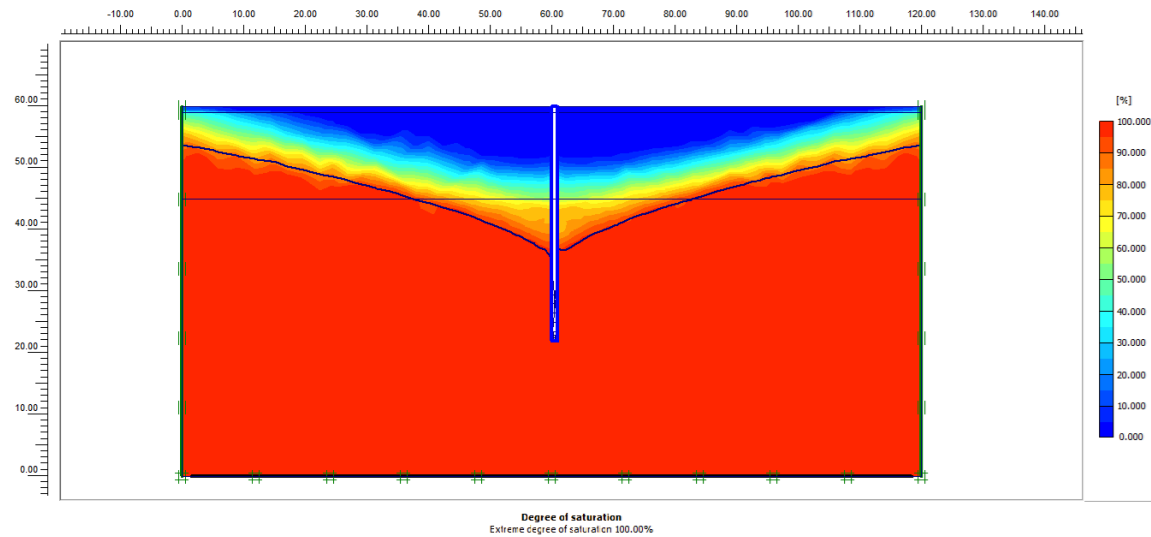
Altura activa de las aguas subterráneas en IRHS – 035.



Los resultados indican una altura activa de las aguas subterráneas de 53.75 metros en IRHS – 035; Es la distancia vertical entre el nivel freático y el punto más bajo dentro de un acuífero donde el agua está en movimiento (Importante para la gestión y explotación de los recursos hídricos subterráneos). Fuente: PLAXIS.

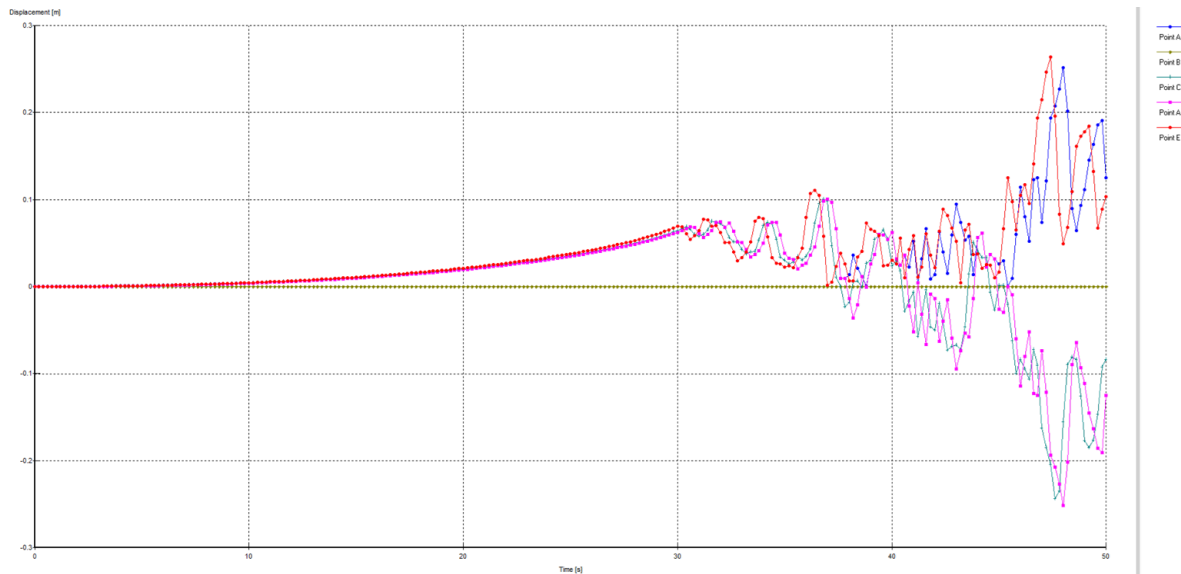
### Figura 306.

Grado de saturación en IRHS – 035.



Fuente: PLAXIS.

**Figura 307.**  
Curvas de desplazamiento en IRHS – 035.



Fuente: PLAXIS.

**Figura 308.**  
Hoja de cálculo para el diseño a la compresión en IRHS – 045.

UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO CÁLCULO DE ESFUERZOS A LA COMPRESIÓN EN TUBERÍAS Y FILTROS			
PROYECTO:	*Análisis Hidrogeológico y Diseño Hidráulico Comparativo por Colapso y Compresión, en Pozos Profundos, para fines agrícolas en Moquegua, 2023*	REF.:	B53-7003130196
UBICACIÓN:	POZO IRHS – 045 (La Chimba N°1), Este UTM: 292722, Norte UTM: 8099636	FECHA:	20/05/2024
DISEÑO:	Bach. Boris Leonardo Aranda Huacan	CÁLCULO:	Obras Hidráulicas

**1. TUBERÍA** (American Water Works Association (ANSI/AWWA) A100-97, 1998)

**1.1. PESO QUE REPRESENTA LA TUBERÍA** (American Water Works Association (ANSI/AWWA) A100-97, 1998)

Material: (Aceros de bajo carbono)

Diámetro exterior de la tubería: D = 18 in

Coefficiente "k" según material: k = 10.68 U.S. (in, lb, gal)

Grosor de la tubería: t = 1/4 in

Peso:  $W_t = (k * t * (D - t)) * L$

Wt = 47.39 lb/ft

Wt = 70.52 kg/m

Wt = 0.7 kN/m

**1.2. ESFUERZO RESISTENTE A LA TRACCIÓN EN LA TUBERÍA**

Capacidad del material para resistir la tracción: St = 70,000 lb/pulg<sup>2</sup> (PSI)

Diámetro exterior de la tubería: Do = 18 in

Grosor de la tubería: t = 1/4 in

Resistencia a la tracción de la tubería \*  $C_{ts} = \frac{\pi * t * S_t (D_o - t)}{2000}$

Cts = 487.93 tn

Cts = 487,928.61 kg **OK! Cumple...**

\* El factor del denominador expresa la conversión de libras a toneladas

**1.3. ESFUERZO RESISTENTE A LA COMPRESIÓN EN LA TUBERÍA**

Límite elástico de la tubería: Syp = 35,000 lb/pulg<sup>2</sup> (PSI)

Diámetro exterior de la tubería: Do = 18 in

Grosor de la tubería: t = 1/4 in

Resistencia a la compresión de la tubería, en dirección axial \*  $C_{as} = \frac{\pi * t * S_{yp} (D_o - t)}{2000}$

Cas = 243.96 tn

Cas = 243,964.30 kg **OK! Cumple...**

\* El factor del denominador expresa la conversión de libras a toneladas



#### 1.4. ESFUERZO SOBRE LA TUBERÍA (SIN EXCENRICIDAD)

Modulo de Poisson  
 Grosor de la tubería  
 Diámetro exterior de la tubería  
 Módulo de Elasticidad o Young  
 Presión crítica para una tubería

$$P_{cr} = \frac{2E}{(1 - \nu^2) \left(\frac{D}{t} - 1\right)^3}$$

v =	0.28	
t =	1/4	in
D =	18	in
E =	3.00E+07	lb/pulg <sup>2</sup> (PSI)
Pcr =	<b>181.90</b>	lb/pulg <sup>2</sup> (PSI)
Pcr =	<b>12.79</b>	kg/cm <sup>2</sup>
Pcr =	<b>1,254.16</b>	kN/m <sup>2</sup>

#### 1.5. ESFUERZO SOBRE LA TUBERÍA (CON EXCENRICIDAD)

Límite elástico (fluencia), según composición del material.  
 Grosor de la tubería  
 Diámetro exterior de la tubería  
 Desviación del eje central (excentricidad)  
 Presión crítica para una tubería (sin excentricidad)  
 Presión crítica de diseño (fallo o colapso)

$$Pd^2 - \left\{ \frac{2Yp}{\frac{D}{t} - 1} + \left[ 1 + 3 \left( \frac{D}{t} - 1 \right) e \right] Pcr \right\} Pd + \frac{2Yp * Pcr}{\frac{D}{t} - 1} = 0$$

$$Pd = x \quad ax^2 + bx + c = 0 \quad x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

Yp =	35,000	lb/pulg <sup>2</sup> (PSI)
t =	1/4	in
D =	18	in
e =	0.010	
Pcr =	181.90	lb/pulg <sup>2</sup> (PSI)
a =	1.000	
b =	-1,555.26	
c =	179,338.46	
Pd1 =	1,429.84	lb/pulg <sup>2</sup> (PSI)
Pd2 =	125.43	lb/pulg <sup>2</sup> (PSI)
Pd =	<b>125.43</b>	lb/pulg <sup>2</sup> (PSI)
Pd =	<b>8.82</b>	kg/cm <sup>2</sup>
Pd =	<b>864.95</b>	kN/m <sup>2</sup>

### 2. FILTRO (American Water Works Association (ANSI/AWWA) A100-97, 1998)

#### 2.1. PRESIÓN SOBRE EL FILTRO (Filtro tipo ranura continua).

Material  
 Grosor del alambre  
 Alto del alambre  
 Menor grosor en la base del alambre  
 Momento de inercia del alambre de revestimiento  
 Módulo de Elasticidad o Young  
 Dimensión del filtro en su diámetro  
 Grosor de la abertura del filtro  
 Presión sobre el filtro (colapso)

$$I = \frac{h^3(w^2 + 4wb + b^2)}{36(b + w)}$$

$$P_{cs} = \frac{24EI}{(w + s)(D)^3}$$

(Aceros de bajo carbono)

w =	0.118	in
h =	0.185	in
b =	0.030	in
I =	3.44E-05	in <sup>4</sup>
E =	3.00E+07	lb/pulg <sup>2</sup> (PSI)
D =	18	in
s =	1/4	in
Pcs =	<b>11.56</b>	lb/pulg <sup>2</sup> (PSI)
Pcs =	<b>0.81</b>	kg/cm <sup>2</sup>
Pcs =	<b>79.67</b>	kN/m <sup>2</sup>

#### 2.2. PRESIÓN SOBRE EL FILTRO, SIN EXCENRICIDAD (filtro tipo persiana (louver) y tipo puente).

Modulo de Poisson  
 Grosor de la tubería  
 Diámetro exterior de la tubería  
 Módulo de Elasticidad o Young  
 Presión crítica para una tubería

$$P_{cr} = \frac{2E}{(1 - \nu^2) \left(\frac{D}{t} - 1\right)^3}$$

v =	0.28	
t =	1/2	in
D =	18	in
E =	3.00E+07	lb/pulg <sup>2</sup> (PSI)
Pcr =	<b>1,518.46</b>	lb/pulg <sup>2</sup> (PSI)
Pcr =	<b>106.76</b>	kg/cm <sup>2</sup>
Pcr =	<b>10,469.44</b>	kN/m <sup>2</sup>

### 2.3. PRESIÓN SOBRE EL FILTRO, CON EXCENTRICIDAD (filtro tipo persiana (louver) y tipo puente).

Límite elástico (fluencia), según composición del material.  
 Grosor de la pared  
 Diámetro exterior del filtro  
 Desviación del eje central (excentricidad)  
 Presión crítica para una tubería (sin excentricidad)  
 Presión crítica de diseño (fallo o colapso)

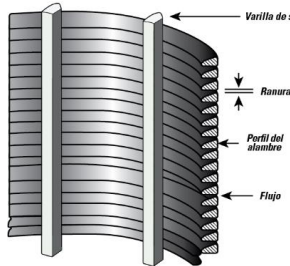
$$Pd^2 - \left\{ \frac{2Yp}{t-1} + \left[ 1 + 3 \left( \frac{D}{t} - 1 \right) e \right] Pcr \right\} Pd + \frac{2Yp * Pcr}{t-1} = 0$$

$$Pd = x \quad ax^2 + bx + c = 0 \quad x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

Yp =	35,000	lb/pulg <sup>2</sup> (PSI)
t =	1/2	in
D =	18	in
e =	0.010	
Pcr =	1518.46	lb/pulg <sup>2</sup> (PSI)
a =	1.000	
b =	-5,112.85	
c =	3,036,929.06	
Pd1 =	4,426.82	lb/pulg <sup>2</sup> (PSI)
Pd2 =	686.03	lb/pulg <sup>2</sup> (PSI)
Pd =	<b>686.03</b>	lb/pulg <sup>2</sup> (PSI)
Pd =	<b>48.23</b>	kg/cm <sup>2</sup>
Pd =	<b>4,730.00</b>	kN/m <sup>2</sup>

### 2.4. ESFUERZO RESISTENTE A LA TENSION DEL FILTRO (Filtro tipo ranura continua).

Cantidad de varillas de apoyo o soporte (depende del diámetro)  
 Coeficiente de protección  
 Resistencia a la fluencia del material  
 Diámetro de la varilla de apoyo o soporte  
 Esfuerzo resistente a la tensión del filtro (tipo ranura continua)



$$T_s = N_f * E_w * Y * (0.7854 * dr^2)$$

Nf =	88	
Ew =	85%	"Protección bastante alta"
Y =	35,000	lb/pulg <sup>2</sup> (PSI)
dr =	0.15	in
Ts =	<b>46,263.99</b>	lb
Ts =	<b>20,984.99</b>	kg <b>OK! Cumple...</b>

### 2.5. ESFUERZO RESISTENTE A LA TENSION DEL FILTRO (Filtro tipo persiana (louver) y tipo puente).

Material del filtro  
 Tipo de filtro  
 Diámetro exterior del filtro  
 Grosor de la pared del filtro  
 Límite elástico (fluencia), según composición del material.  
 Longitud de la abertura (ranura)  
 Cantidad de aberturas (ranuras) por fila o círculo.  
 Esfuerzo resistente a la tensión del filtro



$$T = \pi(D - t) * t * Y * \left( \frac{\pi * (D - t) - (l * n)}{\pi * (D - t)} \right)$$

Material del filtro	(Aceros de bajo carbono)	
Tipo de filtro	(FUL FLO)-Al Carbono	
D =	18	in
t =	0.35	in
Y =	35,000	lb/pulg <sup>2</sup> (PSI)
l =	3	in
n =	12	
T =	<b>238,251.60</b>	lb
T =	<b>108,069.11</b>	kg <b>OK! Cumple...</b>



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 309.**

Hoja de cálculo para el diseño a la compresión en IRHS – 008.

UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO			
CALCULO DE ESFUERZOS A LA COMPRESIÓN EN TUBERÍAS Y FILTROS			
PROYECTO:	*Análisis Hidrogeológico y Diseño Hidráulico Comparativo por Colapso y Compresión, en Pozos Profundos, para fines agrícolas en Moquegua, 2023*.	REF.:	B53-7003130196
UBICACIÓN:	POZO IRHS – 008 INIA N° 01, Este UTM: 290784, Norte UTM: 8096850	FECHA:	20/05/2024
DISEÑO:	Bach. Boris Leonardo Aranda Huacan	CÁLCULO:	Obras Hidráulicas

**1. TUBERÍA** (American Water Works Association (ANSI/AWWA) A100-97, 1998)

**1.1. PESO QUE REPRESENTA LA TUBERÍA** (American Water Works Association (ANSI/AWWA) A100-97, 1998)

Material	(Acero inoxidable)	
Diámetro exterior de la tubería	D = 18	in
Coefficiente “k” según material.	k = 10.78	U.S. (in, lb, gal)
Grosor de la tubería	t = 1/4	in
Peso	$W_t = (k * t * (D - t)) * L$	Wt = 47.84 lb/ft
		Wt = 71.18 kg/m
		Wt = 0.7 kN/m

**1.2. ESFUERZO RESISTENTE A LA TRACCIÓN EN LA TUBERÍA**

Capacidad del material para resistir la tracción	St = 90,000	lb/pulg² (PSI)
Diámetro exterior de la tubería	Do = 18	in
Grosor de la tubería	t = 1/4	in
Resistencia a la tracción de la tubería *	Cts = 627.34	tn
	Cts = 627,336.78	kg <b>OK! Cumple...</b>

\* El factor del denominador expresa la conversión de libras a toneladas

**1.3. ESFUERZO RESISTENTE A LA COMPRESIÓN EN LA TUBERÍA**

Límite elástico de la tubería	Syp = 45,000	lb/pulg² (PSI)
Diámetro exterior de la tubería	Do = 18	in
Grosor de la tubería	t = 1/4	in
Resistencia a la compresión de la tubería, en dirección axial *	Cas = 313.67	tn
	Cas = 313,668.39	kg <b>OK! Cumple...</b>

\* El factor del denominador expresa la conversión de libras a toneladas

**1.4. ESFUERZO SOBRE LA TUBERÍA (SIN EXCENRICIDAD)**

Modulo de Poisson	v = 0.3	
Grosor de la tubería	t = 1/4	in
Diámetro exterior de la tubería	D = 18	in
Módulo de Elasticidad o Young	E = 2.80E+07	lb/pulg² (PSI)
Presión crítica para una tubería	Pcr = 171.94	lb/pulg² (PSI)
	Pcr = 12.09	kg/cm²
	Pcr = 1,185.47	kN/m²

**1.5. ESFUERZO SOBRE LA TUBERÍA (CON EXCENRICIDAD)**

Límite elástico (fluencia), según composición del material.	Yp = 45,000	lb/pulg² (PSI)
Grosor de la tubería	t = 1/4	in
Diámetro exterior de la tubería	D = 18	in
Desviación del eje central (excentricidad)	e = 0.011	
Presión crítica para una tubería (sin excentricidad)	Pcr = 171.94	lb/pulg² (PSI)
Presión crítica de diseño (fallo o colapso)	a = 1.000	
	b = -1,842.39	
	c = 217,949.44	
	Pd1 = 1,715.33	lb/pulg² (PSI)
	Pd2 = 127.06	lb/pulg² (PSI)
	Pd = 127.06	lb/pulg² (PSI)
	Pd = 8.93	kg/cm²
	Pd = 875.73	kN/m²

$$Pd^2 - \left\{ \frac{2Yp}{t-1} + \left[ 1 + 3 \left( \frac{D}{t} - 1 \right) e \right] Pcr \right\} Pd + \frac{2Yp * Pcr}{t-1} = 0$$

$$Pd = x \quad ax^2 + bx + c = 0 \quad x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

**2. FILTRO (American Water Works Association (ANSI/AWWA) A100-97, 1998)**

**2.1. PRESIÓN SOBRE EL FILTRO (Filtro tipo ranura continua).**

Material		(Acero inoxidable)
Grosor del alambre		w = 0.118 in
Alto del alambre	$I = \frac{h^3(w^2 + 4wb + b^2)}{36(b + w)}$	h = 0.185 in
Menor grosor en la base del alambre		b = 0.030 in
Momento de inercia del alambre de revestimiento		I = 3.44E-05 in <sup>4</sup>
Módulo de Elasticidad o Young		E = 2.80E+07 lb/pulg <sup>2</sup> (PSI)
Dimensión del filtro en su diámetro	$P_{cs} = \frac{24EI}{(w + s)(D)^3}$	D = 18 in
Grosor de la abertura del filtro		s = 1/4 in
Presión sobre el filtro (colapso)		Pcs = 10.78 lb/pulg <sup>2</sup> (PSI)
		Pcs = 0.76 kg/cm <sup>2</sup>
		Pcs = 74.36 kN/m <sup>2</sup>

**2.2. PRESIÓN SOBRE EL FILTRO, SIN EXCENRICIDAD (filtro tipo persiana (louver) y tipo puente).**

Modulo de Poisson		v = 0.3
Grosor de la tubería		t = 1/2 in
Diámetro exterior de la tubería	$P_{cr} = \frac{2E}{(1 - v^2) \left(\frac{D}{t} - 1\right)^3}$	D = 18 in
Módulo de Elasticidad o Young		E = 2.80E+07 lb/pulg <sup>2</sup> (PSI)
Presión crítica para una tubería		Pcr = 1,435.30 lb/pulg <sup>2</sup> (PSI)
		Pcr = 100.91 kg/cm <sup>2</sup>
		Pcr = 9,896.04 kN/m <sup>2</sup>

**2.3. PRESIÓN SOBRE EL FILTRO, CON EXCENRICIDAD (filtro tipo persiana (louver) y tipo puente).**

Límite elástico (fluencia), según composición del material.		Yp = 30,000 lb/pulg <sup>2</sup> (PSI)
Grosor de la pared		t = 1/2 in
Diámetro exterior del filtro		D = 18 in
Desviación del eje central (excentricidad)		e = 0.011
Presión crítica para una tubería (sin excentricidad)		Pcr = 1435.30 lb/pulg <sup>2</sup> (PSI)
Presión crítica de diseño (fallo o colapso)		a = 1.000
		b = -4,807.36
		c = 2,460,513.25
		Pd1 = 4,224.98 lb/pulg <sup>2</sup> (PSI)
		Pd2 = 582.37 lb/pulg <sup>2</sup> (PSI)
		Pd = 582.37 lb/pulg <sup>2</sup> (PSI)
		Pd = 40.94 kg/cm <sup>2</sup>
		Pd = 4,015.32 kN/m <sup>2</sup>

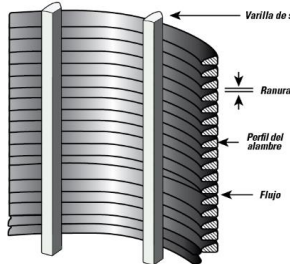
$$Pd^2 - \left\{ \frac{2Yp}{\frac{D}{t} - 1} + \left[ 1 + 3 \left( \frac{D}{t} - 1 \right) e \right] Pcr \right\} Pd + \frac{2Yp * Pcr}{\frac{D}{t} - 1} = 0$$

$$Pd = x \quad ax^2 + bx + c = 0 \quad x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

**2.4. ESFUERZO RESISTENTE A LA TENSION DEL FILTRO (Filtro tipo ranura continua).**

Cantidad de varillas de apoyo o soporte (depende del diámetro)		Nf = 88
Coeficiente de protección	"Protección bastante alta"	Ew = 85% "Protección bastante alta"
Resistencia a la fluencia del material		Y = 30,000 lb/pulg <sup>2</sup> (PSI)
Diámetro de la varilla de apoyo o soporte		dr = 0.15 in
Esfuerzo resistente a la tensión del filtro (tipo ranura continua)		Ts = 39,654.85 lb
		Ts = 17,987.14 kg <b>OK! Cumple...</b>

$$T_s = N_f * E_w * Y * (0.7854 * dr^2)$$



**2.5. ESFUERZO RESISTENTE A LA TENSION DEL FILTRO (Filtro tipo persiana (louver) y tipo puente).**

Material del filtro	(Acero inoxidable)
Tipo de filtro	(FUL FLO)-Inoxidable
Diámetro exterior del filtro	D = 18 in
Grosor de la pared del filtro	t = 0.35 in
Límite elástico (fluencia), según composición del material.	Y = 30,000 lb/pulg <sup>2</sup> (PSI)
Longitud de la abertura (ranura)	l = 3 in
Cantidad de aberturas (ranuras) por fila o círculo.	n = 14
Esfuerzo resistente a la tensión del filtro	T = 141,215.66 lb
	T = 64,054.35 kg <b>OK! Cumple...</b>



$$T = \pi(D - t) * t * Y * \left( \frac{\pi * (D - t) - (l * n)}{\pi * (D - t)} \right)$$



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 310.**

Hoja de cálculo para el diseño a la compresión en IRHS – 009.

UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO CALCULO DE ESFUERZOS A LA COMPRESIÓN EN TUBERÍAS Y FILTROS			
PROYECTO:	*Análisis Hidrogeológico y Diseño Hidráulico Comparativo por Colapso y Compresión, en Pozos Profundos, para fines agrícolas en Moquegua, 2023*.	REF.:	B53-7003130196
UBICACIÓN:	POZO IRHS – 009 INIA N° 02, Este UTM: 290596, Norte UTM: 8096401	FECHA:	20/05/2024
DISEÑO:	Bach. Boris Leonardo Aranda Huacan	CÁLCULO:	Obras Hidráulicas

**1. TUBERÍA (American Water Works Association (ANSI/AWWA) A100-97, 1998)**

**1.1. PESO QUE REPRESENTA LA TUBERÍA (American Water Works Association (ANSI/AWWA) A100-97, 1998)**

Material	(Aceros de bajo carbono)
Diámetro exterior de la tubería	D = 18 in
Coefficiente “k” según material.	k = 10.68 U.S. (in, lb, gal)
Grosor de la tubería	t = 1/4 in
Peso	Wt = 47.39 lb/ft
	Wt = 70.52 kg/m
	Wt = 0.7 kN/m

$$W_t = (k * t * (D - t)) * L$$

**1.2. ESFUERZO RESISTENTE A LA TRACCIÓN EN LA TUBERÍA**

Capacidad del material para resistir la tracción	St = 70,000 lb/pulg <sup>2</sup> (PSI)
Diámetro exterior de la tubería	Do = 18 in
Grosor de la tubería	t = 1/4 in
Resistencia a la tracción de la tubería *	Cts = 487.93 tn
* El factor del denominador expresa la conversión de libras a toneladas	Cts = 487,928.61 kg <b>OK! Cumple...</b>

$$C_{ts} = \frac{\pi * t * S_t (D_o - t)}{2000}$$

**1.3. ESFUERZO RESISTENTE A LA COMPRESIÓN EN LA TUBERÍA**

Límite elástico de la tubería	Syp = 35,000 lb/pulg <sup>2</sup> (PSI)
Diámetro exterior de la tubería	Do = 18 in
Grosor de la tubería	t = 1/4 in
Resistencia a la compresión de la tubería, en dirección axial *	Cas = 243.96 tn
* El factor del denominador expresa la conversión de libras a toneladas	Cas = 243,964.30 kg <b>OK! Cumple...</b>

$$C_{as} = \frac{\pi * t * S_{yp} (D_o - t)}{2000}$$

#### 1.4. ESFUERZO SOBRE LA TUBERÍA (SIN EXCENRICIDAD)

Modulo de Poisson  
 Grosor de la tubería  
 Diámetro exterior de la tubería  
 Módulo de Elasticidad o Young  
 Presión crítica para una tubería

$$P_{cr} = \frac{2E}{(1 - \nu^2) \left(\frac{D}{t} - 1\right)^3}$$

v =	0.28	
t =	1/4	in
D =	18	in
E =	3.00E+07	lb/pulg <sup>2</sup> (PSI)
Pcr =	<b>181.90</b>	lb/pulg <sup>2</sup> (PSI)
Pcr =	<b>12.79</b>	kg/cm <sup>2</sup>
Pcr =	<b>1,254.16</b>	kN/m <sup>2</sup>

#### 1.5. ESFUERZO SOBRE LA TUBERÍA (CON EXCENRICIDAD)

Límite elástico (fluencia), según composición del material.  
 Grosor de la tubería  
 Diámetro exterior de la tubería  
 Desviación del eje central (excentricidad)  
 Presión crítica para una tubería (sin excentricidad)  
 Presión crítica de diseño (fallo o colapso)

$$Pd^2 - \left\{ \frac{2Yp}{\frac{D}{t} - 1} + \left[ 1 + 3 \left( \frac{D}{t} - 1 \right) e \right] Pcr \right\} Pd + \frac{2Yp * Pcr}{\frac{D}{t} - 1} = 0$$

$$Pd = x \quad ax^2 + bx + c = 0 \quad x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

Yp =	35,000	lb/pulg <sup>2</sup> (PSI)
t =	1/4	in
D =	18	in
e =	0.010	
Pcr =	181.90	lb/pulg <sup>2</sup> (PSI)
a =	1.000	
b =	-1,555.26	
c =	179,338.46	
Pd1 =	1,429.84	lb/pulg <sup>2</sup> (PSI)
Pd2 =	125.43	lb/pulg <sup>2</sup> (PSI)
Pd =	<b>125.43</b>	lb/pulg <sup>2</sup> (PSI)
Pd =	<b>8.82</b>	kg/cm <sup>2</sup>
Pd =	<b>864.95</b>	kN/m <sup>2</sup>

### 2. FILTRO (American Water Works Association (ANSI/AWWA) A100-97, 1998)

#### 2.1. PRESIÓN SOBRE EL FILTRO (Filtro tipo ranura continua).

Material  
 Grosor del alambre  
 Alto del alambre  
 Menor grosor en la base del alambre  
 Momento de inercia del alambre de revestimiento  
 Módulo de Elasticidad o Young  
 Dimensión del filtro en su diámetro  
 Grosor de la abertura del filtro  
 Presión sobre el filtro (colapso)

$$I = \frac{h^3(w^2 + 4wb + b^2)}{36(b + w)}$$

$$P_{cs} = \frac{24EI}{(w + s)(D)^3}$$

(Aceros de bajo carbono)

w =	0.118	in
h =	0.185	in
b =	0.030	in
I =	3.44E-05	in <sup>4</sup>
E =	3.00E+07	lb/pulg <sup>2</sup> (PSI)
D =	18	in
s =	1/4	in
Pcs =	<b>11.56</b>	lb/pulg <sup>2</sup> (PSI)
Pcs =	<b>0.81</b>	kg/cm <sup>2</sup>
Pcs =	<b>79.67</b>	kN/m <sup>2</sup>

#### 2.2. PRESIÓN SOBRE EL FILTRO, SIN EXCENRICIDAD (filtro tipo persiana (louver) y tipo puente).

Modulo de Poisson  
 Grosor de la tubería  
 Diámetro exterior de la tubería  
 Módulo de Elasticidad o Young  
 Presión crítica para una tubería

$$P_{cr} = \frac{2E}{(1 - \nu^2) \left(\frac{D}{t} - 1\right)^3}$$

v =	0.28	
t =	1/2	in
D =	18	in
E =	3.00E+07	lb/pulg <sup>2</sup> (PSI)
Pcr =	<b>1,518.46</b>	lb/pulg <sup>2</sup> (PSI)
Pcr =	<b>106.76</b>	kg/cm <sup>2</sup>
Pcr =	<b>10,469.44</b>	kN/m <sup>2</sup>

### 2.3. PRESIÓN SOBRE EL FILTRO, CON EXCENTRICIDAD (filtro tipo persiana (louver) y tipo puente).

Límite elástico (fluencia), según composición del material.  
 Grosor de la pared  
 Diámetro exterior del filtro  
 Desviación del eje central (excentricidad)  
 Presión crítica para una tubería (sin excentricidad)  
 Presión crítica de diseño (fallo o colapso)

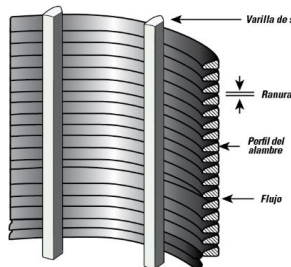
$$Pd^2 - \left\{ \frac{2Yp}{\frac{D}{t} - 1} + \left[ 1 + 3 \left( \frac{D}{t} - 1 \right) e \right] Pcr \right\} Pd + \frac{2Yp * Pcr}{\frac{D}{t} - 1} = 0$$

$$Pd = x \quad ax^2 + bx + c = 0 \quad x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

Yp =	35,000	lb/pulg <sup>2</sup> (PSI)
t =	1/2	in
D =	18	in
e =	0.010	
Pcr =	1518.46	lb/pulg <sup>2</sup> (PSI)
a =	1.000	
b =	-5,112.85	
c =	3,036,929.06	
Pd1 =	4,426.82	lb/pulg <sup>2</sup> (PSI)
Pd2 =	686.03	lb/pulg <sup>2</sup> (PSI)
Pd =	<b>686.03</b>	lb/pulg <sup>2</sup> (PSI)
Pd =	<b>48.23</b>	kg/cm <sup>2</sup>
Pd =	<b>4,730.00</b>	kN/m <sup>2</sup>

### 2.4. ESFUERZO RESISTENTE A LA TENSIÓN DEL FILTRO (Filtro tipo ranura continua).

Cantidad de varillas de apoyo o soporte (depende del diámetro)  
 Coeficiente de protección  
 Resistencia a la fluencia del material  
 Diámetro de la varilla de apoyo o soporte  
 Esfuerzo resistente a la tensión del filtro (tipo ranura continua)



$$T_s = N_f * E_w * Y * (0.7854 * dr^2)$$

Nf =	88	
Ew =	85%	"Protección bastante alta"
Y =	35,000	lb/pulg <sup>2</sup> (PSI)
dr =	0.15	in
Ts =	<b>46,263.99</b>	lb
Ts =	<b>20,984.99</b>	kg <b>OK! Cumple...</b>

### 2.5. ESFUERZO RESISTENTE A LA TENSIÓN DEL FILTRO (Filtro tipo persiana (louver) y tipo puente).

Material del filtro  
 Tipo de filtro  
 Diámetro exterior del filtro  
 Grosor de la pared del filtro  
 Límite elástico (fluencia), según composición del material.  
 Longitud de la abertura (ranuras)  
 Cantidad de aberturas (ranuras) por fila o círculo.  
 Esfuerzo resistente a la tensión del filtro



$$T = \pi(D - t) * t * Y * \left( \frac{\pi * (D - t) - (l * n)}{\pi * (D - t)} \right)$$

(Aceros de bajo carbono)		
(FUL FLO)-Al Carbono		
D =	18	in
t =	0.35	in
Y =	35,000	lb/pulg <sup>2</sup> (PSI)
l =	3	in
n =	12	
T =	<b>238,251.60</b>	lb
T =	<b>108,069.11</b>	kg <b>OK! Cumple...</b>



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 311.**

Hoja de cálculo para el diseño a la compresión en IRHS – 035.

UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO			
CALCULO DE ESFUERZOS A LA COMPRESIÓN EN TUBERÍAS Y FILTROS			
PROYECTO:	"Análisis Hidrogeológico y Diseño Hidráulico Comparativo por Colapso y Compresión, en Pozos Profundos, para fines agrícolas en Moquegua, 2023".	REF.:	B53-7003130196
UBICACIÓN:	POZO IRHS – 035 (La Cara), Este UTM: 254065, Norte UTM: 8050334	FECHA:	20/05/2024
DISEÑO:	Bach. Boris Leonardo Aranda Huacan	CÁLCULO:	Obras Hidráulicas

**1. TUBERÍA (American Water Works Association (ANSI/AWWA) A100-97, 1998)**

**1.1. PESO QUE REPRESENTA LA TUBERÍA (American Water Works Association (ANSI/AWWA) A100-97, 1998)**

Material	(Acero inoxidable)
Diámetro exterior de la tubería	D = 14 in
Coefficiente "k" según material.	k = 10.78 U.S. (in, lb, gal)
Grosor de la tubería	t = 1/4 in
Peso	$W_t = (k * t * (D - t)) * L$ Wt = 37.06 lb/ft Wt = 55.14 kg/m Wt = 0.5 kN/m

**1.2. ESFUERZO RESISTENTE A LA TRACCIÓN EN LA TUBERÍA**

Capacidad del material para resistir la tracción	St = 90,000 lb/pulg <sup>2</sup> (PSI)
Diámetro exterior de la tubería	Do = 14 in
Grosor de la tubería	t = 1/4 in
Resistencia a la tracción de la tubería *	Cts = 485.97 tn
	Cts = 485,965.11 kg <b>OK! Cumple...</b>

\* El factor del denominador expresa la conversión de libras a toneladas

$$C_{ts} = \frac{\pi * t * S_t * (D_o - t)}{2000}$$

**1.3. ESFUERZO RESISTENTE A LA COMPRESIÓN EN LA TUBERÍA**

Límite elástico de la tubería	Syp = 55,000 lb/pulg <sup>2</sup> (PSI)
Diámetro exterior de la tubería	Do = 14 in
Grosor de la tubería	t = 1/4 in
Resistencia a la compresión de la tubería, en dirección axial *	Cas = 296.98 tn
	Cas = 296,978.68 kg <b>OK! Cumple...</b>

\* El factor del denominador expresa la conversión de libras a toneladas

$$C_{as} = \frac{\pi * t * S_{yp} * (D_o - t)}{2000}$$

**1.4. ESFUERZO SOBRE LA TUBERÍA (SIN EXCENRICIDAD)**

Modulo de Poisson	v = 0.3
Grosor de la tubería	t = 1/4 in
Diámetro exterior de la tubería	D = 14 in
Módulo de Elasticidad o Young	E = 2.80E+07 lb/pulg <sup>2</sup> (PSI)
Presión crítica para una tubería	Pcr = 369.88 lb/pulg <sup>2</sup> (PSI)
	Pcr = 26.01 kg/cm <sup>2</sup>
	Pcr = 2,550.22 kN/m <sup>2</sup>

$$P_{cr} = \frac{2E}{(1 - \nu^2) \left(\frac{D}{t} - 1\right)^3}$$

**1.5. ESFUERZO SOBRE LA TUBERÍA (CON EXCENRICIDAD)**

Límite elástico (fluencia), según composición del material.	Yp = 55,000 lb/pulg <sup>2</sup> (PSI)
Grosor de la tubería	t = 1/4 in
Diámetro exterior de la tubería	D = 14 in
Desviación del eje central (excentricidad)	e = 0.011
Presión crítica para una tubería (sin excentricidad)	Pcr = 369.88 lb/pulg <sup>2</sup> (PSI)
Presión crítica de diseño (fallo o colapso)	a = 1.000
	b = -3,041.21
	c = 739,756.11
	Pd1 = 2,774.59 lb/pulg <sup>2</sup> (PSI)
	Pd2 = 266.62 lb/pulg <sup>2</sup> (PSI)
	Pd = 266.62 lb/pulg <sup>2</sup> (PSI)
	Pd = 18.75 kg/cm <sup>2</sup>
	Pd = 1,838.75 kN/m <sup>2</sup>

$$Pd^2 - \left\{ \frac{2Yp}{t-1} + \left[ 1 + 3 \left( \frac{D}{t} - 1 \right) e \right] Pcr \right\} Pd + \frac{2Yp * Pcr}{t-1} = 0$$

$$P_d = x \quad ax^2 + bx + c = 0 \quad x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$



## 2. FILTRO (American Water Works Association (ANSI/AWWA) A100-97, 1998)

### 2.1. PRESIÓN SOBRE EL FILTRO (Filtro tipo ranura continua).

Material	(Acero inoxidable)
Grosor del alambre	w = 0.09 in
Alto del alambre	h = 0.140 in
Menor grosor en la base del alambre	b = 0.025 in
Momento de inercia del alambre de revestimiento	I = 1.17E-05 in <sup>4</sup>
Módulo de Elasticidad o Young	E = 2.80E+07 lb/pulg <sup>2</sup> (PSI)
Dimensión del filtro en su diámetro	D = 14 in
Grosor de la abertura del filtro	s = 1/4 in
Presión sobre el filtro (colapso)	Pcs = 8.46 lb/pulg <sup>2</sup> (PSI)
	Pcs = 0.59 kg/cm <sup>2</sup>
	Pcs = 58.34 kN/m <sup>2</sup>

$$I = \frac{h^3(w^2 + 4wb + b^2)}{36(b + w)}$$

$$P_{cs} = \frac{24EI}{(w + s)(D)^3}$$

### 2.2. PRESIÓN SOBRE EL FILTRO, SIN EXCENRICIDAD (filtro tipo persiana (louver) y tipo puente).

Modulo de Poisson	v = 0.3
Grosor de la tubería	t = 1/2 in
Diámetro exterior de la tubería	D = 14 in
Módulo de Elasticidad o Young	E = 2.80E+07 lb/pulg <sup>2</sup> (PSI)
Presión crítica para una tubería	Pcr = 3,126.48 lb/pulg <sup>2</sup> (PSI)
	Pcr = 219.81 kg/cm <sup>2</sup>
	Pcr = 21,556.31 kN/m <sup>2</sup>

$$P_{cr} = \frac{2E}{(1 - \nu^2) \left(\frac{D}{t} - 1\right)^3}$$

### 2.3. PRESIÓN SOBRE EL FILTRO, CON EXCENRICIDAD (filtro tipo persiana (louver) y tipo puente).

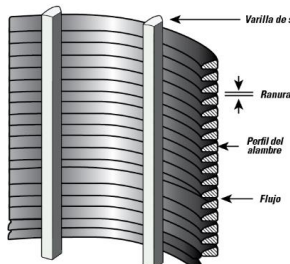
Límite elástico (fluencia), según composición del material.	Yp = 30,000 lb/pulg <sup>2</sup> (PSI)
Grosor de la pared	t = 1/2 in
Diámetro exterior del filtro	D = 14 in
Desviación del eje central (excentricidad)	e = 0.011
Presión crítica para una tubería (sin excentricidad)	Pcr = 3126.48 lb/pulg <sup>2</sup> (PSI)
Presión crítica de diseño (fallo o colapso)	a = 1.000
	b = -8,134.39
	c = 6,947,728.33
	Pd1 = 7,164.67 lb/pulg <sup>2</sup> (PSI)
	Pd2 = 969.72 lb/pulg <sup>2</sup> (PSI)
	Pd = 969.72 lb/pulg <sup>2</sup> (PSI)
	Pd = 68.18 kg/cm <sup>2</sup>
	Pd = 6,685.99 kN/m <sup>2</sup>

$$Pd^2 - \left\{ \frac{2Yp}{\frac{D}{t} - 1} + \left[ 1 + 3 \left( \frac{D}{t} - 1 \right) e \right] Pcr \right\} Pd + \frac{2Yp * Pcr}{\frac{D}{t} - 1} = 0$$

$$P_d = x \quad ax^2 + bx + c = 0 \quad x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

### 2.4. ESFUERZO RESISTENTE A LA TENSION DEL FILTRO (Filtro tipo ranura continua).

Cantidad de varillas de apoyo o soporte (depende del diámetro)	Nf = 70
Coefficiente de protección	Ew = 85% "Protección bastante alta"
Resistencia a la fluencia del material	Y = 30,000 lb/pulg <sup>2</sup> (PSI)
Diámetro de la varilla de apoyo o soporte	dr = 0.12 in
Esfuerzo resistente a la tensión del filtro (tipo ranura continua)	Ts = 20,187.92 lb
	Ts = 9,157.09 kg <b>OK! Cumple...</b>

$$T_s = N_f * E_w * Y * (0.7854 * dr^2)$$


**2.5. ESFUERZO RESISTENTE A LA TENSION DEL FILTRO (Filtro tipo persiana (louver) y tipo puente).**

Material del filtro	(Acero inoxidable)
Tipo de filtro	(SUPER FLO)
Diámetro exterior del filtro	D = 14 in
Grosor de la pared del filtro	t = 0.35 in
Límite elástico (fluencia), según composición del material.	Y = 30,000 lb/pulg <sup>2</sup> (PSI)
Longitud de la abertura (ranura)	l = 3 in
Cantidad de aberturas (ranuras) por fila o círculo.	n = 16
Esfuerzo resistente a la tensión del filtro	T = 53,731.23 lb
	T = 24,372.08 kg <b>OK! Cumple...</b>



$$T = \pi(D - t) * t * Y * \left( \frac{\pi * (D - t) - (l * n)}{\pi * (D - t)} \right)$$



Fuente: Elaboración propia.

En el contexto de la presente investigación para garantizar una vida útil mínima de **20 años**, resultó imperativo identificar los valores de las constantes hidrogeológicas de Transmisividad (T) y Coeficiente de almacenamiento (S) las cuales describen las propiedades hidrogeológicas del acuífero, tales como su capacidad de almacenamiento y transmisión de agua. Con este propósito, se llevó a cabo un cálculo de la proyección de vida útil en el pozo IRHS POZO IRHS – 045 (La Chimba N°1), Pozo IRHS – 008 INIA N°1, Pozo IRHS – 009 INIA N°2 y POZO IRHS-035 – La Cara; Tal como detalla a continuación:

**Figura 312.**

Registros históricos de los niveles piezométricos en los pozos.

UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO			
COMPARACIÓN DE LOS NIVELES PIEZOMÉTRICOS REGISTRADOS ENTRE LOS AÑOS 1983 Y 2023.			
PROYECTO:	"Análisis Hidrogeológico y Diseño Hidráulico Comparativo por Colapso y Compresión, en Pozos Profundos, para fines agrícolas en Moquegua, 2023".	REF.:	B53-7003130196
UBICACION:	POZO IRHS – 045 (La Chimba N°1), Este UTM: 292722, Norte UTM: 8099636	FECHA:	21/05/2024
DISEÑO:	Bach. Boris Leonardo Aranda Huacan	CÁLCULO:	Obras Hidráulicas

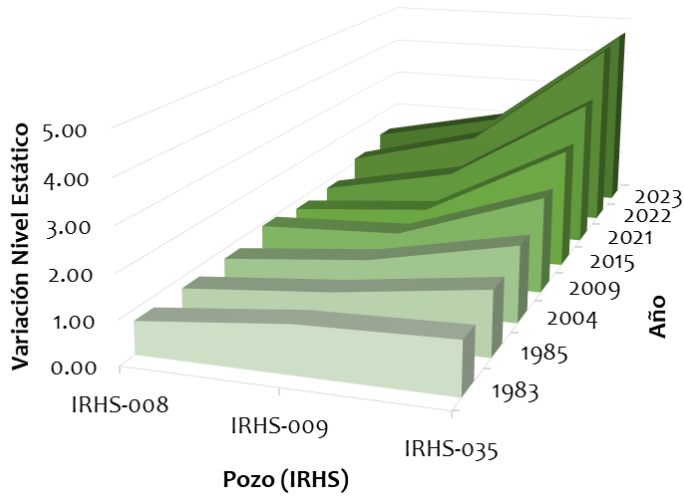
**A) DESCENSOS ANUALES**

POZO	NIVEL ESTÁTICO (m)								DESCENSOS ANUALES (m/año)					
	1983	1985	2004	2009	2015	2021	2022	2023	Periodo (1983-1985)	Periodo (2004-2009)	Periodo (2015-2021)	Periodo (2022-2023)	Periodo (1983-2023)	Periodo Crítico
IRHS-045	20.00	21.90	24.00	24.00	21.00	24.00	22.65	22.00	0.95	0.00	0.50	-0.65	0.05	<b>0.95</b>
IRHS-008	0.75	0.75	0.77	0.95	0.80	0.80	1.12	1.35	0.00	0.04	0.00	0.23	0.02	<b>0.23</b>
IRHS-009	1.10	1.05	1.10	1.10	1.10	1.50	2.00	2.07	-0.03	0.00	0.07	0.07	0.02	<b>0.07</b>
IRHS-035	1.20	1.50	1.80	2.30	2.90	3.60	4.65	4.70	0.15	0.10	0.12	0.05	0.09	<b>0.15</b>

Fuente: Junta de usuarios valle Moquegua e Ilo.

**Figura 313.**

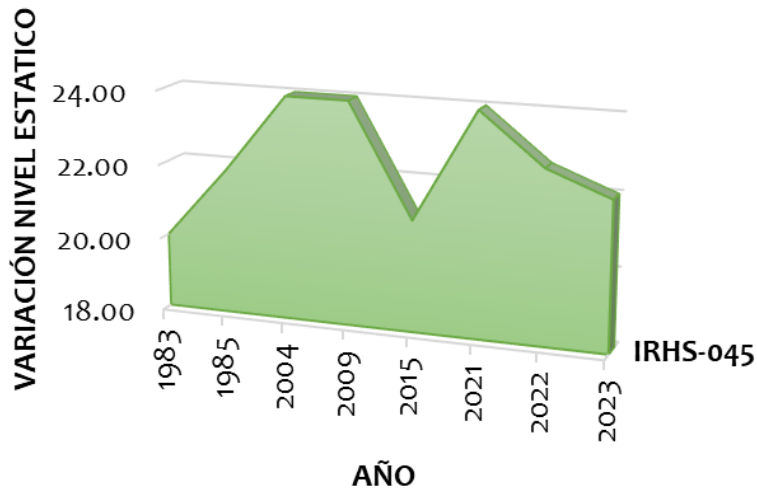
Registro piezométrico en IRHS-008, IRHS-009 e IRHS-035.



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 314.**

Registro piezométrico en IRHS-045.



Fuente: Elaboración propia.

### Figura 315.

Proyección de vida útil (IRHS 045).

**B) PROYECCIÓN DE VIDA UTIL - IRHS-045 - La Chimba N°1**

Tiempo de vida útil  Tiempo = 20 Años

Descenso anual crítico Pcrit = 0.950 m/año

Disminución del nivel freático, para el período proyectado (debido a la extracción del agua). NU = 19.00 m

Nivel estático en relación con la superficie del suelo. NE = 22.00 m

Caudal de producción previsto Q = 15 l/s 0.015 m³/s

Promedio de la Transmisividad T = 3.36E-04 m²/s

Coefficiente de almacenamiento S = 68.37

Número de horas de bombeo t = 6 horas

$BQ = \frac{0.183}{T} Q \log \frac{2.25 * T * t}{r_p^2 * S}$  t = 21,600.00 s

$\Delta H_T = BQ + CQ^2$  D = 18 in

$ND = NE + \Delta H_T + NU$  r<sub>p</sub> = 0.23 m

Diámetro del pozo C = 1,900.00 s²/m⁵

Radio del pozo BQ = 21.66 m

Constante de Pérdida  CQ² = 0.43 m

Descenso (abatimiento) del nivel del agua debido a la acción de bombeo. ΔH<sub>T</sub> = 22.09 m

Descenso total previsto (Nivel Dinámico) ND = 63.09 m

ND = 64.00 m

En consecuencia, se recomienda profundizar el pozo por debajo de los 64 metros.

Fuente: Elaboración propia.

### Figura 316.

Proyección de vida útil (IRHS 008).

**C) PROYECCIÓN DE VIDA UTIL - IRHS-008 - INIA - 01**

Tiempo de vida útil  Tiempo = 20 Años

Descenso anual crítico Pcrit = 0.230 m/año

Disminución del nivel freático, para el período proyectado (debido a la extracción del agua). NU = 4.60 m

Nivel estático en relación con la superficie del suelo. NE = 1.35 m

Caudal de producción previsto Q = 15 l/s 0.015 m³/s

Promedio de la Transmisividad T = 1.33E-03 m²/s

Coefficiente de almacenamiento S = 2.17

Número de horas de bombeo t = 24 horas

$BQ = \frac{0.183}{T} Q \log \frac{2.25 * T * t}{r_p^2 * S}$  t = 86,400.00 s

$\Delta H_T = BQ + CQ^2$  D = 18 in

$ND = NE + \Delta H_T + NU$  r<sub>p</sub> = 0.23 m

Diámetro del pozo C = 1,900.00 s²/m⁵

Radio del pozo BQ = 11.01 m

Constante de Pérdida  CQ² = 0.43 m

Descenso (abatimiento) del nivel del agua debido a la acción de bombeo. ΔH<sub>T</sub> = 11.44 m

Descenso total previsto (Nivel Dinámico) ND = 17.39 m

ND = 18.00 m

En consecuencia, se recomienda profundizar el pozo por debajo de los 18 metros.

Fuente: Elaboración propia.

### Figura 317.

Proyección de vida útil (IRHS 009).

**D) PROYECCIÓN DE VIDA UTIL - IRHS-009 - INIA - 02**

Tiempo de vida útil IRHS-009

Descenso anual crítico

Disminución del nivel freático, para el período proyectado (debido a la extracción del agua).

Nivel estático en relación con la superficie del suelo.

Caudal de producción previsto

Promedio de la Transmisividad

Coefficiente de almacenamiento

Número de horas de bombeo

$$BQ = \frac{0.183}{T} Q \log \frac{2.25 * T * t}{r_p^2 * S}$$

$$\Delta H_T = BQ + CQ^2$$

$$ND = NE + \Delta H_T + NU$$

Diámetro del pozo

Radio del pozo

Constante de Perdida Pozo correctamente desarrollado y diseñado

Descenso (abatimiento) del nivel del agua debido a la acción de bombeo.

Descenso total previsto (Nivel Dinámico)

En consecuencia, se recomienda profundizar el pozo por debajo **de los 35** metros.

Tiempo =	20	Años
Pcrit =	0.070	m/año
NU =	1.40	m
NE =	2.07	m
Q =	35 l/s	0.035 m³/s
T =	8.21E-04	m²/s
S =	36.14	
t =	12	horas
t =	43,200.00	s
D =	18	in
r <sub>p</sub> =	0.23	m
C =	1,900.00	s²/m⁵
BQ =	28.26	m
CQ² =	2.33	m
ΔH <sub>T</sub> =	30.59	m
ND =	34.06	m
ND =	35.00	m

Fuente: Elaboración propia.

### Figura 318.

Proyección de vida útil (IRHS 035).

**E) PROYECCIÓN DE VIDA UTIL - IRHS-035 - La Cara**

Tiempo de vida útil IRHS-035

Descenso anual crítico

Disminución del nivel freático, para el período proyectado (debido a la extracción del agua).

Nivel estático en relación con la superficie del suelo.

Caudal de producción previsto

Promedio de la Transmisividad

Coefficiente de almacenamiento

Número de horas de bombeo

$$BQ = \frac{0.183}{T} Q \log \frac{2.25 * T * t}{r_p^2 * S}$$

$$\Delta H_T = BQ + CQ^2$$

$$ND = NE + \Delta H_T + NU$$

Diámetro del pozo

Radio del pozo

Constante de Perdida Pozo correctamente desarrollado y diseñado

Descenso (abatimiento) del nivel del agua debido a la acción de bombeo.

Descenso total previsto (Nivel Dinámico)

En consecuencia, se recomienda profundizar el pozo por debajo **de los 48** metros.

Tiempo =	20	Años
Pcrit =	0.150	m/año
NU =	3.00	m
NE =	4.70	m
Q =	45 l/s	0.045 m³/s
T =	1.41E-03	m²/s
S =	0.35	
t =	12	horas
t =	43,200.00	s
D =	14	in
r <sub>p</sub> =	0.18	m
C =	1,900.00	s²/m⁵
BQ =	35.59	m
CQ² =	3.85	m
ΔH <sub>T</sub> =	39.43	m
ND =	47.13	m
ND =	48.00	m

Fuente: Elaboración propia.

Después de llevar a cabo el diseño al **colapso**, se determinó que para el pozo **IRHS – 045** (La Chimba N°1), se obtuvo como resultados una presión de poros de -369.39 kN/m<sup>2</sup>, velocidad del agua subterránea (condiciones estáticas)  $80.42 \times 10^{-21}$  m/s, presión efectiva -795.06 kN/m<sup>2</sup>, velocidad del agua subterránea (condiciones dinámicas - durante bombeo) de  $0.01 \times 10^{-3}$  m/s, deformación de la malla y desplazamiento total de  $162.82 \times 10^{-3}$  m, desplazamiento incremental total de  $13.18 \times 10^{-3}$  m, velocidad total de  $330.42 \times 10^{-3}$  m/s, aceleración total 2.71 m/s<sup>2</sup>, aceleración vertical -2.57 m/s<sup>2</sup>, aceleración horizontal -2.67 m/s<sup>2</sup>, tensión media efectiva  $-1.31 \times 10^3$  kN/m<sup>2</sup>, tensión efectiva  $-1.54 \times 10^3$  kN/m<sup>2</sup>, tensión total  $-1.60 \times 10^3$  kN/m<sup>2</sup>, tensión total horizontal  $-1.46 \times 10^3$  kN/m<sup>2</sup>, tensión total vertical  $-1.32 \times 10^3$  kN/m<sup>2</sup>, presiones de poro activas -365.16 kN/m<sup>2</sup> y altura activa de las aguas subterráneas de 45.53 m. Para el pozo **IRHS – 008** (INIA N°1), se obtuvo como resultados una presión de poros de -379.84 kN/m<sup>2</sup>, presión efectiva -383.49 kN/m<sup>2</sup>, velocidad del agua subterránea (condiciones dinámicas - durante bombeo) de  $17.84 \times 10^{-6}$  m/s, deformación de la malla y desplazamiento total de  $103.54 \times 10^{-3}$  m, desplazamiento incremental total de  $22.86 \times 10^{-3}$  m, velocidad total de  $561.80 \times 10^{-3}$  m/s, aceleración total 2.44 m/s<sup>2</sup>, aceleración vertical 1.29 m/s<sup>2</sup>, aceleración horizontal -2.43 m/s<sup>2</sup>, tensión media efectiva -446.14 kN/m<sup>2</sup>, tensión efectiva -485.03 kN/m<sup>2</sup>, tensión total -833.68 kN/m<sup>2</sup>, tensión total horizontal -792.70 kN/m<sup>2</sup>, tensión total vertical -855.53 kN/m<sup>2</sup>, presiones de poro activas -368.77 kN/m<sup>2</sup> y altura activa de las aguas subterráneas de 37.63 m. Para el pozo **IRHS – 009** (INIA N°2), se obtuvo como resultados una presión de poros de -563.68 kN/m<sup>2</sup>, presión efectiva -576.44 kN/m<sup>2</sup>, velocidad del agua subterránea (condiciones dinámicas - durante bombeo) de  $21.04 \times 10^{-6}$  m/s, deformación de la malla y desplazamiento total de  $173.47 \times 10^{-3}$  m, desplazamiento incremental total de  $14.70 \times 10^{-3}$  m, velocidad total de  $348.84 \times 10^{-3}$  m/s, aceleración total 2.44 m/s<sup>2</sup>, aceleración vertical 2.21 m/s<sup>2</sup>, aceleración horizontal -1.78 m/s<sup>2</sup>, tensión media efectiva -781.19 kN/m<sup>2</sup>, tensión efectiva  $-1.14 \times 10^3$  kN/m<sup>2</sup>, tensión total  $-1.35 \times 10^3$  kN/m<sup>2</sup>, tensión total horizontal  $-1.15 \times 10^3$  kN/m<sup>2</sup>, tensión total vertical  $-1.21 \times 10^3$  kN/m<sup>2</sup>, presiones de poro activas -555.38 kN/m<sup>2</sup> y altura activa de las aguas subterráneas de 56.67 m. Para el pozo **IRHS - 035** (La Cara), se obtuvo como resultados una presión de poros de -535.87 kN/m<sup>2</sup>, velocidad del agua subterránea (condiciones estáticas)  $212.23 \times 10^{-21}$  m/s, presión efectiva -517.28 kN/m<sup>2</sup>, velocidad del agua subterránea (condiciones

dinámicas - durante bombeo) de  $56.61 \times 10^{-6}$  m/s, deformación de la malla y desplazamiento total de  $205.70 \times 10^{-3}$  m, desplazamiento incremental total de  $18.08 \times 10^{-3}$  m, velocidad total de  $466.15 \times 10^{-3}$  m/s, aceleración total  $2.77$  m/s<sup>2</sup>, aceleración vertical  $2.60$  m/s<sup>2</sup>, aceleración horizontal  $-1.70$  m/s<sup>2</sup>, tensión media efectiva  $-699.87$  kN/m<sup>2</sup>, tensión efectiva  $-1.09 \times 10^3$  kN/m<sup>2</sup>, tensión total  $-1.23 \times 10^3$  kN/m<sup>2</sup>, tensión total horizontal  $-1.09 \times 10^3$  kN/m<sup>2</sup>, tensión total vertical  $-1.16 \times 10^3$  kN/m<sup>2</sup>, presiones de poro activas  $-526.75$  kN/m<sup>2</sup> y altura activa de las aguas subterráneas de  $53.75$  m.

Después de llevar a cabo el diseño a la **compresión**, se determinó que para el pozo **IRHS – 045** (La Chimba N°1), se obtuvo como resultados para la tubería ciega una resistencia a la tracción de  $487,928.61$  kg, un peso propio actuante de  $70.52$  kg/m, una resistencia a la compresión de  $243,964.30$  kg, presión crítica actuante  $1,254.16$  kN/m<sup>2</sup>, presión crítica de diseño  $864.95$  kN/m<sup>2</sup>; Y para la tubería ranurada se tiene un esfuerzo resistente (tipo ranura continua)  $20,984.99$  kg, presión sobre el filtro (ranura continua) de  $79.67$  kN/m<sup>2</sup>, esfuerzo resistente (tipo LOUVER)  $108,069.11$  kg, presión crítica actuante  $10,469.44$  kN/m<sup>2</sup>, presión crítica de diseño  $4,730.00$  kN/m<sup>2</sup>. Para el pozo **IRHS – 008** (INIA N°1), se obtuvo como resultados para la tubería ciega una resistencia a la tracción de  $627,336.78$  kg, un peso propio actuante de  $71.18$  kg/m, una resistencia a la compresión de  $313,668.39$  kg, presión crítica actuante  $1,185.47$  kN/m<sup>2</sup>, presión crítica de diseño  $875.73$  kN/m<sup>2</sup>; Y para la tubería ranurada se tiene un esfuerzo resistente (tipo ranura continua)  $17,987.14$  kg, presión sobre el filtro (ranura continua) de  $74.36$  kN/m<sup>2</sup>, esfuerzo resistente (tipo LOUVER)  $64,054.35$  kg, presión crítica actuante  $9,896.04$  kN/m<sup>2</sup>, presión crítica de diseño  $4,015.32$  kN/m<sup>2</sup>. Para el pozo **IRHS – 009** (INIA N°2), se obtuvo como resultados para la tubería ciega una resistencia a la tracción de  $487,928.61$  kg, un peso propio actuante de  $70.52$  kg/m, una resistencia a la compresión de  $243,964.30$  kg, presión crítica actuante  $1,254.16$  kN/m<sup>2</sup>, presión crítica de diseño  $864.95$  kN/m<sup>2</sup>; Y para la tubería ranurada se tiene un esfuerzo resistente (tipo ranura continua)  $20,984.99$  kg, presión sobre el filtro (ranura continua) de  $79.67$  kN/m<sup>2</sup>, esfuerzo resistente (tipo LOUVER)  $108,069.11$  kg, presión crítica actuante  $10,469.44$  kN/m<sup>2</sup>, presión crítica de diseño  $4,730.00$  kN/m<sup>2</sup>. Para el pozo **IRHS - 035** (La Cara), se

obtuvo como resultados para la tubería ciega una resistencia a la tracción de 485,965.11 kg, un peso propio actuante de 55.14 kg/m, una resistencia a la compresión de 296,978.68 kg, presión crítica actuante 2,550.22 kN/m<sup>2</sup>, presión crítica de diseño 1,838.75 kN/m<sup>2</sup>; Y para la tubería ranurada se tiene un esfuerzo resistente (tipo ranura continua) 14,307.95 kg, presión sobre el filtro (ranura continua) de 58.34 kN/m<sup>2</sup>, esfuerzo resistente (tipo LOUVER) 24,372.08 kg, presión crítica actuante 21,556.31 kN/m<sup>2</sup>, presión crítica de diseño 6,685.99 kN/m<sup>2</sup>.

Por consiguiente, al culminar el diseño hidráulico por colapso y diseño hidráulico por compresión, se logró cumplir con el **SEGUNDO OBJETIVO ESPECÍFICO (2°)** al demostrar la relación que existe entre ambas metodologías, puesto que nos permitió efectuar la comparativa entre los esfuerzos aplicados y esfuerzos resistentes para las secciones y tipos de materiales diseñados en cada pozo. Para el pozo **IRHS – 045** (La Chimba N°1), se registró una resistencia a la tracción de 4,781.70 kN (diseño a la compresión), que superó significativamente el esfuerzo aplicado de 1,600 kN (diseño al colapso). Asimismo, la resistencia a la compresión alcanzó los 2,390.85 kN (diseño a la compresión), superando el esfuerzo aplicado de 795.06 kN (diseño al colapso), por lo tanto, se cumple el diseño de la sección y características indicadas. Para el pozo **IRHS – 008** (INIA N°1), se registró una resistencia a la tracción de 6,147.90 kN (diseño a la compresión), que superó significativamente el esfuerzo aplicado de 833.68 kN (diseño al colapso). Asimismo, la resistencia a la compresión alcanzó los 3,073.95 kN (diseño a la compresión), superando el esfuerzo aplicado de 383.49 kN (diseño al colapso), por lo tanto, se cumple el diseño de la sección y características indicadas. Para el pozo **IRHS – 009** (INIA N°2), se registró una resistencia a la tracción de 4,781.70 kN (diseño a la compresión), que superó significativamente el esfuerzo aplicado de 1,350.00 kN (diseño al colapso). Asimismo, la resistencia a la compresión alcanzó los 2,390.85 kN (diseño a la compresión), superando el esfuerzo aplicado de 576.44 kN (diseño al colapso), por lo tanto, se cumple el diseño de la sección y características indicadas. Para el pozo **IRHS – 035** (La Cara), se registró una resistencia a la tracción de 4,762.46 kN (diseño a la compresión), que superó significativamente el esfuerzo aplicado de 1,230.00 kN (diseño al colapso). Asimismo, la resistencia a la



compresión alcanzó los 2,910.39 kN (diseño a la compresión), superando el esfuerzo aplicado de 517.28 kN (diseño al colapso), por lo tanto, se cumple el diseño de la sección y características indicadas.


Analizada la proyección de una **vida útil mínima de 20 años**, y considerando el registro histórico de los niveles piezométricos; Se tiene que, para el **IRHS 045** - La Chimba N°1 el descenso total previsto (Nivel Dinámico) llega a los 64 metros, visto que nuestra tomografía eléctrica indica que se puede profundizar hasta los 60 metros (profundidad actual 40 metros), existiendo un déficit que garantice la vida útil de 20 años para el IRHS 045 - La Chimba N°1, debido a que en las condiciones actuales duraría 16 años, salvo que únicamente se bombeo 2 horas al día o se profundice el pozo 24 metros adicionales, para garantizar una vida útil mínima de 20 años. Para el **IRHS 008** - INIA 01 el descenso total previsto (Nivel Dinámico) llega a los 18 metros, visto que nuestra tomografía eléctrica indica que se puede profundizar hasta los 80 metros (profundidad actual 20 metros), se garantizaría con el presente diseño que en 20 años el pozo seguirá produciendo óptimamente. Para el **IRHS 009** - INIA 02 el descenso total previsto (Nivel Dinámico) llega a los 35 metros, visto que nuestra tomografía eléctrica indica que se puede profundizar hasta los 100 metros (profundidad actual 40 metros), se garantizaría con el presente diseño que en 20 años el pozo seguirá produciendo óptimamente. Para el **IRHS 035** - La Cara el descenso total previsto (Nivel Dinámico) llega a los 48 metros, visto que nuestra tomografía eléctrica indica que se puede profundizar hasta los 50 metros (profundidad actual 38 metros), mediante el presente diseño existe un déficit que garantice la vida útil de 20 años para el IRHS 035 - La Cara, salvo se profundice el pozo 10 metros adicionales, para garantizar una vida útil mínima de 20 años, estando al límite las condiciones hidrogeológicas del pozo IRHS 035.

Siendo estos datos y pruebas hidrogeológicas concluyentes, necesarios para garantizar una vida útil mínima de 20 años. Este respaldo evidencia la importancia crítica de abordar minuciosamente estos factores durante la planificación y ejecución de proyectos relacionados con la explotación de aguas subterráneas en pozos profundos.

Identificado fehacientemente los criterios del estudio hidrogeológico como, las características hidrogeológicas de los acuíferos analizados en cuanto a su productividad, recuperación, transmisividad, coeficiente de almacenamiento y conductividad hidráulica, esto permitió obtener una visión integral del comportamiento hidráulico de los pozos analizados; Con estos resultados, se facilitó el diseño hidráulico tanto para condiciones de colapso como de compresión, determinando los esfuerzos actuantes bajo cargas dinámicas y los esfuerzos admisibles. Se seleccionaron las mejores características y materiales para el diseño de los pozos, garantizando una vida útil mínima de 20 años. Con estos criterios identificados, se optimizó el diseño final para la extracción de agua subterránea, según se detalla a continuación:

**Figura 319.**

*Granulometría del acuífero en IRHS – 045.*

 <b>UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO</b>	ID del Documento:	UCV-B53-002-PB-01	Ubicación:	IRHS - 045
	Fecha:	2023		La Chimba N°1
	Documento:	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO PARA EL PREFILTRO DE GRAVA		Este UTM: 292722 Norte UTM: 8099636

1. Granulometría del Acuífero

		GRANULOMETRIA DEL ACUIFERO						MUESTRA TOTAL		
		Tamaño Tamiz N°	Abert. (mm)	Peso Ret. (g)	Peso Ret. Acumul.(g)	Pasa Acumul.(g)	% Retenido Acumul.	% Q'Pasa Acumul.	5000.00 g.	
PIEDRA / CANTOS		3"	76.200	0.00	0.00	5000.00	0.00%	100.00%		
GRAVA	GRUESA	2"	50.800	0.00	0.00	5000.00	0.00%	100.00%	Pasante	Retenido
		1 1/2"	38.100	182.50	182.50	4817.50	3.65%	96.35%	D10 = 0.0728	D90 = 0.0728
		1"	25.400	310.00	492.50	4507.50	9.85%	90.15%	0.073	0.073
		3/4"	19.050	379.50	872.00	4128.00	17.44%	82.56%		
	FINA	1/2"	12.700	501.00	1373.00	3627.00	27.46%	72.54%	D30 = 0.3743	D70 = 0.3743
		3/8"	9.525	160.00	1533.00	3467.00	30.66%	69.34%	0.365	0.365
	#04	4.760	304.50	1837.50	3162.50	36.75%	63.25%			
ARENA	GRUESA	#10	2.000	414.50	2252.00	2748.00	45.04%	54.96%	D60 = 3.6780	D40 = 3.6780
		#20	0.841	674.00	2926.00	2074.00	58.52%	41.48%	3.388	3.388
	MEDIA	#30	0.595		2926.00	2074.00	58.52%	41.48%	Coeficiente de Uniformidad	
		#40	0.420	429.50	3355.50	1644.50	67.11%	32.89%	Cu = 50.50	Cu = 50.50
		#60	0.250	537.00	3892.50	1107.50	77.85%	22.15%		
	FINA	#100	0.149	323.50	4216.00	784.00	84.32%	15.68%	Coeficiente de Curvatura	
		#200	0.074	259.00	4475.00	525.00	89.50%	10.50%	Cc = 0.52	Cc = 0.52
ARCILLAS / LIMOS FONDO		0.053	450.00	4925.00	75.00	98.50%	1.50%			
			4,925.00		75.00					

Fuente: Elaboración propia.

## Figura 320.

Granulometría por anidación del acuífero en IRHS – 045.

### 2. Ajustes a los porcentajes de la granulometría (Anidación)

#### 2.1. Porcentaje de vacíos, según tipo de material (Terzaghi, 1948)

Material	% de vacíos		
	% min	% max.	% prom.
Arcilla	40	70	55
Limo	40	50	45
Arena	25	50	37.5
Grava	24	40	32

$$e = V_v / V_s$$

V<sub>v</sub> = Volumen de vacíos (agua o aire)

V<sub>s</sub> = Volumen de sólidos

Diametro del Pozo Perforado (m)	0.5334	21.00 in
Area (m2)	0.2235	

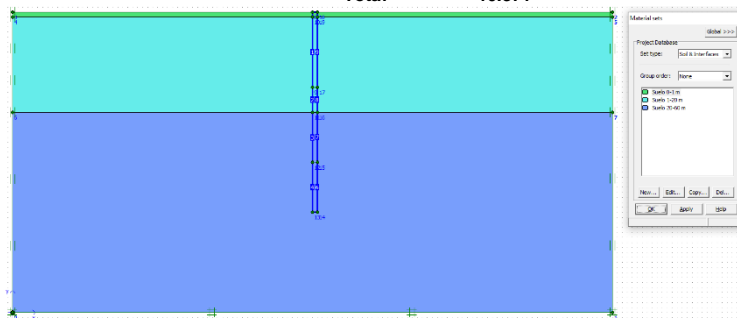
#### 2.2. Volumen del Material

Tipo de Material	Arena G, Lim, Gra	Arena, lim, arc.	Arcilla, limo, arena	Arena y Grava	Arena c/Limos y Arcilla, Grava	Arena Gruesa, Arena Fina, Grava	...
Espesor (m)	1	4	8	7	10	10	
Area (m2)	0.2235	0.2235	0.2235	0.2235	0.2235	0.2235	0.2235
Vol (m3)	0.223	0.894	1.788	1.564	2.235	2.235	0.000

#### 2.3. Volumen de vacíos

Tipo de Material	Arena G, Lim, Gra	Arena, lim, arc.	Arcilla, limo, arena	Arena y Grava	Arena c/Limos y Arcilla, Grava	Arena Gruesa, Arena Fina, Grava	...
Arcilla		0.492	0.983		1.229		
Limo	0.101	0.402	0.804		1.006		
Arena	0.084	0.335	0.670	0.587	0.838	0.838	
Grava	0.072			0.501	0.715	0.715	

Tipo de Material	Vol. Parcial (m3)	(%)	(%)
Arcilla	2.704	26.07%	M. Granular <b>51.63%</b>
Limo	2.313	22.30%	
Arena	3.352	32.32%	M. Fino <b>48.37%</b>
Grava	2.002	19.31%	
<b>Total</b>	<b>10.371</b>		



### 2. Granulometría Anidada ó corregida (GRA)

		GRANULOMETRIA CORREGIDA					
		Tamaño Tamiz N°	Abert. (mm)	% Retenido Acumul.	% Q'Pasa Acumul.		
PIEDRA / CANTOS		3"	76.200	0.00%	100.00%		
GRAVA	GRUESA	2"	50.800	0.00%	100.00%	<b>Pasante</b>	<b>Retenido</b>
		1 1/2"	38.100	3.65%	96.35%	<b>D10 = 0.2932</b>	<b>D90 = 0.2932</b>
		1"	25.400	9.85%	90.15%	0.2852	0.2852
		3/4"	19.050	17.44%	82.56%		
	FINA	1/2"	12.700	27.46%	72.54%	<b>D30 = 1.1331</b>	<b>D70 = 1.1331</b>
		3/8"	9.525	30.66%	69.34%	1.0462	1.0462
	<b>#04</b>	<b>4.760</b>	<b>51.63%</b>	<b>48.37%</b>			
ARENA	GRUESA	#10	2.000	59.92%	40.08%	<b>D60 = 7.4024</b>	<b>D40 = 7.4024</b>
		#20	0.841	73.40%	26.60%	6.9930	6.9930
	MEDIA	#30	0.595	73.40%	26.60%	<i>Coefficiente de Uniformidad</i>	
		#40	0.420	81.99%	18.01%	<b>Cu = 25.25</b>	<b>Cu = 25.25</b>
	FINA	#60	0.250	92.73%	7.27%	<i>Coefficiente de Curvatura</i>	
		#100	0.149	99.20%	0.80%	<b>Cc = 0.59</b>	<b>Cc = 0.59</b>
	#200	0.074	100.00%	0.00%			
ARCILLAS / LIMOS FONDO		0.053		100.00%	0.00%		

Fuente: Elaboración propia.

### Figura 321.

Granulometría del pre filtro (paquete de grava) y abertura del filtro (rejilla) en IRHS – 045.

Factor antes de corregir **7** (6 a 8) Acuífero parcialmente consolidado y no consolidado que contiene arcillas y limos.  
 Factor después de corregir **5** (4 a 6) Arenas sin consolidar (4 arena fina, 6 arena gruesa o grava)

3. Granulometría del pre filtro o paquete de grava (Decil retenida).

	Abert. (mm)	% Retenido Acumul.
D95 =	2.62	95.00
D90 =	4.23	90.00
D80 =	4.95	80.00
D70 =	5.67	70.00
D60 =	6.38	60.00
D50 =	7.10	50.00
D40 =	7.82	40.00
D95 =	8.54	30.00
D95 =	9.26	20.00
D95 =	9.97	10.00
D00 =	10.69	0.00

• **Coefficiente de Uniformidad**  
 Según Retenido:

**Cu = 1.85** < 2.5 OK!!!

$$C_u = \frac{D_{40}}{D_{90}}$$

• **Rango del filtro de grava**

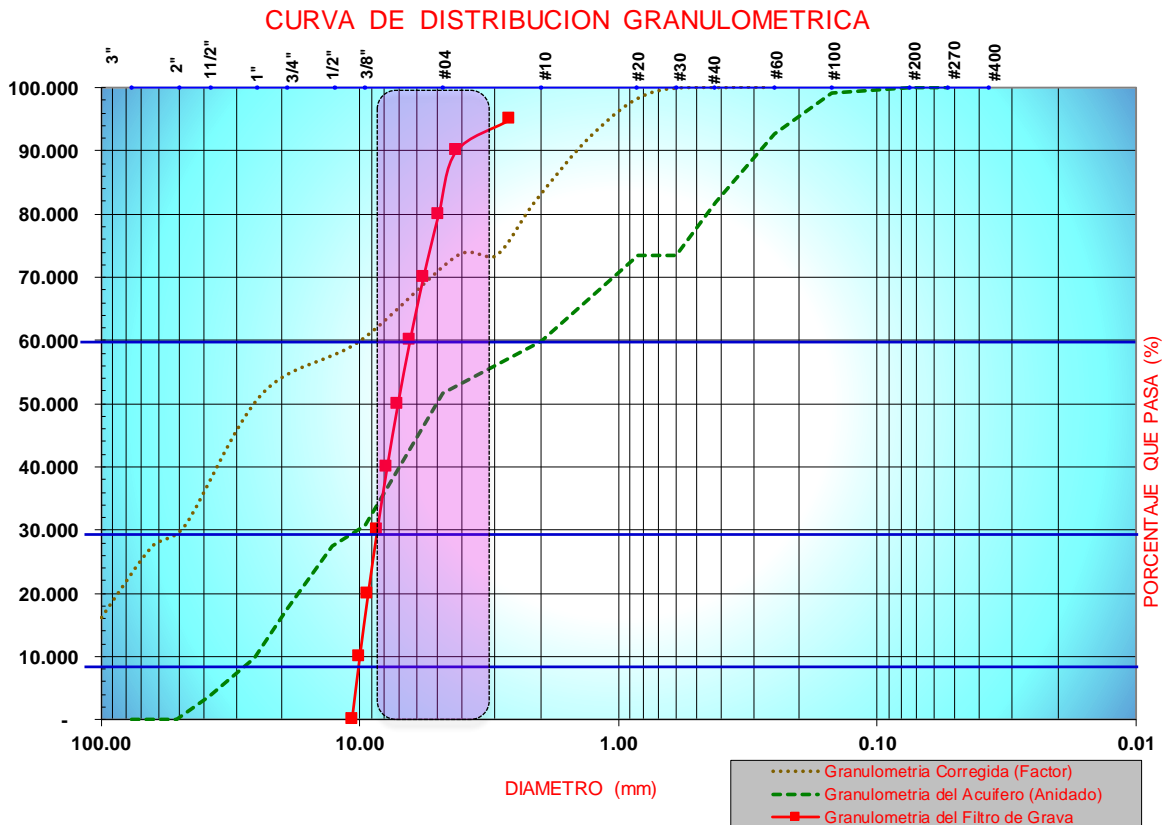
Entre: **4 mm y 7 mm**

• **Configuración de la partícula**

**Redondeado**

• **Calidad**

**Libre de impurezas**



4. Dimensión de la abertura del filtro (Rejilla)

• **Proporción de retención:** **90%**  
 mm. %

2.10	81.99
1.25	92.73

• **Interpolando**

Abertura del filtro	
D90 =	1.4658

mm. 0.0577 in  
 1/16 in

Fuente: Elaboración propia.

## Figura 322.

Diseño final del sistema de bombeo en IRHS – 045.

 <b>UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO</b>			
<b>CÁLCULO DEL POZO, DIAMETRO DE LA LÍNEA DE IMPULSIÓN Y POTENCIA DE BOMBA</b>			
PROYECTO:	"Análisis Hidrogeológico y Diseño Hidráulico Comparativo por Colapso y Compresión, en Pozos Profundos, para fines agrícolas en Moquegua,	REF.:	B53-7003130196
UBICACIÓN:	POZO IRHS – 045 (La Chimba N°1), Este UTM: 292722, Norte UTM:	FECHA:	22/05/2024
DISEÑO:	Bach. Boris Leonardo Aranda Huacan	CÁLCULO:	Obras Hidráulicas

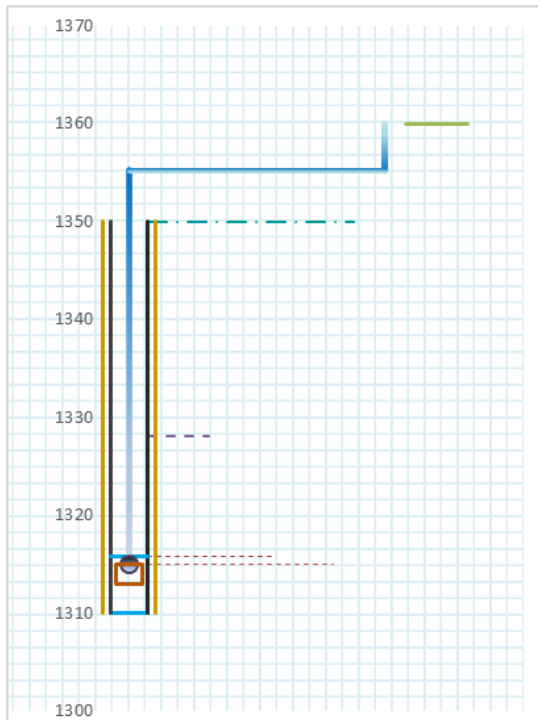
### 1. Datos

Caudal Máximo Diario		$Q_{md} =$	<b>15.00</b>	Lt/s
Numero de horas de bombeo		$N =$	<b>24.00</b>	horas
Caudal de bombeo	$Q_b = Q_{md} * (24/N)$	$Q_b =$	15.00	Lt/seg
Cota Terreno		$CT =$	<b>1350.00</b>	m.s.n.m.
Cota nivel de bombeo (Succión)	$Co_{N,suc} = CT - H$	$Co_{N,suc} =$	1315.00	m.s.n.m.
Cota de llegada al punto		$Co_{N,LL} =$	<b>1360.00</b>	m.s.n.m.
Cota de nivel estático		$Co_{N,e} =$	1328.00	m.s.n.m.
Cota de nivel dinámico		$Co_{N,d} =$	1315.78	m.s.n.m.
Altura (nivel estático)		$H_{N,e} =$	<b>22.00</b>	m
Altura (Nivel dinámica)		$H_{N,d} =$	<b>34.22</b>	m
Espesor del Acuífero		$h =$	<b>5.78</b>	m
Altura (Nivel succión)	$\geq 34.22$	$H_s =$	<b>35.00</b>	m
Altura (Estática)		$H =$	45.00	m
Coeficiente de Hazen-Williams (Acero)		$C =$	<b>130.00</b>	
Coeficiente de Hazen-Williams (HDPE)		$C =$	<b>150.00</b>	
Longitud de la tubería línea de impulsión (Acero)		$L_{AC} =$	<b>35.00</b>	m
Longitud de la tubería en línea de descarga (HDPE)		$L_{HDPE} =$	<b>75.00</b>	m
Longitud de tubería en la caseta (Árbol de Descarga) Acero		$L_{AC} =$	<b>4.85</b>	m
Presión a la salida (Ps)		$P_s =$	<b>2.00</b>	m

Fuente: Elaboración propia.

### Figura 323.

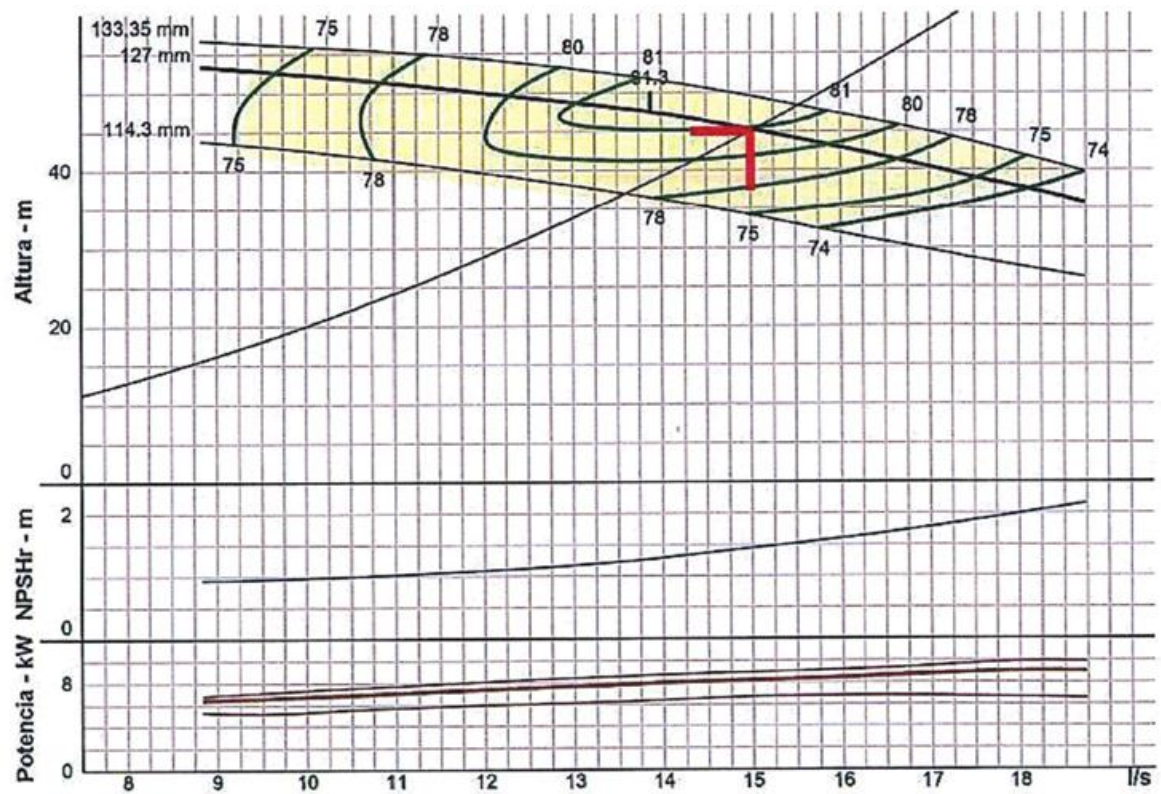
Esquema del pozo IRHS – 045.



Fuente: Elaboración propia.

### Figura 324.

Curva de rendimiento en electrobomba para IRHS – 045.



Fuente: Warson Smart pumps ®

## Figura 325.

Cálculo del pozo IRHS – 045.

### 2. Cálculo del pozo

**Cálculo del diámetro del Ademe:**

$$da = DEB + f + 6'' \text{ pulg}$$

**Cálculo del diámetro de electrobomba sumergible (dt)**

Este se obtiene de seleccionar la curva de diseño de la bomba y esto a su vez se hace en función del gasto de diseño del pozo en (litros/segundo) vs. Altura (Estática).

Caudal de Bombeo	$Q_b =$	15.00	Lt/seg	
En el grafico se observa que, para el caudal requerido el diámetro de la electrobomba mínimamente es de:	$D_{EB} =$	5.00	pulg	127.00 mm
Espacio para ampliación futura (Factor de Seguridad)	$f =$	7.00	pulg	177.80 mm
Espacio que se deja para que la electrobomba sumergible trabaje holgadamente		6.00	pulg	152.40 mm
Reemplazando en la ecuación diámetro de ademe	$da =$	18.00	pulg	457.20 mm

**Cálculo del diámetro Contra-ademe (diámetro perforación)  $db = da + 3''$  pulg**

Espacio anular que se deja para el pre filtro de grava (1.5" por lado min.)		3.00	pulg	76.20 mm
Reemplazando en la ecuación diámetro contra-ademe	$db =$	21.00	pulg	533.40 mm

Caudal de bombeo	$Q_b =$	15.00	Lt/s	0.0150 m <sup>3</sup> /s
Espesor del Acuífero	$h =$	5.78	m	
Velocidad	$V =$	0.33042	m/s	33.04 cm/s
V: Velocidad máxima permeable a la entrada del cedazo para evitar turbulencia del agua en el acuífero				
Área requerida	$A = Q/V$	0.045	m <sup>2</sup>	

**Obtención del área de infiltración (fi)  $fi = A/h$**

Área de infiltración total (mínima requerida)	$fi =$	0.008	m <sup>2</sup> /ml
	$fi =$	78.54	cm <sup>2</sup> /ml

Con este valor revisamos los catálogos técnicos de filtros louver, tipo Ful Flo, de Acero al Carbono

#### Rejilla Louver tipo Ful Flo

Área abierta - Acero al Carbono

Diámetro (pulg.)	Ranuras x Círculo	Ranuras x Pie	Ranuras x Metro	Abertura en Pulgadas					Abertura en Milímetros					
				0.060	0.075	0.090	0.105	0.120	0.5	1.0	1.5	2.0	3.0	4.0
6.625	6	72	236	7.0	8.8	10.5	12.3	14.0	48.7	97.4	146.1	194.8	292.2	389.6
8.625	8	96	315	9.4	11.7	14.0	16.4	18.7	65.0	130.0	195.0	260.0	390.0	520.1
10.75	8	96	315	15.1	18.9	22.7	26.5	30.2	105.0	210.0	315.0	420.1	630.1	840.1
12.75	8	96	315	15.1	18.9	22.7	26.5	30.2	105.0	210.0	315.0	420.1	630.1	840.1
14	8	96	315	15.1	18.9	22.7	26.5	30.2	105.0	210.0	315.0	420.1	630.1	840.1
16	10	120	394	18.9	23.6	28.4	33.1	37.8	131.3	262.7	394.0	525.4	788.1	1050.8
18	12	144	472	22.7	28.4	34.0	39.7	45.4	157.4	314.7	472.1	629.4	944.1	1258.8
20	14	168	551	26.5	33.1	39.7	46.3	52.9	183.7	367.4	551.1	734.8	1102.1	1469.5
22	14	168	551	26.5	33.1	39.7	46.3	52.9	183.7	367.4	551.1	734.8	1102.1	1469.5
24	16	192	630	30.2	37.8	45.4	52.9	60.5	183.7	367.4	551.1	734.8	1102.1	1469.5

Área Abierta: Pulgadas cuadradas por pie lineal

Área Abierta: Centímetros cuadrados por metro lineal

**Revestimiento de Acero al Carbono**  
Dimensiones, Pesos y Resistencia

DIÁMETRO NOMINAL (pulg.)	ESPESOR		DIÁMETRO EXTERNO		DIÁMETRO INTERNO		PESO		RESISTENCIA AL COLAPSO			RESISTENCIA A LA TRACCIÓN		
	pulg.	mm	pulg.	mm	pulg.	mm	lb / pie	kg/m	psi	pies agua	kg/cm <sup>2</sup>	metros agua	tons	ton. M
6	3/16	4.76	6-5/8	168	6-1/4	159	12.89	19.22	78	1656	50.5	505	13.7	103.4
6	1/4	6.35	6-5/8	168	6-1/8	156	1202	25.38	1288	2915	90.6	906	150.1	136.5
8	3/16	4.76	8-5/8	219	8-1/4	210	16.90	25.19	393	908	277	277	149.0	135.5
8	1/4	6.35	8-5/8	219	8-1/8	206	22.36	33.34	75.6	1744	53.2	532	197.2	179.3
10	3/16	4.76	10-3/4	275	10-3/8	263	21.15	31.53	228	527	16.1	161	186.6	169.6
10	1/4	6.35	10-3/4	275	10-1/8	260	28.04	41.80	461	1064	32.4	324	247.3	224.8
10	5/16	7.94	10-3/4	275	10-1/8	257	34.84	51.94	760	1755	53.5	535	307.3	279.3
12	3/16	4.76	12-3/4	324	12-3/8	314	25.16	37.51	147	339	10.3	103	227.9	207.7
12	1/4	6.35	12-3/4	324	12-1/4	311	33.38	49.76	306	707	21.5	215	294.4	267.6
12	5/16	7.94	12-3/4	324	12-1/8	308	41.51	61.89	521	1202	36.6	366	366.1	332.8
12	3/8	9.53	12-3/4	324	12	305	49.56	73.89	779	1799	54.8	548	437.1	397.4
14	3/16	4.76	14	356	13-5/8	346	27.66	41.24	115	265	8.1	81	244.0	221.8
14	1/4	6.35	14	356	13-1/2	343	36.71	54.74	242	560	17.0	171	323.8	294.3
14	5/16	7.94	14	356	13-3/8	340	45.68	68.11	419	966	29.5	295	402.9	366.3
14	3/8	9.53	14	356	13-1/4	337	54.57	81.36	636	1468	44.7	447	481.3	437.5
16	3/16	4.76	16	406	15-5/8	397	31.66	47.21	80	185	5.6	56	279.3	253.9
16	1/4	6.35	16	406	15-1/2	394	42.05	62.70	172	398	12.1	121	310.9	332.2
16	5/16	7.94	16	406	15-3/8	391	52.36	78.06	303	700	21.3	213	461.8	419.8
16	3/8	9.53	16	406	15-1/8	387	62.58	93.30	470	1084	33.0	330	527.0	501.7
18	3/16	4.76	18	457	17-5/8	448	35.67	53.8	58	134	4.1	41	314.6	286.0
18	1/4	6.35	18	457	17-1/2	445	47.39	70.66	126	292	8.9	89	418.0	380.0
18	5/16	7.94	18	457	17-3/8	441	59.05	88.01	226	521	15.9	159	520.7	473.3
18	3/8	9.53	18	457	17-1/4	438	70.59	105.24	355	819	25.0	250	622.6	565.9
20	3/16	4.76	20	508	19-5/8	498	39.67	59.15	43	100	3.1	31	349.9	318.1
20	1/4	6.35	20	508	19-1/2	495	52.73	78.62	95	220	6.7	67	465.1	422.8
20	5/16	7.94	20	508	19-3/8	492	65.71	97.96	172	398	12.1	121	519.6	526.8
20	3/8	9.53	20	508	19-1/4	489	78.60	117.8	274	632	19.3	193	683.3	630.2
22	3/16	4.76	22	559	21-5/8	549	43.68	65.12	33	77	2.3	23	385.3	350.2
22	1/4	6.35	22	559	21-1/2	546	58.07	86.58	74	170	5.2	52	512.2	465.6
22	5/16	7.94	22	559	21-3/8	543	72.38	107.92	134	310	9.4	94	638.4	580.3
22	3/8	9.53	22	559	21-1/4	540	86.61	129.13	215	497	15.2	152	763.9	694.4
24	3/16	4.76	24	610	23-5/8	600	47.68	71.09	26	60	1.8	18	420.6	382.3
24	1/4	6.35	24	610	23-1/2	597	63.41	94.54	58	134	4.1	41	559.3	508.4
24	5/16	7.94	24	610	23-3/8	594	79.06	117.87	107	246	7.5	75	697.3	633.8
24	3/8	9.53	24	610	23-1/4	591	94.62	141.07	172	398	12.1	121	834.6	758.6

\*Fuente: "Timoshenko's Elastic Formula with Eccentricity"

Efectuada nuestra granulometría del acuífero, se obtuvo una abertura mínima de:  
4. Dimensión de la abertura del filtro (Rejilla)

• Proporción de retención:

mm.	%
2.10	81.99
1.25	92.73

• Interpolando

Abertura del filtro
D90 = 1.4658 mm.

Entonces se tiene un diámetro de **18"** ; Así mismo, considerando una abertura comercial inmediata superior, entonces el Área abierta en la canastilla de infiltración es:  $f_i = 472.1 \text{ cm}^2/\text{ml}$

Verif.  $f_{\text{canastilla}} = 472.1 > f_{\text{requerida}} = 78.54$

Se obtienen los siguientes datos del filtro:

Diámetro del filtro	=	18	pulg
Espesor	=	1/4	pulg
Peso por metro lineal	=	70.66	kg/m
Nº de Ranuras por metro lineal	=	472.00	Ranuras/metro
Área de infiltración	=	472.1	cm <sup>2</sup> /ml



\*Fuente: Catálogo Fabricantes, Roscoe Moss Company®. "Timoshenko's Elastic Formula with Eccentricity"

Verif.  $\emptyset_{\text{Perforación}} = 21.00 \geq \emptyset_{\text{Ademe}} = 18.00$  **¡Cumple!** 86%

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 326.**  
Características de la tubería para la línea de impulsión.

Diámetro Nominal	Dimen. Exterior	STD			SCH-40			XS			SCH-80			SCH-160		
		Espesor Nominal	Peso		Espesor Nominal	Peso		Espesor Nominal	Peso		Espesor Nominal	Peso		Espesor Nominal	Peso	
Pulg.	mm	mm	kg/m	kg	mm	kg/m	kg	mm	kg/m	kg	mm	kg/m	kg	mm	kg/m	kg
1/4	13.7	2.24	0.63	3.78	2.24	0.63	3.78	3.02	0.80	4.8	3.02	0.80	4.8	-	-	
3/8	17.1	2.31	0.84	5.04	2.31	0.84	5.04	3.20	1.10	6.6	3.20	1.10	6.6	-	-	
1/2	21.3	2.77	1.27	7.62	2.77	1.27	7.62	3.73	1.62	9.72	3.73	1.62	9.72	4.78	1.95	11.7
3/4	26.7	2.87	1.69	10.14	2.87	1.69	10.14	3.91	2.20	13.2	3.91	2.20	13.2	5.56	2.90	17.4
1	33.4	3.38	2.50	15	3.38	2.50	15	4.55	3.24	19.44	4.55	3.24	19.44	6.35	4.24	25.44
1 1/4	42.2	3.56	3.39	20.34	3.56	3.39	20.34	4.85	4.47	26.82	4.85	4.47	26.82	6.35	5.61	33.66
1 1/2	48.3	3.68	4.05	24.3	3.68	4.05	24.3	5.08	5.41	32.46	5.08	5.41	32.46	7.14	7.25	43.5
2	60.3	3.91	5.44	32.64	3.91	5.44	32.64	5.54	7.48	44.88	5.54	7.48	44.88	8.74	11.11	66.66
2 1/2	73.0	5.16	8.63	51.78	5.16	8.63	51.78	7.01	11.41	68.46	7.01	11.41	68.46	9.53	14.92	89.52
3	88.9	5.49	11.29	67.74	5.49	11.29	67.74	7.62	15.27	91.62	7.62	15.27	91.62	11.13	21.35	128.1
4	114.3	6.02	16.07	96.42	6.02	16.07	96.42	8.56	22.32	133.92	8.56	22.32	133.92	13.49	33.54	201.24
5	141.3	6.55	21.77	130.62	6.55	21.77	130.62	9.53	30.97	185.82	9.53	30.97	185.82	15.88	49.12	294.72
6	168.3	7.11	28.26	169.56	7.11	28.26	169.56	10.97	42.56	255.36	10.97	42.56	255.36	18.26	67.57	405.42
8	219.1	8.18	42.55	255.3	8.18	42.55	255.3	12.70	64.64	387.84	12.70	64.64	387.84	23.01	111.27	667.62
10	273.0	9.27	60.29	361.74	9.27	60.29	361.74	12.70	81.55	489.3	15.09	95.98	575.88	28.58	172.27	1033.62
12	323.8	9.53	73.88	443.28	10.31	79.71	478.26	12.70	97.46	584.76	17.48	132.05	792.3	33.32	238.69	1432.14
14	355.6	9.53	81.33	487.98	11.13	94.55	567.3	12.70	107.39	644.34	19.05	158.11	948.66	35.71	281.72	1690.32
16	406.4	9.53	93.27	559.62	12.70	123.31	739.86	12.70	123.30	739.8	21.44	203.54	1221.24	40.49	365.38	2192.28
18	457	9.53	105.16	630.96	14.27	155.81	934.86	12.70	139.15	834.9	23.83	254.57	1527.42	45.24	459.39	2756.34
20	508	9.53	117.15	702.9	15.09	183.43	1100.58	12.70	155.12	930.72	26.19	311.19	1867.14	50.01	564.85	3389.1
22	559	9.53	129.13	774.78	-	-	-	12.70	171.09	1026.54	28.58	373.85	2243.1	53.98	672.30	4033.8
24	610	9.53	141.12	846.72	17.48	255.43	1532.58	12.70	187.06	1122.36	30.96	442.11	2652.66	59.54	808.27	4849.62

Fuente: Aceros Arequipa.

**Figura 327.**  
Potencias comerciales de Electrobombas.

Potencias comerciales en motores eléctricos.

Potencia (hp)	Intervalo (hp)
5 7.5 10 15 20	5-20
25 30 40 50	21-50
60 75 100 125	51-125
150 200 250 300 350	>126

Fuente: Warson Smart pumps ®

## Figura 328.

Cálculo del diámetro de la línea de impulsión en IRHS – 045.

### 3. Cálculo del diámetro de la línea de impulsión

La selección del diámetro de la línea de impulsión se hará en base a las fórmulas de Bresse:

Diámetro teórico máximo (D<sub>max</sub>)

$$D_{max} = 1.3 * \left(\frac{N}{24}\right)^{\frac{1}{4}} * (\sqrt{Q_b})$$

$$D_{max} = 159.00 \text{ mm} \quad 6.2598 \text{ in}$$

Diámetro teórico económico (Decon.)

$$D_{econ} = 0.96 * \left(\frac{N}{24}\right)^{\frac{1}{4}} * (Q_b)^{0.45}$$

$$D_{econ} = 145.00 \text{ mm} \quad 5.7087 \text{ in}$$

Diámetro interior comercial asumido

$$D = 154.08 \text{ mm} \quad 6.0661 \text{ in}$$

Tubos SCH ASTM A53 ASTM A106 / API 5L Gr. B (Sin Costura)

6 in

### 4. Selección del equipo de bombeo

Pérdida de carga por fricción en la tubería (hf): Fórmula de Hazen y Williams

$$h_f = 10.674 * \frac{Q^{1.852}}{C^{1.852} * D^{4.871}} * L$$

Tramo	Caudal Bombeo (Lt/s)	Longitud (m) L	C (Hazen-W)	Diámetro (mm) D	hf (m)
1	15.00	35.00	130.00	154.08	0.17
2	15.00	4.85	120.00	154.08	0.03
3	15.00	75.00	130.00	154.08	0.37
<b>Total</b>					<b>0.57</b>

Tramo Valor (L/D)

1	227.1547	¡Cumple!
2	31.47715	¡Cumple!
3	486.7601	¡Cumple!

Pérdida de carga por accesorios (hk) Si  $\frac{L}{D} < 4000$

Aplicamos la siguiente ecuación para el cálculo de la pérdida de carga por accesorios

$$h_k = 25x \frac{V^2}{2g}$$

Reemplazando en la ecuación tenemos:

Tramo	Caudal Bombeo (Lt/s)	Diámetro (mm)	Velocidad (V) (m/s)	h <sub>k</sub> (m)
1	15.00	154.08	0.80	0.82
<b>Total</b>				<b>0.82</b>

$$v = \frac{Q}{A}$$

$$A = \frac{\pi}{4} D^2$$

Pérdida de carga total : hf + hk(total)

Tramo	h <sub>f</sub> (m)	h <sub>k</sub> (m)	h <sub>f</sub> + h <sub>k</sub> (m)
1	0.57	0.25	0.82
<b>Total</b>			<b>0.82</b>

Altura dinámica total  $H_{dt} = H_g + H_f \text{ total} + P_s$

$$H_{dt} = 47.82 \text{ m}$$

Potencia teórica de la bomba

Potencia a instalar

$$P_{ot.Bomba} = \frac{PE * Q_b * H_{dt}}{75 * n} =$$

14.08	HP
15.00	HP
11.19	KW

TIPO: BOMBA TURBINA VERTICAL

Datos:

Peso específico del agua (Kg/m<sup>3</sup>)

$$PE = 1000 \text{ kg/m}^3$$

Rendimiento del conjunto bomba-motor

$$n = 68\%$$

$$n = n1 * n2$$

$$n = 68\%$$

Eficiencia del motor = 70% < n1 < 85%

$$n1 = 79\%$$

Eficiencia de la Bomba = 85% < n2 < 90%

$$n2 = 86\%$$

**Figura 329.**

*Cálculo del golpe de ariete en IRHS – 045.*

 UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO <b>CÁLCULO DEL GOLPE DE ARIETE, LINEA DE IMPULSIÓN</b>			
PROYECTO:	"Análisis Hidrogeológico y Diseño Hidráulico Comparativo por Colapso y Compresión, en Pozos Profundos, para fines agrícolas en Moquegua, 2023"	REF.:	B53-7003130196
UBICACIÓN:	POZO IRHS – 045 (La Chimba N°1), Este UTM: 292722, Norte UTM:	FECHA:	22/05/2024
DISEÑO:	Bach. Boris Leonardo Aranda Huacan	CÁLCULO:	Obras Hidráulicas

**1. Parámetros de diseño**

Caudal máximo diario		$Q_{md} =$	15.00	lt/s
Numero de horas de bombeo (N)		$N =$	24.00	horas
Caudal de bombeo	$Q_b = Q_{md} * 24 / N$	$Q_b =$	15.00	lt/s
Cota nivel de bombeo (nivel de parada)		$C_{ON.B.} =$	1350.00	msnm
Cota de llegada al punto de descarga		$C_{ON.LL.} =$	1360.00	msnm
Altura estática		$He =$	45.00	m
Altura dinámica de bombeo		$ADT =$	47.82	m
Longitud de la tubería Descarga (Impulsión + Línea)		$L_{TUB} =$	110.00	m
Coef. Material De Hazen Williams		$C =$	130	
Velocidad máxima del flujo	$V = Q/A$	$V =$	0.80	m/s
Constante de gravedad		$g =$	9.81	m/s <sup>2</sup>
Material propuesto de la tubería			ACERO	
Diámetro de tubería exterior		$d_{ext} =$	168.30	mm
Diámetro de tubería interior		$d_{int} =$	154.08	mm
Espesor de la Tubería		$e =$	7.11	mm

**2. Cálculo del golpe de ariete**

*Carga por sobre presión de Golpe de Ariete ( $h_{golpe}$ )*

$$h_{golpe} = \frac{a \times V}{g}$$

Con:  $V =$  Velocidad del liquido en m/s  
 $a =$  Velocidad de aceleración de la Onda en m/s  
 $g =$  Aceleración de la Gravedad en m/s<sup>2</sup>

*Velocidad de aceleración de la onda (a) calculado por:*

$$a = \sqrt{\frac{K_v}{\rho \cdot \left(1 + \frac{K_v \cdot d}{E \cdot e}\right)}}$$

Densidad del agua a 22 °C (IRHS - 045)  
 Modulo de Bulk del agua a 22 °C (IRHS - 045)  
 Diametro interior de la tubería  
 Modulo de Elasticidad del conducto  
 Espesor del tubo

$$a = 275.63 \text{ m/s}$$

$\rho =$	997.77	kg/m <sup>3</sup>
$K_v =$	2.25E+09	Pa
$d =$	154.08	mm
$E =$	1.70E+09	Pa
$e =$	7.11	mm

*Tiempo de parada de la bomba (T)*

Formula de Mendiluce

$$Tc = C + \frac{K \cdot L \cdot V}{g \cdot Hm}$$

$$T = 0.38 \text{ s}$$

Longitud del Tramo  
 Velocidad del flujo  
 Aceleración de la gravedad  
 Altura Dinámica Total  
 Coeficientes de ajuste empírico

$L =$	110.00	m
$V =$	0.80	m/s
$g =$	9.81	m/s <sup>2</sup>
$Hm =$	47.82	m

C y K

Valores de C, según Mendiluce  $Hm/L = 0.430$

$$C = 0$$

Si	Condición	C
	$Hm/L < 0.2$	1.0
	$Hm/L \geq 0.4$	0.0
	$Hm/L \approx 0.3$	0.6

valores de K, según Mendiluce

Si	Condición	K
	$L < 500$	2.00
	$L \approx 500$	1.75
	$500 < L < 1500$	1.50
	$L \approx 1500$	1.25
	$L > 1500$	1.00

$$L = 110.00 \text{ m}$$

$$K = \boxed{2}$$

### Tiempo de propagación de la Onda ( $T_p$ )

El tiempo de propagación desde la válvula hasta la embocadura de la tubería:

$$T_p = \frac{2 * L}{a}$$

$$T_p = \boxed{0.80} \text{ m/s}$$

Longitud de la tubería

$$L = \boxed{110.00} \text{ m}$$

Velocidad de la Onda

$$a = \boxed{275.63} \text{ m/s}$$

### Determinación de la posibilidad del golpe de Ariete en la Impulsión

Siendo  $T$  = Tiempo de cierre de la válvula(s), cuando prevea un:

$T \leq T_p$  Equivaldrá a un cierre instantáneo, ya que el tiempo de recorrido de ida y vuelta de la onda de presión es superior al de cierre. Es decir tenemos un cierre rápido, alcanzándose la sobrepresión máxima en algún punto de la tubería. Se producirá Golpe de Ariete.

$T > T_p$  No se producirá Golpe de Ariete dado que la onda de presión regresará a la válvula sin que esta se encuentre totalmente cerrada. Estamos en un cierre lento y ningún punto alcanzara la sobrepresión máxima.

Tipo de cierre	Rápido	<input checked="" type="checkbox"/>
	Lento	<input type="checkbox"/>

### Si habrá Golpe de Ariete

Para evitar la producción del golpe de ariete, se empleará válvulas de cierre lento para ir cerrando con lentitud el caudal de retorno y evitando estropear las tuberías y accesorios instalados.

### Calculo de la longitud crítica ( $L_c$ )

Formula de Michaud

$$L_c = \frac{a * T}{2}$$

$$L_c = \boxed{52.37} \text{ m}$$

Velocidad de la Onda

$$a = \boxed{275.63} \text{ m/s}$$

Tiempo de parada

$$T = \boxed{0.38} \text{ s}$$

### Calculo de la sobrepresión por golpe de ariete

Para el calculo de la sobrepresión, se aplicara las formulas de Michaud o de Allieve, según se cumpla las siguientes condiciones:

$L > L_c$	Impulsión Larga	$T \leq T_p$	Cierre rapido	Allieve	$h_{golpe} = \frac{a * V}{g}$
$L < L_c$	Impulsión Corta	$T > T_p$	Cierre lento	Michaud	$h_{golpe} = \frac{2 * L * V}{g * T}$

Finalmente la sobre carga por golpe de ariete  $h_{golpe}$  resulta en:  $h_{golpe} = \boxed{22.60} \text{ m.c.a.}$

### 3. Presión Total

La presión total  $P_{Max} = h_{golpe} + ADT$

$$P_{Max} = \boxed{70.42} \text{ m.c.a.}$$

$$h_{golpe} = \boxed{22.60} \text{ m.c.a.}$$

$$ADT = \boxed{47.82} \text{ m.c.a.}$$

$$P_{Max} = \boxed{100.0275} \text{ Psi} = \boxed{6.896654} \text{ bar}$$

### 4. Selección de la clase

La Tubería seleccionada :

Material	Diametro Interior (mm)	Presion de Funcionamiento Admisible (PFA)		Tipo/Clase
ACERO	154.08	1780 psi	1253.12 m.c.a.	SCH-40

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 330.**


Características de la tubería de acero clase SCH-40.

DIÁMETRO NOMINAL	DIÁMETRO EXTERIOR		ESPESOR DE PARED		PESO kg/m	PESO tipo	SCH N.º	PRESIÓN DE PRUEBA GRADO B psi
	pulgada	mm	pulgada	mm				
3"	3.50	88.9	0.22	5.49	11.29	STD	40	2,500
3"	3.50	88.9	0.3	7.62	15.27	XS	80	2,500
4"	4.50	114.3	0.24	6.02	16.07	STD	40	2,210
4"	4.50	114.3	0.34	8.56	22.32	XS	80	2,800
5"	5.56	141.3	0.26	6.55	21.77	STD	40	1,950
5"	5.56	141.3	0.38	9.52	30.94	XS	80	2,800
6"	6.63	168.3	0.28	7.11	28.26	STD	40	1,780
6"	6.63	168.3	0.43	10.97	42.56	XS	80	2,740
8"	8.63	219.1	0.32	8.18	42.55	STD	40	1,570
8"	8.63	219.1	0.50	12.7	64.64	XS	80	2,430
10"	10.75	273.0	0.37	9.27	60.29	STD	40	1,430
10"	10.75	273.0	0.59	15.09	95.97	XS	80	2,320
12"	12.75	323.8	0.41	10.31	79.7	STD	40	1,340
12"	12.75	323.8	0.69	17.48	132.04	XS	80	2,270
14"	14.00	355.6	0.44	11.13	94.55	STD	40	1,310
14"	14.00	355.6	0.75	19.05	158.1	XS	80	2,250

Fuente: Aceros Arequipa.

**Figura 331.**

Granulometría del acuífero en IRHS – 008.

 <b>UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO</b>	ID del Documento:	UCV-B53-002-PB-01	Ubicación:	IRHS - 008
	Fecha:	2023		INIA N° 01
	Documento:	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO PARA EL PREFILTRO DE GRAVA		Este UTM:
			Norte UTM:	8096850

1. Granulometría del Acuífero

		GRANULOMETRIA DEL ACUIFERO							MUESTRA TOTAL	
		Tamaño Tamiz N°	Abert. (mm)	Peso Ret. (g)	Peso Ret. Acumul.(g)	Pasa Acumul.(g)	% Retenido Acumul.	% Q'Pasa Acumul.	4500.00 g.	
PIEDRA / CANTOS		3"	76.200	0.00	0.00	4500.00	0.00%	100.00%		
GRAVA	GRUESA	2"	50.800	0.00	0.00	4500.00	0.00%	100.00%	Pasante	Retenido
		1 1/2"	38.100	166.05	166.05	4333.95	3.69%	96.31%	D10 = 0.2448	D90 = 0.2448
		1"	25.400	293.85	459.90	4040.10	10.22%	89.78%	0.243	0.243
	FINA	3/4"	19.050	364.05	823.95	3676.05	18.31%	81.69%		
		1/2"	12.700	675.90	1499.85	3000.15	33.33%	66.67%	D30 = 1.3021	D70 = 1.3021
		3/8"	9.525	549.00	2048.85	2451.15	45.53%	54.47%	1.187	1.187
	#04	4.760	497.25	2546.10	1953.90	56.58%	43.42%			
ARENA	GRUESA	#10	2.000	283.05	2829.15	1670.85	62.87%	37.13%	D60 = 10.9642	D40 = 10.9642
		#20	0.841	532.80	3361.95	1138.05	74.71%	25.29%	10.852	10.852
	MEDIA	#30	0.595		3361.95	1138.05	74.71%	25.29%	Coeficiente de Uniformidad	
		#40	0.420	296.55	3658.50	841.50	81.30%	18.70%	Cu = 44.79	Cu = 44.79
	FINA	#60	0.250	381.15	4039.65	460.35	89.77%	10.23%		
		#100	0.149	200.25	4239.90	260.10	94.22%	5.78%	Coeficiente de Curvatura	
	#200	0.074	143.10	4383.00	117.00	97.40%	2.60%	Cc = 0.63	Cc = 0.63	
ARCILLAS / LIMOS		FONDO	0.053	72.90	4455.90	44.10	99.02%	0.98%		
				4,455.90		44.10				

Fuente: Elaboración propia.

## Figura 332.

### Granulometría por anidación del acuífero en IRHS – 008.

#### 2. Ajustes a los porcentajes de la granulometría (Anidación)

##### 2.1. Porcentaje de vacíos, según tipo de material (Terzaghi, 1948)

Material	% de vacíos		
	% min	% max.	% prom.
Arcilla	40	70	55
Limo	40	50	45
Arena	25	50	37.5
Grava	24	40	32

$$e = V_v / V_s$$

$V_v$  = Volumen de vacíos (agua o aire)

$V_s$  = Volumen de sólidos

Diametro del Pozo Perforado (m)	<b>0.5334</b>	21.00 in
Area (m <sup>2</sup> )	<b>0.2235</b>	

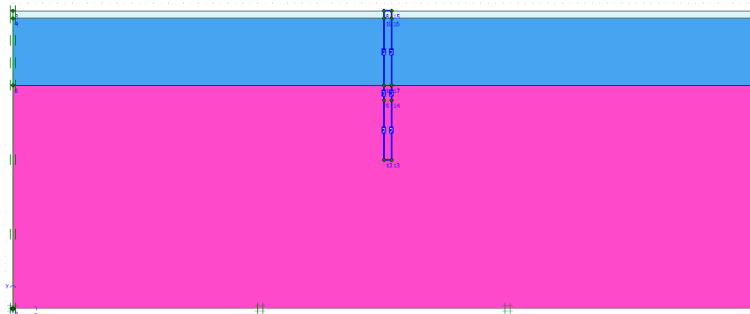
##### 2.2. Volumen del Material

Tipo de Material	Arena F., Lim.,	Arcilla, lim,	Arena c/arcilla	Arena gruesa con Limo y Grava	Arena c/Limos, Grava	Arena Gruesa, Arena Fina, Grava	...
Espesor (m)	<b>1</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>0</b>	<b>6</b>	
Area (m <sup>2</sup> )	0.2235	0.2235	0.2235	0.2235	0.2235	0.2235	0.2235
Vol (m <sup>3</sup> )	0.223	0.894	1.117	0.894	0.000	1.341	0.000

##### 2.3. Volumen de vacíos

Tipo de Material	Arena F., Lim., Gra	Arcilla, lim, Gra	Arena c/arcilla	Arena gruesa con Limo y Grava	Arena c/Limos, Grava	Arena Gruesa, Arena Fina, Grava	...
Arcilla		0.492	0.615				
Limo	0.101	0.402		0.402	0.000		
Arena	0.084		0.419	0.335	0.000	0.503	
Grava	0.072	0.286		0.286	0.000	0.429	

Tipo de Material	Vol. Parcial (m <sup>3</sup> )	(%)	(%)
Arcilla	1.106	25.00%	<b>54.55%</b>
Limo	0.905	20.45%	
Arena	1.341	30.30%	<b>45.45%</b>
Grava	1.073	24.24%	
<b>Total</b>	<b>4.424</b>		



#### 2. Granulometría Anidada ó corregida (GRA)

		GRANULOMETRIA CORREGIDA					
		Tamaño Tamiz N°	Abert. (mm)	% Retenido Acumul.	% Q'Pasa Acumul.	Pasante	Retenido
PIEDRA / CANTOS		3"	76.200	0.00%	100.00%		
GRAVA	GRUESA	2"	50.800	0.00%	100.00%		
		1 1/2"	38.100	3.69%	96.31%	<b>D10 = 0.1986</b>	<b>D90 = 0.1986</b>
		1"	25.400	10.22%	89.78%	0.1921	0.1921
		3/4"	19.050	18.31%	81.69%		
	FINA	1/2"	12.700	33.33%	66.67%	<b>D30 = 1.1029</b>	<b>D70 = 1.1029</b>
		3/8"	9.525	45.53%	54.47%	1.0229	1.0229
ARENA	GRUESA	#10	2.000	60.84%	39.16%	<b>D60 = 10.9642</b>	<b>D40 = 10.9642</b>
		#20	0.841	72.68%	27.32%	10.8517	10.8517
	MEDIA	#30	0.595	72.68%	27.32%	<i>Coefficiente de Uniformidad</i>	
		#40	0.420	79.27%	20.73%	<b>Cu = 55.21</b>	<b>Cu = 55.21</b>
	FINA	#60	0.250	87.74%	12.26%	<i>Coefficiente de Curvatura</i>	
		#100	0.149	92.19%	7.81%	<b>Cc = 0.56</b>	<b>Cc = 0.56</b>
ARCILLAS / LIMOS		FONDO	0.053	96.99%	0.00%		

Fuente: Elaboración propia.

### Figura 333.

Granulometría del pre filtro (paquete de grava) y abertura del filtro (rejilla) en IRHS – 008.

Factor antes de corregir **4** (4 a 6) Arenas sin consolidar (4 arena fina, 6 arena gruesa o grava)  
 Factor despues de corregir **7** (6 a 8) Acuífero parcialmente consolidado y no consolidado que contiene arcillas y limos.

3. Granulometría del pre filtro o paquete de grava (Decil retenida).

	Abert. (mm)	% Retenido Acumul.
D95 =	5.21	95.00
D90 =	6.71	90.00
D80 =	7.22	80.00
D70 =	7.72	70.00
D60 =	8.23	60.00
D50 =	8.73	50.00
D40 =	9.23	40.00
D95 =	9.74	30.00
D95 =	10.24	20.00
D95 =	10.75	10.00
D00 =	11.25	0.00

• Coeficiente de Uniformidad

Según Retenido:

**Cu = 1.38** < 2.5 OK!!!

$$C_u = \frac{D_{40}}{D_{90}}$$

• Rango del filtro de grava

Entre:

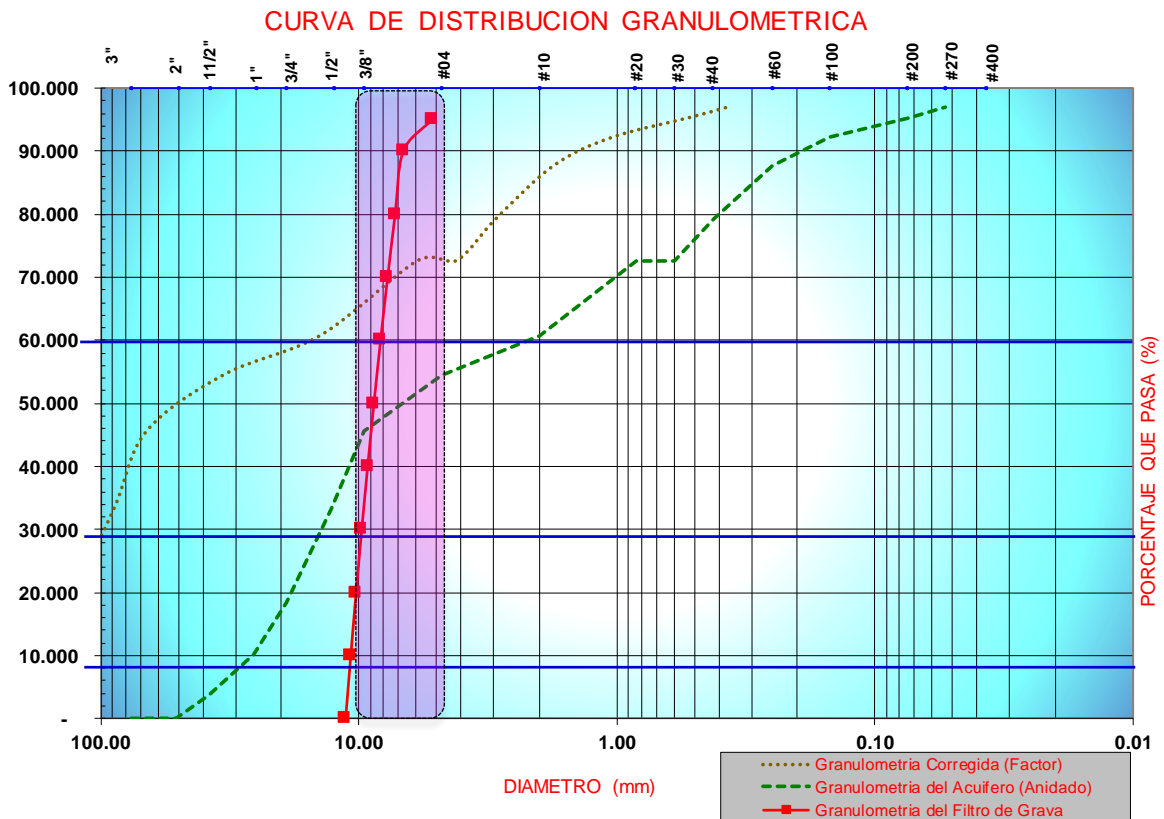
**6 mm y 9 mm**

• Configuración de la partícula

**Redondeado**

• Calidad

**Libre de impurezas**



4. Dimensión de la abertura del filtro (Rejilla)

• Proporción de retención:

**90%**  
mm. %

1.75	87.74
1.04	92.19

• Interpolando

**Abertura del filtro**  
D90 = 1.3902 mm.


0.0547 in

1/16 in

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 334.**

Diseño final del sistema de bombeo en IRHS – 008.

 UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO <b>CÁLCULO DEL POZO, DIAMETRO DE LA LÍNEA DE IMPULSIÓN Y POTENCIA DE BOMBA</b>			
PROYECTO:	“Análisis Hidrogeológico y Diseño Hidráulico Comparativo por Colapso y Compresión, en Pozos Profundos, para fines agrícolas en Moquegua.	REF.:	B53-7003130196
UBICACIÓN:	POZO IRHS – 008 INIA N° 01, Este UTM: 290784, Norte UTM: 8096850	FECHA:	22/05/2024
DISEÑO:	Bach. Boris Leonardo Aranda Huacan	CÁLCULO:	Obras Hidráulicas

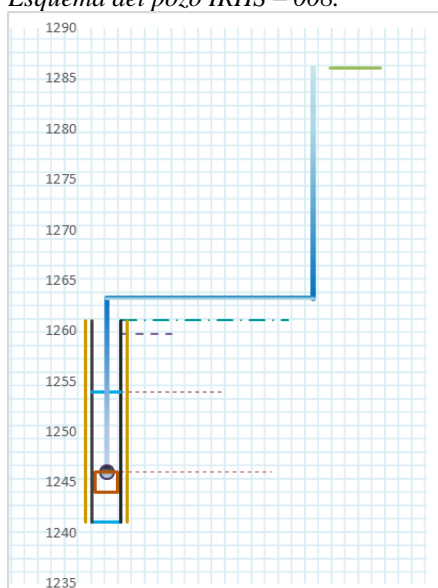
**1. Datos**

Caudal Máximo Diario		$Q_{md} =$	<b>15.00</b>	Lt/s
Numero de horas de bombeo		$N =$	<b>24.00</b>	horas
Caudal de bombeo	$Q_b = Q_{md} * (24/N)$	$Q_b =$	15.00	Lt/seg
Cota Terreno		$CT =$	<b>1261.00</b>	m.s.n.m.
Cota nivel de bombeo (Succión)	$Co_{N.suc} = CT - H$	$Co_{N.suc} =$	1246.00	m.s.n.m.
Cota de llegada al punto		$Co_{N.LL.} =$	<b>1286.00</b>	m.s.n.m.
Cota de nivel estático		$Co_{N.e} =$	1259.65	m.s.n.m.
Cota de nivel dinámico		$Co_{N.d} =$	1253.88	m.s.n.m.
Altura (nivel estático)		$H_{N.e} =$	<b>1.35</b>	m
Altura (Nivel dinámica)		$H_{N.d} =$	<b>7.12</b>	m
Espesor del Acuífero		$h =$	<b>12.88</b>	m
Altura (Nivel succión)	$\geq 7.12$	$H_s =$	<b>15.00</b>	m
Altura (Estática)		$H =$	40.00	m
Coefficiente de Hazen-Willians (Acero)		$C =$	<b>130.00</b>	
Coefficiente de Hazen-Willians (HDPE)		$C =$	<b>150.00</b>	
Longitud de la tubería línea de impulsión (Acero)		$L_{AC} =$	<b>15.00</b>	m
Longitud de la tubería en línea de descarga (HDPE)		$L_{HDPE} =$	<b>77.80</b>	m
Longitud de tubería en la caseta (Árbol de Descarga) Acero		$L_{AC} =$	<b>4.50</b>	m
Presión a la salida (Ps)		$Ps =$	<b>2.00</b>	m

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 335.**

Esquema del pozo IRHS – 008.

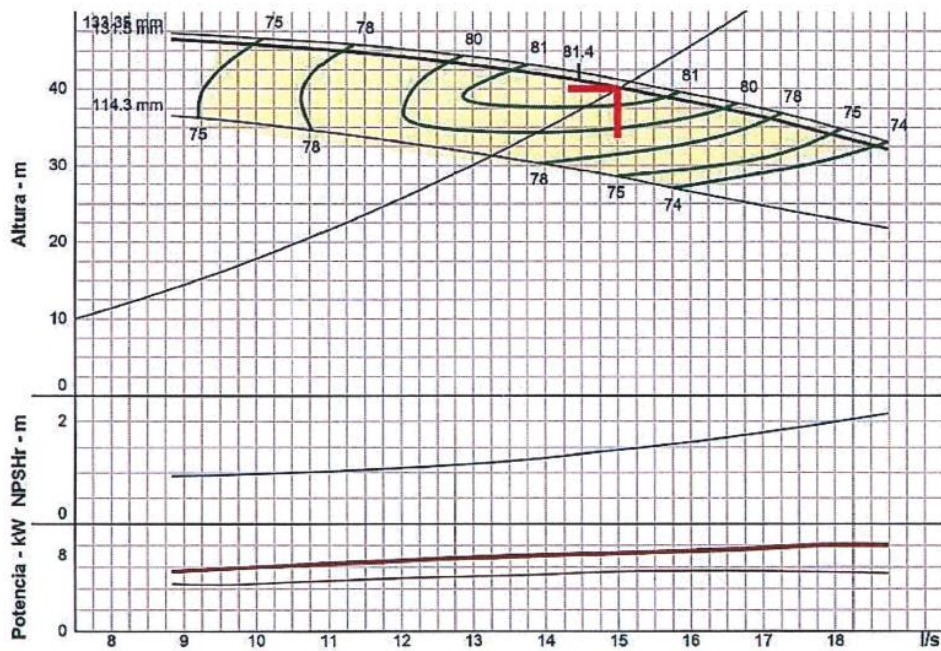


Fuente: Elaboración propia.



**Figura 336.**

Curva de rendimiento en electrobomba para IRHS – 008.



Fuente: Warson Smart pumps ®

**Figura 337.**

Características de la tubería para la línea de impulsión.

Diámetro Nominal	Dimen. Exterior	STD			SCH-40			XS			SCH-80			SCH-160		
		Espesor Nominal	Peso		Espesor Nominal	Peso		Espesor Nominal	Peso		Espesor Nominal	Peso		Espesor Nominal	Peso	
Pulg.	mm	mm	kg/m	kg	mm	kg/m	kg	mm	kg/m	kg	mm	kg/m	kg	mm	kg/m	kg
1/4	13.7	2.24	0.63	3.78	2.24	0.63	3.78	3.02	0.80	4.8	3.02	0.80	4.8	-	-	
3/8	17.1	2.31	0.84	5.04	2.31	0.84	5.04	3.20	1.10	6.6	3.20	1.10	6.6	-	-	
1/2	21.3	2.77	1.27	7.62	2.77	1.27	7.62	3.73	1.62	9.72	3.73	1.62	9.72	4.78	1.95	11.7
3/4	26.7	2.87	1.69	10.14	2.87	1.69	10.14	3.91	2.20	13.2	3.91	2.20	13.2	5.56	2.90	17.4
1	33.4	3.38	2.50	15	3.38	2.50	15	4.55	3.24	19.44	4.55	3.24	19.44	6.35	4.24	25.44
1 1/4	42.2	3.56	3.39	20.34	3.56	3.39	20.34	4.85	4.47	26.82	4.85	4.47	26.82	6.35	5.61	33.66
1 1/2	48.3	3.68	4.05	24.3	3.68	4.05	24.3	5.08	5.41	32.46	5.08	5.41	32.46	7.14	7.25	43.5
2	60.3	3.91	5.44	32.64	3.91	5.44	32.64	5.54	7.48	44.88	5.54	7.48	44.88	8.74	11.11	66.66
2 1/2	73.0	5.16	8.63	51.78	5.16	8.63	51.78	7.01	11.41	68.46	7.01	11.41	68.46	9.53	14.92	89.52
3	88.9	5.49	11.29	67.74	5.49	11.29	67.74	7.62	15.27	91.62	7.62	15.27	91.62	11.13	21.35	128.1
4	114.3	6.02	16.07	96.42	6.02	16.07	96.42	8.56	22.32	133.92	8.56	22.32	133.92	13.49	33.54	201.24
5	141.3	6.55	21.77	130.62	6.55	21.77	130.62	9.53	30.97	185.82	9.53	30.97	185.82	15.88	49.12	294.72
6	168.3	7.11	28.26	169.56	7.11	28.26	169.56	10.97	42.56	255.36	10.97	42.56	255.36	18.26	67.57	405.42
8	219.1	8.18	42.55	255.3	8.18	42.55	255.3	12.70	64.64	387.84	12.70	64.64	387.84	23.01	111.27	667.62
10	273.0	9.27	60.29	361.74	9.27	60.29	361.74	12.70	81.55	489.3	15.09	95.98	575.88	28.58	172.27	1033.62
12	323.8	9.53	73.88	443.28	10.31	79.71	478.26	12.70	97.46	584.76	17.48	132.05	792.3	33.32	238.69	1432.14
14	355.6	9.53	81.33	487.98	11.13	94.55	567.3	12.70	107.39	644.34	19.05	158.11	948.66	35.71	281.72	1690.32
16	406.4	9.53	93.27	559.62	12.70	123.31	739.86	12.70	123.30	739.8	21.44	203.54	1221.24	40.49	365.38	2192.28
18	457	9.53	105.16	630.96	14.27	155.81	934.86	12.70	139.15	834.9	23.83	254.57	1527.42	45.24	459.39	2756.34
20	508	9.53	117.15	702.9	15.09	183.43	1100.58	12.70	155.12	930.72	26.19	311.19	1867.14	50.01	564.85	3389.1
22	559	9.53	129.13	774.78	-	-	-	12.70	171.09	1026.54	28.58	373.85	2243.1	53.98	672.30	4033.8
24	610	9.53	141.12	846.72	17.48	255.43	1532.58	12.70	187.06	1122.36	30.96	442.11	2652.66	59.54	808.27	4849.62

Fuente: Aceros Arequipa.

## Figura 338.

Cálculo del pozo IRHS – 008.

### 2. Cálculo del pozo

**Cálculo del diámetro del Ademe:**

$$da = DEB + f + 6'' \text{ pulg}$$

**Cálculo del diámetro de electrobomba sumergible (dt)**

Este se obtiene de seleccionar la curva de diseño de la bomba y esto a su vez se hace en función del gasto de diseño del pozo en (litros/segundo) vs. Altura (Estática).

Caudal de Bombeo	$Q_b =$	15.00	Lt/seg
En el grafico se observa que, para el caudal requerido el diámetro de la electrobomba mínimamente es de:	$D_{EB} =$	5.18	pulg 131.50 mm
Espacio para ampliación futura (Factor de Seguridad)	$f =$	6.82	pulg 173.30 mm
Espacio que se deja para que la electrobomba sumergible trabaje holgadamente	$6.00$	pulg	152.40 mm
Reemplazando en la ecuación diámetro de ademe	$da =$	18.00	pulg 457.20 mm

**Cálculo del diámetro Contra-ademe (diámetro perforación)  $db = da + 3''$  pulg**

Espacio anular que se deja para el pre filtro de grava (1.5" por lado min.)	$3.00$	pulg	76.20 mm
Reemplazando en la ecuación diámetro contra-ademe	$db =$	21.00	pulg 533.40 mm

Caudal de bombeo	$Q_b =$	15.00	Lt/s	0.0150 m <sup>3</sup> /s
Espesor del Acuífero	$h =$	12.88	m	
Velocidad	$V =$	0.56180	m/s	56.18 cm/s
V: Velocidad máxima permeable a la entrada del cedazo para evitar turbulencia del agua en el acuífero				
Área requerida	$A = Q/V$	$A =$	0.027	m <sup>2</sup>

**Obtención del área de infiltración (fi)**  $fi = A/h$

$fi =$	0.002	m <sup>2</sup> /ml	
Área de infiltración total (mínima requerida)	$fi =$	20.73	cm <sup>2</sup> /ml

Con este valor revisamos los catálogos técnicos de filtros louver, tipo Ful Flo, de Acero Inoxidable

#### Rejilla Louver tipo Ful Flo

Área abierta - Acero Inoxidable / Acero HSLA / Acero al Cobre

Diámetro (pulg.)	Ranuras x Círculo	Ranuras x Pie	Ranuras x Metro	Abertura en Pulgadas					Abertura en Milímetros					
				0.060	0.075	0.090	0.105	0.120	0.5	1.0	1.5	2.0	3.0	4.0
6.625	6	72	236	7.0	8.8	10.5	12.3	14.0	48.7	97.4	146.1	194.8	292.2	389.6
8.625	8	96	315	9.4	11.7	14.0	16.4	18.7	65.0	130.0	195.0	260.0	390.0	520.1
10.75	8	96	315	15.1	18.9	22.7	26.5	30.2	105.0	210.0	315.0	420.1	630.1	840.1
12.75	10	120	394	18.9	23.6	28.4	33.1	37.8	131.3	262.7	394.0	525.4	788.1	1050.8
14.5	10	120	394	18.9	23.6	28.4	33.1	37.8	131.3	262.7	394.0	525.4	788.1	1050.8
16.625	12	144	472	22.7	28.4	34.0	39.7	45.4	157.4	314.7	472.1	629.4	944.1	1258.8
18.625	14	168	551	26.5	33.1	39.7	46.3	52.9	183.7	367.4	551.1	734.8	1102.1	1469.5
20.625	16	192	630	30.2	37.8	45.4	52.9	60.5	210.0	420.1	630.1	840.1	1260.2	1680.2
22.5	16	192	630	30.2	37.8	45.4	52.9	60.5	210.0	420.1	630.1	840.1	1260.2	1680.2
24.5	16	192	630	30.2	37.8	45.4	52.9	60.5	210.0	420.1	630.1	840.1	1260.2	1680.2

Área Abierta: Pulgadas cuadradas por pie lineal

Área Abierta: Centímetros cuadrados por metro lineal

**Revestimiento de Acero Inoxidable**  
Dimensiones, Pesos y Resistencia

DIÁMETRO NOMINAL (pulg.)	ESPESOR		DIÁMETRO EXTERNO		DIÁMETRO INTERNO		PESO		RESISTENCIA AL COLAPSO				RESISTENCIA A LA TRACCIÓN	
	pulg.	mm	pulg.	mm	pulg.	mm	lb/ pie	kg/m	psi	pies agua	kg/cm <sup>2</sup>	metros agua	tons	ton.M
6	3/16	4.76	6-5/8	168	6-1/4	159	13.19	19.67	646	1490	45.4	454	14.21	129.2
6	1/4	6.35	6-5/8	168	6-1/8	156	17.42	25.97	1136	2622	79.9	799	18.77	170.6
8	3/16	4.76	8-5/8	219	8-1/4	210	17.29	25.78	361	833	25.4	254	18.63	169.3
8	1/4	6.35	8-5/8	219	8-1/8	206	22.88	34.12	679	1566	47.7	477	24.65	224.1
10	3/16	4.76	10-3/4	273	10-3/8	263	21.65	32.27	213	492	15.0	150	23.21	212.0
10	1/4	6.35	10-3/4	273	10-1/4	260	28.69	42.78	421	972	29.6	296	30.91	281.0
10	5/16	7.94	10-3/4	273	10-1/8	257	35.65	53.15	683	1576	48.0	480	38.41	349.1
12	3/16	4.76	12-3/4	324	12-3/8	314	25.75	38.38	139	32.0	9.7	97	27.74	252.1
12	1/4	6.35	12-3/4	324	12-1/4	311	34.16	50.92	283	654	19.9	199	36.80	334.5
12	5/16	7.94	12-3/4	324	12-1/8	308	42.48	63.34	404	1093	33.3	333	45.77	416.0
12	3/8	9.53	12-3/4	324	12	305	50.72	75.62	699	1604	49.2	492	54.64	496.7
14	3/16	4.76	14-1/2	368	14-1/8	359	29.33	43.73	99	229	7.0	70	316.0	287.2
14	1/4	6.35	14-1/2	368	14	356	38.94	58.05	207	478	14.6	146	41.95	381.3
14	5/16	7.94	14-1/2	368	13-7/8	352	48.46	72.25	354	817	24.9	249	52.21	474.5
14	3/8	9.53	14-1/2	368	13-3/4	349	57.89	86.32	538	1230	37.5	375	62.37	566.9
16	3/16	4.76	16-5/8	422	16-1/4	415	33.69	50.22	69	159	4.9	49	362.9	329.9
16	1/4	6.35	16-5/8	422	16-1/8	410	44.74	66.71	147	339	10.3	103	482.0	438.2
16	5/16	7.94	16-5/8	422	16	406	55.72	83.07	256	590	18.0	180	600.2	545.6
16	3/8	9.53	16-5/8	422	15-7/8	403	66.60	99.30	393	907	27.6	276	717.5	652.2
18	3/16	4.76	18-5/8	473	18-1/4	464	37.79	56.33	51	117	3.6	36	407.1	370.0
18	1/4	6.35	18-5/8	473	18-1/8	460	50.21	74.86	109	253	7.7	77	540.9	491.7
18	5/16	7.94	18-5/8	473	18	457	62.55	93.25	193	447	13.6	136	673.8	612.5
18	3/8	9.53	18-5/8	473	17-7/8	454	74.80	111.52	302	696	21.2	212	805.9	732.5
20	3/16	4.76	20-5/8	524	20-1/4	514	41.88	62.45	38	89	2.7	27	451.2	410.2
20	1/4	6.35	20-5/8	524	20-1/8	511	55.67	83.01	84	193	5.9	59	599.8	545.2
20	5/16	7.94	20-5/8	524	20	508	69.38	103.44	150	345	10.5	105	747.4	679.4
20	3/8	9.53	20-5/8	524	19-7/8	505	83.00	123.75	236	544	16.6	166	894.2	812.8
22	3/16	4.76	22-1/2	572	22-1/8	562	45.73	68.17	30	70	2.1	21	492.6	447.8
22	1/4	6.35	22-1/2	572	22	559	60.80	90.64	66	153	4.7	47	655.0	595.4
22	5/16	7.94	22-1/2	572	21-7/8	556	75.78	112.99	120	276	8.4	84	816.4	742.1
22	3/8	9.53	22-1/2	572	21-3/4	552	90.68	135.20	190	439	13.4	134	977.0	888.1
24	3/16	4.76	24-1/2	622	24-1/8	615	49.83	74.29	24	55	1.7	17	536.8	487.9
24	1/4	6.35	24-1/2	622	24	610	66.26	98.79	53	122	3.7	37	715.9	648.9
24	5/16	7.94	24-1/2	622	23-7/8	606	82.62	123.17	96	221	6.7	67	890.0	809.0
24	3/8	9.53	24-1/2	622	23-3/4	603	98.88	147.42	153	354	10.8	108	1065.3	968.3

\*Fuente: "Timoshenko's Elastic Formula with Eccentricity"

Efectuada nuestra granulometría del acuífero, se obtuvo una abertura mínima de:

Dimensión de la abertura del filtro (Rejilla)

• Proporción de retención: **90%**

mm.	%
1.75	87.74
1.04	92.19

• Interpolando

**Abertura del filtro**  
**D90 = 1.3902** mm.

Entonces se tiene un diámetro de **18"** ; Así mismo, considerando una abertura comercial inmediata superior, entonces el Área abierta en la canastilla de infiltración es:  $f_i =$  **551.1** cm<sup>2</sup>/ml

Verif.  $f_{canastilla} = 551.1 > f_{requerida} = 20.73$

¡Cumple! ✓

Se obtienen los siguientes datos del filtro:

Diámetro del filtro	=	18	pulg
Espesor	=	1/4	pulg
Peso por metro lineal	=	74.86	kg/m
Nº de Ranuras por metro lineal	=	551.00	Ranuras/metro
Área de infiltración	=	551.1	cm <sup>2</sup> /ml



\*Fuente: Catálogo Fabricantes, Roscoe Moss Company®. "Timoshenko's Elastic Formula with Eccentricity"

Verif.  $\emptyset_{Perforación} = 21.00 \geq \emptyset_{Ademe} = 18.00$

¡Cumple! ✓ 86%

Fuente: Elaboración propia.

### Figura 339.

Cálculo del diámetro de la línea de impulsión en IRHS – 008.

#### 3. Cálculo del diámetro de la línea de impulsión

La selección del diámetro de la línea de impulsión se hará en base a las fórmulas de Bresse:

Diámetro teórico máximo (Dmax.)

$$D_{max} = 1.3 * \left(\frac{N}{24}\right)^{\frac{1}{4}} * (\sqrt{Q_b})$$

$$D_{max} = 159.00 \text{ mm} \quad 6.2598 \text{ in}$$

Diámetro teórico económico (Decon.)

$$D_{econ} = 0.96 * \left(\frac{N}{24}\right)^{\frac{1}{4}} * (Q_b)^{0.45}$$

$$D_{econ} = 145.00 \text{ mm} \quad 5.7087 \text{ in}$$

Diámetro interior comercial asumido

$$D = 154.08 \text{ mm} \quad 6.0661 \text{ in}$$

Tubos ASTM A312 / TP316 / 316L - SCH-40

6 in

#### 4. Selección del equipo de bombeo

Pérdida de carga por fricción en la tubería (hf): Fórmula de Hazen y Williams

$$h_f = 10.674 * \frac{Q^{1.852}}{C^{1.852} * D^{4.871}} * L$$

Tramo	Caudal Bombeo (Lt/s)	Longitud (m) L	C (Hazen-W)	Diámetro (mm) D	hf (m)
1	15.00	15.00	130.00	154.08	0.07
2	15.00	4.50	120.00	154.08	0.03
3	15.00	77.80	130.00	154.08	0.38
<b>Total</b>					<b>0.48</b>

Tramo Valor (L/D)

1	97.35202	¡Cumple!
2	29.20561	¡Cumple!
3	504.9325	¡Cumple!

Pérdida de carga por accesorios (hk)

Si  $\frac{L}{D} < 4000$

Aplicamos la siguiente ecuación para el cálculo de la pérdida de carga por accesorios

$$h_k = 25x \frac{V^2}{2g}$$

Reemplazando en la ecuación tenemos:

Tramo	Caudal Bombeo (Lt/s)	Diámetro (mm)	Velocidad (V) (m/s)	h <sub>k</sub> (m)
1	15.00	154.08	0.80	0.82
<b>Total</b>				<b>0.82</b>

$$v = \frac{Q}{A}$$

$$A = \frac{\pi}{4} D^2$$

Pérdida de carga total : hf + hk(total)

Tramo	h <sub>f</sub> (m)	h <sub>k</sub> (m)	h <sub>f</sub> + h <sub>k</sub> (m)
1	0.48	0.25	0.73
<b>Total</b>			<b>0.73</b>

Altura dinámica total

$$H_{dt} = H_g + H_f \text{ total} + P_s$$

$$H_{dt} = 42.73 \text{ m}$$

Potencia teórica de la bomba

$$14.00 \text{ HP}$$

Potencia a instalar

$$P_{ot.Bomba} = \frac{PE * Q_b H_{dt}}{75 * n}$$

$$15.00 \text{ HP}$$

$$11.19 \text{ KW}$$

TIPO: BOMBA TURBINA VERTICAL

Datos:

Peso específico del agua (Kg/m<sup>3</sup>)

$$PE = 1000 \text{ kg/m}^3$$

Rendimiento del conjunto bomba-motor

$$n = 61\%$$

$$n = n1 * n2$$

$$n = 61\%$$

Eficiencia del motor = 70% < n1 < 85%

$$n1 = 71\%$$

Eficiencia de la Bomba = 85% < n2 < 90%

$$n2 = 86\%$$

**Figura 340.**

*Cálculo del golpe de ariete en IRHS – 008.*

 <b>UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO</b> <b>CÁLCULO DEL GOLPE DE ARIETE, LINEA DE IMPULSIÓN</b>			
PROYECTO:	"Análisis Hidrogeológico y Diseño Hidráulico Comparativo por Colapso y Compresión, en Pozos Profundos, para fines agrícolas en Moquegua, 2023"	REF.:	B53-7003130196
UBICACIÓN:	POZO IRHS – 008 INIA N° 01, Este UTM: 290784, Norte UTM: 8096850	FECHA:	22/05/2024
DISEÑO:	Bach. Boris Leonardo Aranda Huacan	CÁLCULO:	Obras Hidráulicas

**1. Parámetros de diseño**

Caudal máximo diario		$Q_{md} =$	15.00	lt/s
Numero de horas de bombeo (N)		$N =$	24.00	horas
Caudal de bombeo	$Q_b = Q_{md} * 24 / N$	$Q_b =$	15.00	lt/s
Cota nivel de bombeo (nivel de parada)		$C_{ON.B.} =$	1261.00	msnm
Cota de llegada al punto de descarga		$C_{ON.LL.} =$	1286.00	msnm
Altura estática		$He =$	40.00	m
Altura dinámica de bombeo		$ADT =$	42.73	m
Longitud de la tubería Descarga (Impulsión + Línea)		$L_{TUB} =$	92.80	m
Coef. Material De Hazen Williams		$C =$	130	
Velocidad máxima del flujo	$V = Q/A$	$V =$	0.80	m/s
Constante de gravedad		$g =$	9.81	m/s <sup>2</sup>
Material propuesto de la tubería			ACERO	
Diámetro de tubería exterior		$d_{ext} =$	168.30	mm
Diámetro de tubería interior		$d_{int} =$	154.08	mm
Espesor de la Tubería		$e =$	7.11	mm

**2. Cálculo del golpe de ariete**

*Carga por sobre presión de Golpe de Ariete ( $h_{golpe}$ )*

$$h_{golpe} = \frac{a \times V}{g}$$

Con:  $V =$  Velocidad del líquido en m/s  
 $a =$  Velocidad de aceleración de la Onda en m/s  
 $g =$  Aceleración de la Gravedad en m/s<sup>2</sup>

*Velocidad de aceleración de la onda (a) calculado por:*

$$a = \sqrt{\frac{K_v}{\rho \cdot \left(1 + \frac{K_v \cdot d}{E \cdot e}\right)}}$$

Densidad del agua a 20.6 °C (IRHS - 008)  $\rho =$  997.59 kg/m<sup>3</sup>  
 Modulo de Bulk del agua a 20.6 °C (IRHS - 008)  $K_v =$  2.33E+09 Pa  
 Diametro interior de la tubería  $d =$  154.08 mm  
 Modulo de Elasticidad del conducto  $E =$  1.70E+09 Pa  
 Espesor del tubo  $e =$  7.11 mm

*Tiempo de parada de la bomba (T)*

Formula de Mendiluce

$$Tc = C + \frac{K \cdot L \cdot V}{g \cdot Hm}$$

Longitud del Tramo  $L =$  92.80 m  
 Velocidad del flujo  $V =$  0.80 m/s  
 Aceleración de la gravedad  $g =$  9.81 m/s<sup>2</sup>  
 Altura Dinámica Total  $Hm =$  42.73 m  
 Coeficientes de ajuste empírico C y K  
 Valores de C, según Mendiluce  $Hm/L =$  0.460  $C =$  0

Si	Condición	C
	$Hm/L < 0.2$	1.0
	$Hm/L \geq 0.4$	0.0
	$Hm/L \approx 0.3$	0.6

valores de K, según Mendiluce

Si	Condición	K
	$L < 500$	2.00
	$L \approx 500$	1.75
	$500 < L < 1500$	1.50
	$L \approx 1500$	1.25
	$L > 1500$	1.00

$L = 92.80$  m

$K = 2$

#### Tiempo de propagación de la Onda ( $T_p$ )

El tiempo de propagación desde la válvula hasta la embocadura de la tubería:

$$T_p = \frac{2 * L}{a}$$

$T_p = 0.67$  m/s

Longitud de la tubería

$L = 92.80$  m

Velocidad de la Onda

$a = 275.82$  m/s

#### Determinación de la posibilidad del golpe de Ariete en la Impulsión

Siendo  $T =$  Tiempo de cierre de la válvula(s), cuando prevea un:

$T \leq T_p$  Equivaldrá a un cierre instantáneo, ya que el tiempo de recorrido de ida y vuelta de la onda de presión es superior al de cierre. Es decir tenemos un cierre rápido, alcanzándose la sobrepresión máxima en algún punto de la tubería. Se producirá Golpe de Ariete.

$T > T_p$  No se producirá Golpe de Ariete dado que la onda de presión regresará a la válvula sin que esta se encuentre totalmente cerrada. Estamos en un cierre lento y ningún punto alcanzara la sobrepresión máxima.

Tipo de cierre      Rápido       **X**  
 Lento     

#### Si habra Golpe de Ariete

Para evitar la producción del golpe de ariete, se empleará válvulas de cierre lento para ir cerrando con lentitud el caudal de retorno y evitando estropear las tuberías y accesorios instalados.

#### Calculo de la longitud crítica ( $L_c$ )

Formula de Michaud

$$L_c = \frac{a * T}{2}$$

$L_c = 49.65$  m

Velocidad de la Onda

$a = 275.82$  m/s

Tiempo de parada

$T = 0.36$  s

#### Calculo de la sobrepresión por golpe de ariete

Para el calculo de la sobrepresión, se aplicara las formulas de Michaud o de Allieve, según se cumpla las siguientes condiciones:

$L > L_c$	Impulsión Larga	$T \leq T_p$	Cierre rapido	Allieve	$h_{golpe} = \frac{a * V}{g}$
$L < L_c$	Impulsión Corta	$T > T_p$	Cierre lento	Michaud	$h_{golpe} = \frac{2 * L * V}{g * T}$

Finalmente la sobre carga por golpe de ariete  $h_{golpe}$  resulta en:  $h_{golpe} = 22.62$  m.c.a.

### 3. Presión Total

La presión total  $P_{Max} = h_{golpe} + ADT$

$P_{Max} = 65.35$  m.c.a.

$h_{golpe} = 22.62$  m.c.a.

$ADT = 42.73$  m.c.a.

$P_{Max} = 92.82366$  Psi =  $6.399968$  bar

### 4. Selección de la clase

Material	Diametro Interior (mm)	Presion de Funcionamiento Admisible (PFA)	Tipo/Clase
La Tubería seleccionada :	ACERO	1780 psi	1253.12 m.c.a.
			ASTM A312 / TP316 / 316L - SCH-40

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 341.**

Granulometría del acuífero en IRHS – 009.

1. Granulometría del Acuífero

		GRANULOMETRIA DEL ACUIFERO							MUESTRA TOTAL	
		Tamaño Tamiz N°	Abert. (mm)	Peso Ret. (g)	Peso Ret. Acumul.(g)	Pasa Acumul.(g)	% Retenido Acumul.	% Q'Pasa Acumul.	5500.00 g.	
PIEDRA / CANTOS		3"	76.200	0.00	0.00	5500.00	0.00%	100.00%		
GRAVA	GRUESA	2"	50.800	112.75	112.75	5387.25	2.05%	97.95%	Pasante	Retenido
		1 1/2"	38.100	147.95	260.70	5239.30	4.74%	95.26%	D10 = 0.2074	D90 = 0.2074
		1"	25.400	282.15	542.85	4957.15	9.87%	90.13%	0.201	0.201
	FINA	3/4"	19.050	444.95	987.80	4512.20	17.96%	82.04%		
		1/2"	12.700	532.95	1520.75	3979.25	27.65%	72.35%	D30 = 0.5811	D70 = 0.5811
		3/8"	9.525	451.00	1971.75	3528.25	35.85%	64.15%	0.579	0.579
	#04	4.760	606.10	2577.85	2922.15	46.87%	53.13%			
ARENA	GRUESA	#10	2.000	568.70	3146.55	2353.45	57.21%	42.79%	D60 = 7.7306	D40 = 7.7306
		#20	0.841	662.75	3809.30	1690.70	69.26%	30.74%	7.335	7.335
	MEDIA	#30	0.595	0.00	3809.30	1690.70	69.26%	30.74%	Coeficiente de Uniformidad	
		#40	0.420	510.95	4320.25	1179.75	78.55%	21.45%	Cu = 37.28	Cu = 37.28
	FINA	#60	0.250	535.70	4855.95	644.05	88.29%	11.71%	Coeficiente de Curvatura	
		#100	0.149	222.75	5078.70	421.30	92.34%	7.66%		
	#200	0.074	209.55	5288.25	211.75	96.15%	3.85%	Cc = 0.21	Cc = 0.21	
ARCILLAS / LIMOS		FONDO	0.053	179.30	5467.55	32.45	99.41%	0.59%		
				5,467.55		32.45				

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 342.**

Granulometría por anidación del acuífero en IRHS – 009.

2. Ajustes a los porcentajes de la granulometría (Anidacion)

2.1. Porcentaje de vacíos, según tipo de material (Terzaghi, 1948)

Material	% de vacíos		
	% min	% max.	% prom.
Arcilla	40	70	55
Limo	40	50	45
Arena	25	50	37.5
Grava	24	40	32

$e = V_v / V_s$   
 $V_v =$  Volumen de vacíos (agua o aire)  
 $V_s =$  Volumen de sólidos

Diametro del Pozo Perforado (m) **0.5334** 21.00 in  
 Area (m2) 0.2235

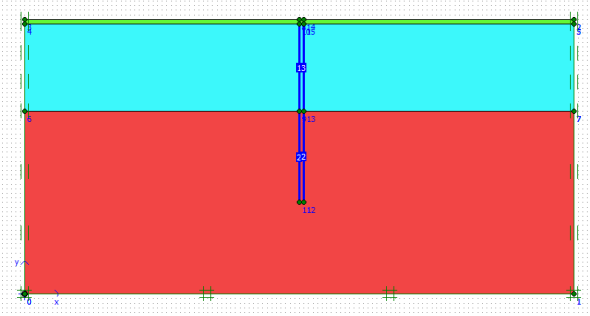
2.2. Volumen del Material

Tipo de Material	Arena F., Lim., Gra	Arcilla, Ar, Lim	Arena Gru. c/Arcilla	Grava, Arena fina c/Limo	Arena Gruesa c/Limos, Grava	Arena Gruesa, Arena Fina, Grava	...
Espesor (m)	1	18	1	2	2	16	
Area (m2)	0.2235	0.2235	0.2235	0.2235	0.2235	0.2235	0.2235
Vol (m3)	0.223	4.022	0.223	0.447	0.447	3.575	0.000

2.3. Volumen de vacíos

Tipo de Material	Arena F., Lim., Gra	Arcilla, Ar, Lim	Arena Gru. c/Arcilla	Grava, Arena fina c/Limo	Arena Gruesa c/Limos, Grava	Arena Gruesa, Arena Fina, Grava	...
Arcilla		2.212	0.123				
Limo	0.101	1.810		0.201	0.201		
Arena	0.084	1.508	0.084	0.168	0.168	1.341	
Grava	0.072			0.143	0.143	1.144	

Tipo de Material	Vol. Parcial (m3)	(%)	M. Granular	(%)
Arcilla	2.335	24.58%	M. Granular	51.08%
Limo	2.313	24.34%		
Arena	3.352	35.28%	M. Fino	48.92%
Grava	1.502	15.80%		
<b>Total</b>	<b>9.501</b>			



2. Granulometría Anidada ó corregida (GRA)

		GRANULOMETRIA CORREGIDA					
		Tamaño Tamiz Nº	Abert. (mm)	% Retenido Acumul.	% Q'Pasa Acumul.		
PIEDRA / CANTOS		3"	76.200	0.00%	100.00%		
GRAVA	GRUESA	2"	50.800	2.05%	97.95%	<b>Pasante</b>	<b>Retenido</b>
		1 1/2"	38.100	4.74%	95.26%	<b>D10 = 0.2937</b>	<b>D90 = 0.2937</b>
		1"	25.400	9.87%	90.13%	0.2856	0.2856
		3/4"	19.050	17.96%	82.04%		
	FINA	1/2"	12.700	27.65%	72.35%	<b>D30 = 1.1749</b>	<b>D70 = 1.1749</b>
		3/8"	9.525	35.85%	64.15%	1.0794	1.0794
	#04	4.760	51.08%	48.92%			
ARENA	GRUESA	#10	2.000	61.42%	38.58%	<b>D60 = 8.2267</b>	<b>D40 = 8.2267</b>
		#20	0.841	73.47%	26.53%	7.8847	7.8847
	MEDIA	#30	0.595	73.47%	26.53%	Coeficiente de Uniformidad	
		#40	0.420	82.76%	17.24%	<b>Cu = 28.01</b>	<b>Cu = 28.01</b>
	FINA	#60	0.250	92.50%	7.50%	Coeficiente de Curvatura	
		#100	0.149	96.55%	3.45%	<b>Cc = 0.57</b>	<b>Cc = 0.57</b>
	#200	0.074	100.00%	0.00%			
ARCILLAS / LIMOS		FONDO	0.053	100.00%	0.00%		

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 343.**

Granulometría del pre filtro (paquete de grava) y abertura del filtro (rejilla) en IRHS – 009.

Factor antes de corregir **5** (4 a 6) Arenas sin consolidar (4 arena fina, 6 arena gruesa o grava)  
 Factor despues de corregir **6** (6 a 8) Acuífero parcialmente consolidado y no consolidado que contiene arcillas y limos.

3. Granulometría del pre filtro o paquete de grava (Decil retenida).

	Abert. (mm)	% Retenido Acumul.
D95 =	2.91	95.00
D90 =	4.73	90.00
D80 =	5.89	80.00
D70 =	7.05	70.00
D60 =	8.21	60.00
D50 =	9.37	50.00
D40 =	10.52	40.00
D30 =	11.68	30.00
D20 =	12.84	20.00
D10 =	14.00	10.00
D00 =	15.15	0.00

• Coeficiente de Uniformidad  
 Según Retenido:  
**Cu = 2.22** < 2.5 OK!!!

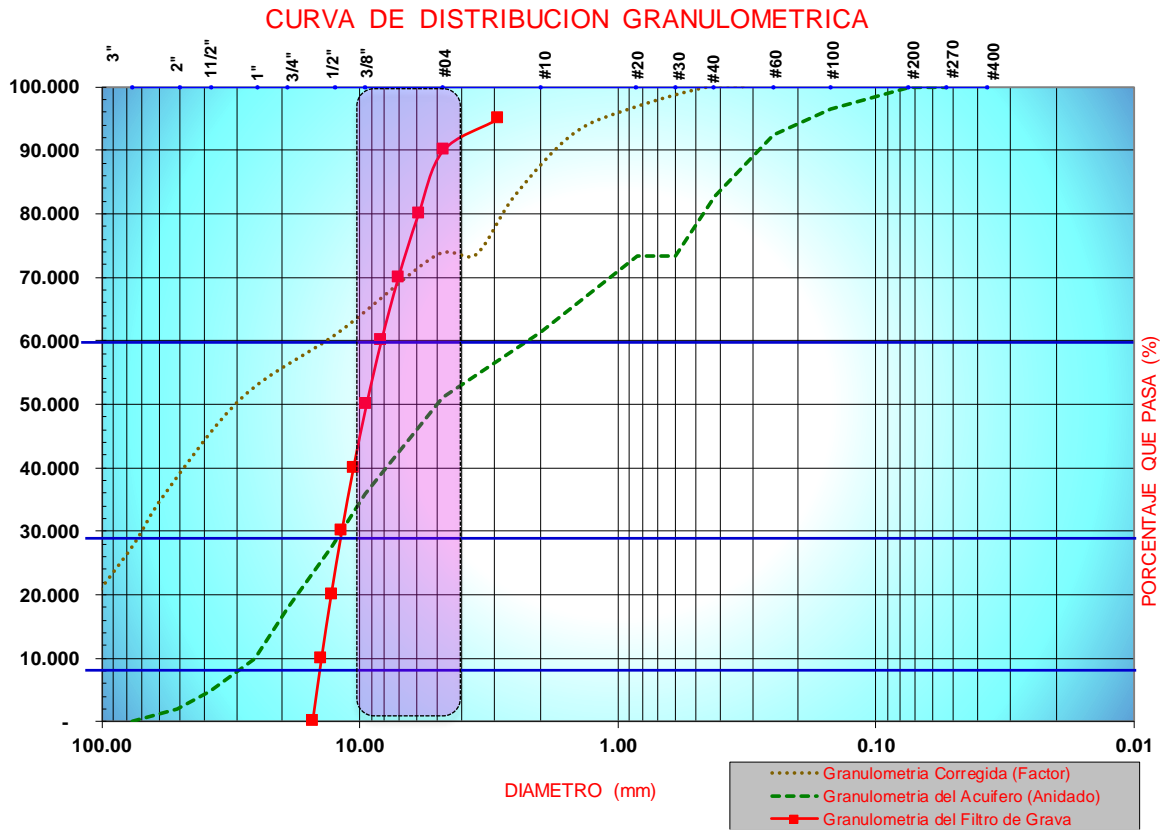
$$C_u = \frac{D_{40}}{D_{90}}$$

• Rango del filtro de grava  
 Entre:  
**4 mm y 10 mm**

• Configuración de la partícula  
**Redondeado**

• Calidad  
**Libre de impurezas**





4. Dimensión de la abertura del filtro (Rejilla)

• Proporción de retención:

90%  
mm. %

2.52	82.76
1.50	92.50

• Interpolando

Abertura del filtro	
D90 =	1.7620 mm.

0.0694 in  
1/16 in

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 344.**

Diseño final del sistema de bombeo en IRHS – 009.

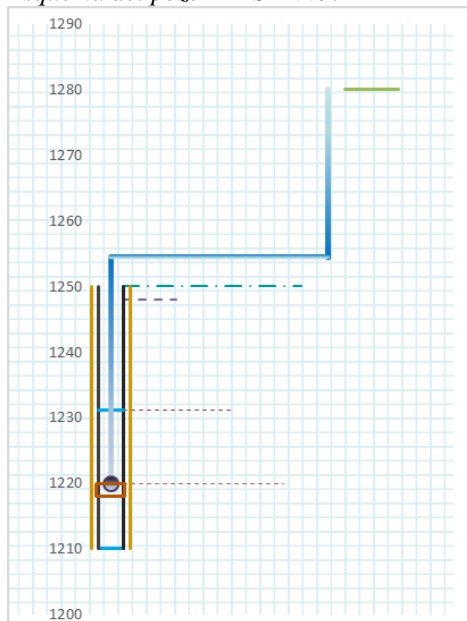
 UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO <b>CÁLCULO DEL POZO, DIAMETRO DE LA LÍNEA DE IMPULSIÓN Y POTENCIA DE BOMBA</b>			
PROYECTO:	"Análisis Hidrogeológico y Diseño Hidráulico Comparativo por Colapso y Compresión, en Pozos Profundos, para fines agrícolas en Moquegua,	REF.:	B53-7003130196
UBICACIÓN:	POZO IRHS – 009 INIA N° 02, Este UTM: 290596, Norte UTM: 8096401	FECHA:	22/05/2024
DISEÑO:	Bach. Boris Leonardo Aranda Huacan	CÁLCULO:	Obras Hidráulicas

**1. Datos**

Caudal Máximo Diario		$Q_{md} =$	<b>35.00</b>	Lt/s
Numero de horas de bombeo		$N =$	<b>24.00</b>	horas
Caudal de bombeo	$Q_b = Q_{md} * (24/N)$	$Q_b =$	35.00	Lt/seg
Cota Terreno		$CT =$	<b>1250.00</b>	m.s.n.m.
Cota nivel de bombeo (Succión)	$Co_{N,suc} = CT - H$	$Co_{N,suc} =$	1220.00	m.s.n.m.
Cota de llegada al punto		$Co_{N,LL} =$	<b>1280.00</b>	m.s.n.m.
Cota de nivel estático		$Co_{N,e} =$	1247.93	m.s.n.m.
Cota de nivel dinámico		$Co_{N,d} =$	1231.18	m.s.n.m.
Altura (nivel estático)		$H_{N,e} =$	<b>2.07</b>	m
Altura (Nivel dinámica)		$H_{N,d} =$	<b>18.82</b>	m
Espesor del Acuífero		$h =$	<b>21.18</b>	m
Altura (Nivel succión)	$\geq 18.82$	$H_s =$	<b>30.00</b>	m
Altura (Estática)		$H =$	60.00	m
Coefficiente de Hazen-Willians (Acero)		$C =$	<b>130.00</b>	
Coefficiente de Hazen-Willians (HDPE)		$C =$	<b>150.00</b>	
Longitud de la tubería línea de impulsión (Acero)		$L_{AC} =$	<b>30.00</b>	m
Longitud de la tubería en línea de descarga (HDPE)		$L_{HDPE} =$	<b>220.00</b>	m
Longitud de tubería en la caseta (Árbol de Descarga) Acero		$L_{AC} =$	<b>4.90</b>	m
Presión a la salida (Ps)		$Ps =$	<b>2.00</b>	m

**Figura 345.**

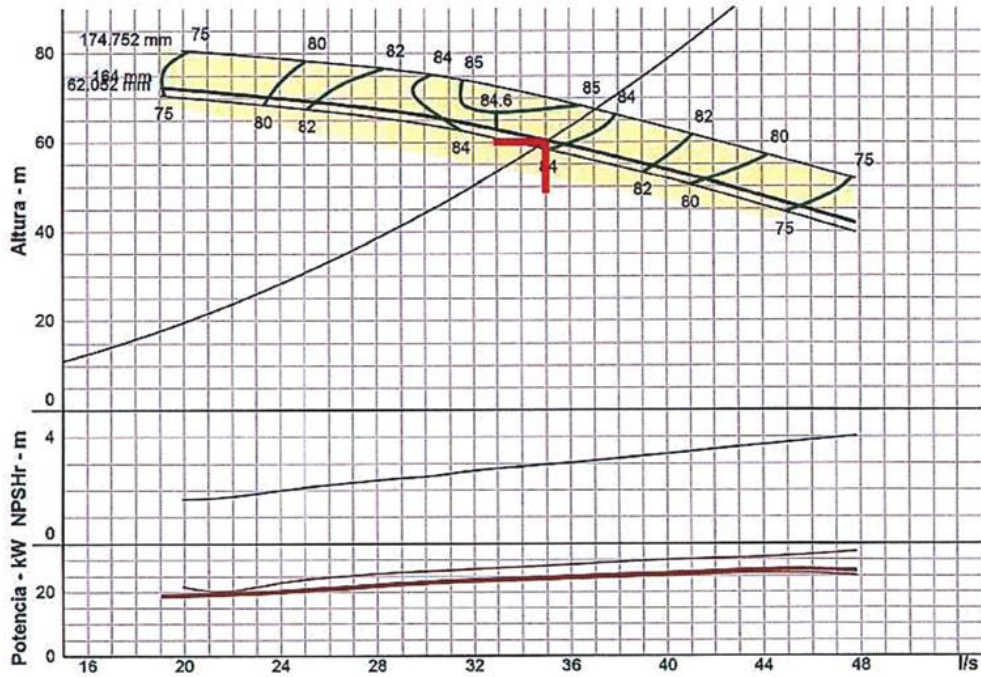
Esquema del pozo IRHS – 009.



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 346.**

Curva de rendimiento en electrobomba para IRHS – 009.



Fuente: Warson Smart pumps ®

**Figura 347.**

Características de la tubería para la línea de impulsión.

Diámetro Nominal	Dimen. Exterior	STD				SCH-40			XS			SCH-80			SCH-160		
		Espesor Nominal	Peso		Espesor Nominal	Peso		Espesor Nominal	Peso		Espesor Nominal	Peso		Espesor Nominal	Peso		
Pulg.	mm	mm	kg/m	kg	mm	kg/m	kg	mm	kg/m	kg	mm	kg/m	kg	mm	kg/m	kg	
1/4	13.7	2.24	0.63	3.78	2.24	0.63	3.78	3.02	0.80	4.8	3.02	0.80	4.8	-	-	-	
3/8	17.1	2.31	0.84	5.04	2.31	0.84	5.04	3.20	1.10	6.6	3.20	1.10	6.6	-	-	-	
1/2	21.3	2.77	1.27	7.62	2.77	1.27	7.62	3.73	1.62	9.72	3.73	1.62	9.72	4.78	1.95	11.7	
3/4	26.7	2.87	1.69	10.14	2.87	1.69	10.14	3.91	2.20	13.2	3.91	2.20	13.2	5.56	2.90	17.4	
1	33.4	3.38	2.50	15	3.38	2.50	15	4.55	3.24	19.44	4.55	3.24	19.44	6.35	4.24	25.44	
1 1/4	42.2	3.56	3.39	20.34	3.56	3.39	20.34	4.85	4.47	26.82	4.85	4.47	26.82	6.35	5.61	33.66	
1 1/2	48.3	3.68	4.05	24.3	3.68	4.05	24.3	5.08	5.41	32.46	5.08	5.41	32.46	7.14	7.25	43.5	
2	60.3	3.91	5.44	32.64	3.91	5.44	32.64	5.54	7.48	44.88	5.54	7.48	44.88	8.74	11.11	66.66	
2 1/2	73.0	5.16	8.63	51.78	5.16	8.63	51.78	7.01	11.41	68.46	7.01	11.41	68.46	9.53	14.92	89.52	
3	88.9	5.49	11.29	67.74	5.49	11.29	67.74	7.62	15.27	91.62	7.62	15.27	91.62	11.13	21.35	128.1	
4	114.3	6.02	16.07	96.42	6.02	16.07	96.42	8.56	22.32	133.92	8.56	22.32	133.92	13.49	33.54	201.24	
5	141.3	6.55	21.77	130.62	6.55	21.77	130.62	9.53	30.97	185.82	9.53	30.97	185.82	15.88	49.12	294.72	
6	168.3	7.11	28.26	169.56	7.11	28.26	169.56	10.97	42.56	255.36	10.97	42.56	255.36	18.26	67.57	405.42	
8	219.1	8.18	42.55	255.3	8.18	42.55	255.3	12.70	64.64	387.84	12.70	64.64	387.84	23.01	111.27	667.62	
10	273.0	9.27	60.29	361.74	9.27	60.29	361.74	12.70	81.55	489.3	15.09	95.98	575.88	28.58	172.27	1033.62	
12	323.8	9.53	73.88	443.28	10.31	79.71	478.26	12.70	97.46	584.76	17.48	132.05	792.3	33.32	238.69	1432.14	
14	355.6	9.53	81.33	487.98	11.13	94.55	567.3	12.70	107.39	644.34	19.05	158.11	948.66	35.71	281.72	1690.32	
16	406.4	9.53	93.27	559.62	12.70	123.31	739.86	12.70	123.30	739.8	21.44	203.54	1221.24	40.49	365.38	2192.28	
18	457	9.53	105.16	630.96	14.27	155.81	934.86	12.70	139.15	834.9	23.83	254.57	1527.42	45.24	459.39	2756.34	
20	508	9.53	117.15	702.9	15.09	183.43	1100.58	12.70	155.12	930.72	26.19	311.19	1867.14	50.01	564.85	3389.1	
22	559	9.53	129.13	774.78	-	-	-	12.70	171.09	1026.54	28.58	373.85	2243.1	53.98	672.30	4033.8	
24	610	9.53	141.12	846.72	17.48	255.43	1532.58	12.70	187.06	1122.36	30.96	442.11	2652.66	59.54	808.27	4849.62	

Fuente: Aceros Arequipa.

## Figura 348.

Cálculo del pozo IRHS – 009.

### 2. Cálculo del pozo

**Cálculo del diámetro del Ademe:**

$$da = D_{EB} + f + 6'' \text{ pulg}$$

**Cálculo del diámetro de electrobomba sumergible (dt)**

Este se obtiene de seleccionar la curva de diseño de la bomba y esto a su vez se hace en función del gasto de diseño del pozo en (litros/segundo) vs. Altura (Estática).

Caudal de Bombeo	$Q_b =$	<input type="text" value="35.00"/>	Lt/seg	
En el grafico se observa que, para el caudal requerido el diámetro de la electrobomba mínimamente es de:	$D_{EB} =$	<input type="text" value="6.457"/>	pulg	164.00 mm
Espacio para ampliación futura (Factor de Seguridad)	$f =$	<input type="text" value="5.54"/>	pulg	140.80 mm
Espacio que se deja para que la electrobomba sumergible trabaje holgadamente		<input type="text" value="6.00"/>	pulg	152.40 mm
Reemplazando en la ecuación diámetro de ademe	$da =$	<input type="text" value="18.00"/>	pulg	457.20 mm

**Cálculo del diámetro Contra-ademe (diámetro perforación)  $db = da + 3''$**

Espacio anular que se deja para el pre filtro de grava (1.5" por lado min.)		<input type="text" value="3.00"/>	pulg	76.20 mm
Reemplazando en la ecuación diámetro contra-ademe	$db =$	<input type="text" value="21.00"/>	pulg	533.40 mm

Caudal de bombeo	$Q_b =$	<input type="text" value="35.00"/>	Lt/s	0.0350 m <sup>3</sup> /s
Espesor del Acuífero	$h =$	<input type="text" value="21.18"/>	m	
Velocidad	$V =$	<input type="text" value="0.34884"/>	m/s	34.88 cm/s
V: Velocidad máxima permeable a la entrada del cedazo para evitar turbulencia del agua en el acuífero				
Área requerida	$A = Q/V$	<input type="text" value="0.100"/>	m <sup>2</sup>	

**Obtención del área de infiltración (fi)**

$$fi = A/h$$

	$fi =$	<input type="text" value="0.005"/>	m <sup>2</sup> /ml
Área de infiltración total (mínima requerida)	$fi =$	<input type="text" value="47.37"/>	cm <sup>2</sup> /ml

Con este valor revisamos los catálogos técnicos de filtros louver, tipo Ful Flo, de Acero al Carbono

#### Rejilla Louver tipo Ful Flo

Área abierta - Acero al Carbono

Diámetro (pulg.)	Ranuras x Círculo	Ranuras x Pie	Ranuras x Metro	Abertura en Pulgadas					Abertura en Milímetros					
				0.060	0.075	0.090	0.105	0.120	0.5	1.0	1.5	2.0	3.0	4.0
6.625	6	72	236	7.0	8.8	10.5	12.3	14.0	48.7	97.4	146.1	194.8	292.2	389.6
8.625	8	96	315	9.4	11.7	14.0	16.4	18.7	65.0	130.0	195.0	260.0	390.0	520.1
10.75	8	96	315	15.1	18.9	22.7	26.5	30.2	105.0	210.0	315.0	420.1	630.1	840.1
12.75	8	96	315	15.1	18.9	22.7	26.5	30.2	105.0	210.0	315.0	420.1	630.1	840.1
14	8	96	315	15.1	18.9	22.7	26.5	30.2	105.0	210.0	315.0	420.1	630.1	840.1
16	10	120	394	18.9	23.6	28.4	33.1	37.8	131.3	262.7	394.0	525.4	788.1	1050.8
18	12	144	472	22.7	28.4	34.0	39.7	45.4	157.4	314.7	472.1	629.4	944.1	1258.8
20	14	168	551	26.5	33.1	39.7	46.3	52.9	183.7	367.4	551.1	734.8	1102.1	1469.5
22	14	168	551	26.5	33.1	39.7	46.3	52.9	183.7	367.4	551.1	734.8	1102.1	1469.5
24	16	192	630	30.2	37.8	45.4	52.9	60.5	183.7	367.4	551.1	734.8	1102.1	1469.5

Área Abierta: Pulgadas cuadradas por pie lineal

Área Abierta: Centímetros cuadrados por metro lineal

## Revestimiento de Acero al Carbono

Dimensiones, Pesos y Resistencia

DIÁMETRO NOMINAL (pulg.)	ESPESOR		DIÁMETRO EXTERNO		DIÁMETRO INTERNO		PESO		RESISTENCIA AL COLAPSO				RESISTENCIA A LA TRACCIÓN	
	pulg.	mm	pulg.	mm	pulg.	mm	lb / pie	kg/m	psi	pies agua	kg/cm <sup>2</sup>	metros agua	tons	ton. M
6	3/16	4.76	6-5/8	168	6-1/4	159	12.89	19.22	718	1656	50.5	505	1137	103.4
6	1/4	6.35	6-5/8	168	6-1/8	156	12.02	25.38	1088	2475	90.6	906	1501	136.5
8	3/16	4.76	8-5/8	219	8-1/4	210	16.90	25.19	393	908	277	277	149.0	135.5
8	1/4	6.35	8-5/8	219	8-1/8	206	22.36	33.34	756	1744	53.2	532	192.2	179.3
10	3/16	4.76	10-3/4	275	10-3/8	265	21.15	31.53	228	527	161	161	186.6	169.6
10	1/4	6.35	10-3/4	275	10-1/4	260	28.04	41.80	461	1064	32.4	324	247.3	224.8
10	5/16	7.94	10-3/4	275	10-1/8	257	34.84	51.94	760	1755	53.5	535	307.3	279.3
12	3/16	4.76	12-3/4	324	12-3/8	314	25.16	37.51	147	339	103	103	221.9	201.7
12	1/4	6.35	12-3/4	324	12-1/4	310	33.38	49.76	306	707	215	215	294.4	267.6
12	5/16	7.94	12-3/4	324	12-1/8	308	41.51	61.89	521	1202	36.6	366	366.1	332.8
12	3/8	9.53	12-3/4	324	12	305	49.56	73.89	779	1799	54.8	548	432.1	397.4
14	3/16	4.76	14	356	13-5/8	346	27.66	41.24	115	265	81	81	244.0	221.8
14	1/4	6.35	14	356	13-1/2	345	36.71	54.74	242	560	171	171	323.8	294.3
14	5/16	7.94	14	356	13-1/8	340	45.68	68.11	419	966	29.5	295	402.9	366.3
14	3/8	9.53	14	356	13-1/4	337	54.57	81.36	656	1468	44.7	447	481.3	437.5
16	3/16	4.76	16	406	15-5/8	397	31.66	47.21	80	185	5.6	56	279.3	253.9
16	1/4	6.35	16	406	15-1/2	394	42.05	62.70	172	398	121	121	370.9	337.2
16	5/16	7.94	16	406	15-3/8	391	52.36	78.06	303	700	213	213	461.8	419.8
16	3/8	9.53	16	406	15-1/4	387	62.58	93.30	470	1084	33.0	330	532.0	501.7
18	3/16	4.76	18	457	17-5/8	448	35.67	53.18	58	134	41	41	314.6	286.0
18	1/4	6.35	18	457	17-1/2	445	47.39	70.66	126	292	8.9	89	418.0	380.0
18	5/16	7.94	18	457	17-3/8	441	59.03	88.01	226	521	15.9	159	520.7	473.3
18	3/8	9.53	18	457	17-1/4	438	70.59	105.24	355	819	25.0	250	622.6	565.9
20	3/16	4.76	20	508	19-5/8	498	39.67	59.15	45	100	31	31	349.9	318.1
20	1/4	6.35	20	508	19-1/2	495	52.73	78.62	95	220	6.7	67	465.1	422.8
20	5/16	7.94	20	508	19-3/8	492	65.71	97.96	172	398	12.1	121	579.6	526.8
20	3/8	9.53	20	508	19-1/4	489	78.60	117.18	274	632	19.3	193	693.3	630.2
22	3/16	4.76	22	559	21-5/8	549	43.68	65.12	33	77	2.3	23	385.3	350.2
22	1/4	6.35	22	559	21-1/2	546	58.07	86.58	74	170	5.2	52	512.2	465.6
22	5/16	7.94	22	559	21-3/8	543	72.38	107.92	154	350	9.4	94	638.4	580.3
22	3/8	9.53	22	559	21-1/4	540	86.61	129.13	275	497	15.2	152	763.9	694.4
24	3/16	4.76	24	610	23-5/8	600	47.68	71.09	26	60	1.8	18	420.6	382.3
24	1/4	6.35	24	610	23-1/2	597	63.41	94.54	58	134	4.1	41	539.3	508.4
24	5/16	7.94	24	610	23-3/8	594	79.06	117.87	107	246	7.5	75	692.3	633.8
24	3/8	9.53	24	610	23-1/4	591	94.62	141.07	172	398	12.1	121	834.6	758.6

\*Fuente: "Timoshenko's Elastic Formula with Eccentricity"

Efectuada nuestra granulometría del acuífero, se obtuvo una abertura mínima de:

Dimensión de la abertura del filtro (Rejilla)

• Proporción de retención:

90% mm.	%
2.52	82.76
1.50	92.50

• Interpolando

Abertura del filtro
D90 = 1.7620 mm.

Entonces se tiene un diámetro de **18"** ; Así mismo, considerando una abertura comercial inmediata superior, entonces el Área abierta en la canastilla de infiltración es:  $f_i = \mathbf{629.4}$  cm<sup>2</sup>/ml

Verif.  $f_{canastilla} = 629.4 > f_{requerida} = 47.37$

¡Cumple! ✓

Se obtienen los siguientes datos del filtro:

Diámetro del filtro	=	18	pulg
Espesor	=	1/4	pulg
Peso por metro lineal	=	70.66	kg/m
Nº de Ranuras por metro lineal	=	472.00	Ranuras/metro
Área de infiltración	=	629.4	cm <sup>2</sup> /ml



\*Fuente: Catálogo Fabricantes, Roscoe Moss Company®. "Timoshenko's Elastic Formula with Eccentricity"

Verif.  $\emptyset_{Perforación} = 21.00 \geq \emptyset_{Ademe} = 18.00$

¡Cumple! ✓ 86%

Fuente: Elaboración propia.

### Figura 349.

Cálculo del diámetro de la línea de impulsión en IRHS – 009.

#### 3. Cálculo del diámetro de la línea de impulsión

La selección del diámetro de la línea de impulsión se hará en base a las fórmulas de Bresse:

Diámetro teórico máximo (Dmax.)

$$D_{max} = 1.3 * \left(\frac{N}{24}\right)^{\frac{1}{4}} * (\sqrt{Q_b})$$

$$D_{max} = 243.00 \text{ mm} \quad 9.5669 \text{ in}$$

Diámetro teórico económico (Decon.)

$$D_{econ} = 0.96 * \left(\frac{N}{24}\right)^{\frac{1}{4}} * (Q_b)^{0.45}$$

$$D_{econ} = 212.00 \text{ mm} \quad 8.3465 \text{ in}$$

Diámetro interior comercial asumido

$$D = 202.74 \text{ mm} \quad 7.9819 \text{ in}$$

Tubos SCH ASTM A53 ASTM A106 / API 5L Gr. B (Sin Costura)

8 in

#### 4. Selección del equipo de bombeo

Pérdida de carga por fricción en la tubería (hf): Fórmula de Hazen y Williams

$$h_f = 10.674 * \frac{Q^{1.852}}{C^{1.852} * D^{4.871}} * L$$

Tramo	Caudal Bombeo (Lt/s)	Longitud (m) L	C (Hazen-W)	Diámetro (mm) D	hf (m)
1	35.00	30.00	130.00	202.74	0.19
2	35.00	4.90	120.00	202.74	0.04
3	35.00	220.00	130.00	202.74	1.37
<b>Total</b>					<b>1.59</b>

Tramo Valor (L/D)

1	147.9728	¡Cumple!
2	24.16889	¡Cumple!
3	1085.134	¡Cumple!

Pérdida de carga por accesorios (hk)

Si  $\frac{L}{D} < 4000$

Aplicamos la siguiente ecuación para el cálculo de la pérdida de carga por accesorios

$$h_k = 25x \frac{V^2}{2g}$$

Reemplazando en la ecuación tenemos:

Tramo	Caudal Bombeo (Lt/s)	Diámetro (mm)	Velocidad (V) (m/s)	h <sub>k</sub> (m)
1	35.00	202.74	1.08	1.50
<b>Total</b>				<b>1.50</b>

$$v = \frac{Q}{A}$$

$$A = \frac{\pi}{4} D^2$$

Pérdida de carga total : hf + hk(total)

Tramo	h <sub>f</sub> (m)	h <sub>k</sub> (m)	h <sub>f</sub> + h <sub>k</sub> (m)
1	1.59	0.45	2.04
<b>Total</b>			<b>2.04</b>

Altura dinámica total

$$H_{dt} = H_g + H_{f \text{ total}} + P_s$$

$$H_{dt} = 64.04 \text{ m}$$

Potencia teórica de la bomba

$$39.97 \text{ HP}$$

Potencia a instalar

$$P_{ot.Bomba} = \frac{PE * Q_b * H_{dt}}{75 * n} =$$

$$40.00 \text{ HP}$$

$$29.83 \text{ KW}$$

TIPO: BOMBA TURBINA VERTICAL

Datos:

Peso específico del agua (Kg/m<sup>3</sup>)

$$PE = 1000 \text{ kg/m}^3$$

Rendimiento del conjunto bomba-motor

$$n = 75\%$$

$$n = n1 * n2$$

$$n = 75\%$$

Eficiencia del motor = 70% < n1 < 85%

$$n1 = 84\%$$

Eficiencia de la Bomba = 85% < n2 < 90%

$$n2 = 89\%$$

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 350.**

*Cálculo del golpe de ariete en IRHS – 009.*

 UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO <b>CÁLCULO DEL GOLPE DE ARIETE, LINEA DE IMPULSIÓN</b>			
PROYECTO:	"Análisis Hidrogeológico y Diseño Hidráulico Comparativo por Colapso y Compresión, en Pozos Profundos, para fines agrícolas en Moquegua, 2023"	REF.:	B53-7003130196
UBICACIÓN:	POZO IRHS – 009 INIA N° 02, Este UTM: 290596, Norte UTM: 8096401	FECHA:	22/05/2024
DISEÑO:	Bach. Boris Leonardo Aranda Huacan	CÁLCULO:	Obras Hidráulicas

**1. Parámetros de diseño**

Caudal máximo diario		$Q_{md} =$	35.00	lt/s
Numero de horas de bombeo (N)		$N =$	24.00	horas
Caudal de bombeo	$Q_b = Q_{md} * 24 / N$	$Q_b =$	35.00	lt/s
Cota nivel de bombeo (nivel de parada)		$C_{ON.B.} =$	1250.00	msnm
Cota de llegada al punto de descarga		$C_{ON.LL.} =$	1280.00	msnm
Altura estática		$He =$	60.00	m
Altura dinámica de bombeo		$ADT =$	64.04	m
Longitud de la tubería Descarga (Impulsión + Línea)		$L_{TUB} =$	250.00	m
Coef. Material De Hazen Williams		$C =$	130	
Velocidad máxima del flujo	$V = Q/A$	$V =$	1.08	m/s
Constante de gravedad		$g =$	9.81	m/s <sup>2</sup>
Material propuesto de la tubería			ACERO	
Diámetro de tubería exterior		$d_{ext} =$	219.10	mm
Diámetro de tubería interior		$d_{int} =$	202.74	mm
Espesor de la Tubería		$e =$	8.18	mm

**2. Cálculo del golpe de ariete**

*Carga por sobre presión de Golpe de Ariete ( $h_{golpe}$ )*

$$h_{golpe} = \frac{a \times V}{g}$$

Con:  $V =$  Velocidad del líquido en m/s  
 $a =$  Velocidad de aceleración de la Onda en m/s  
 $g =$  Aceleración de la Gravedad en m/s<sup>2</sup>

*Velocidad de aceleración de la onda (a) calculado por:*

$$a = \sqrt{\frac{K_v}{\rho \cdot \left(1 + \frac{K_v \cdot d}{E \cdot e}\right)}}$$

Densidad del agua a 23.4 °C (IRHS - 009)  
 Modulo de Bulk del agua a 23.4 °C (IRHS - 009)  
 Diametro interior de la tubería  
 Modulo de Elasticidad del conducto  
 Espesor del tubo

$$a = 258.18 \text{ m/s}$$

$\rho =$	997.31	kg/m <sup>3</sup>
$K_v =$	2.16E+09	Pa
$d =$	202.74	mm
$E =$	1.70E+09	Pa
$e =$	8.18	mm

*Tiempo de parada de la bomba (T)*

Formula de Mendiluce

$$Tc = C + \frac{K \cdot L \cdot V}{g \cdot Hm}$$

$$T = 1.46 \text{ s}$$

Longitud del Tramo  
 Velocidad del flujo  
 Aceleración de la gravedad  
 Altura Dinámica Total  
 Coeficientes de ajuste empírico

$L =$	250.00	m
$V =$	1.08	m/s
$g =$	9.81	m/s <sup>2</sup>
$Hm =$	64.04	m

C y K

$$C = 0.6$$

Valores de C, según Mendiluce  $Hm/L = 0.260$

Si	Condición	C
	$Hm/L < 0.2$	1.0
	$Hm/L \geq 0.4$	0.0
	$Hm/L \approx 0.3$	0.6

valores de K, según Mendiluce

L = 250.00 m

K =

Si	Condición	K
	L < 500	2.00
	L ≈ 500	1.75
	500 < L < 1500	1.50
	L ≈ 1500	1.25
	L > 1500	1.00

### Tiempo de propagación de la Onda (Tp)

El tiempo de propagación desde la válvula hasta la embocadura de la tubería:

$$T_p = \frac{2 * L}{a}$$

Tp =  m/s

Longitud de la tubería

L =  m

Velocidad de la Onda

a =  m/s

### Determinación de la posibilidad del golpe de Ariete en la Impulsión

Siendo T = Tiempo de cierre de la válvula(s), cuando prevea un:

T ≤ Tp Equivaldrá a un cierre instantáneo, ya que el tiempo de recorrido de ida y vuelta de la onda de presión es superior al de cierre. Es decir tenemos un cierre rápido, alcanzándose la sobrepresión máxima en algún punto de la tubería. Se producirá Golpe de Ariete.

T > Tp No se producirá Golpe de Ariete dado que la onda de presión regresará a la válvula sin que esta se encuentre totalmente cerrada. Estamos en un cierre lento y ningún punto alcanzara la sobrepresión máxima.

Tipo de cierre      Rápido        
 Lento     

### Si habra Golpe de Ariete

Para evitar la producción del golpe de ariete, se empleará válvulas de cierre lento para ir cerrando con lentitud el caudal de retorno y evitando estropear las tuberías y accesorios instalados.

### Calculo de la longitud crítica (Lc)

Formula de Michaud

$$L_c = \frac{a * T}{2}$$

Lc =  m

Velocidad de la Onda

a =  m/s

Tiempo de parada

T =  s

### Calculo de la sobrepresión por golpe de ariete

Para el calculo de la sobrepresión, se aplicara las formulas de Michaud o de Allieve, según se cumpla las siguientes condiciones:

L > Lc	Impulsion Larga	T ≤ Tp	Cierre rapido	Allieve	$h_{golpe} = \frac{a * V}{g}$
L < Lc	Impulsion Corta	T > Tp	Cierre lento	Michaud	$h_{golpe} = \frac{2 * L * V}{g * T}$

Finalmente la sobre carga por golpe de ariete  $h_{golpe}$  resulta en:  $h_{golpe} = \input{type="text" value="28.53"} m.c.a.$

### 3. Presión Total

La presión total      P Max =  $h_{golpe} + ADT$

P Max =  m.c.a.

$h_{golpe} = \input{type="text" value="28.53"} m.c.a.$

ADT =  m.c.a.

P Max =  Psi =  bar

### 4. Selección de la clase

La Tubería seleccionada :


Material	Diametro Interior (mm)	Presion de Funcionamiento Admisible (PFA)		Tipo/Clase
ACERO	202.74	1570 psi	1105.28 m.c.a.	SCH-40

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 351.**

Granulometría del acuífero en IRHS – 035.

 <b>UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO</b>	ID del Documento:	UCV-B53-002-PB-01	Ubicación:	IRHS - 035
	Fecha:	2023		La Cara
	Documento:	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO PARA EL PREFILTRO DE GRAVA.	Este UTM:	254065
			Norte UTM:	8050334

1. Granulometría del Acuífero

		GRANULOMETRIA DEL ACUIFERO							MUESTRA TOTAL	
		Tamaño Tamiz N°	Abert. (mm)	Peso Ret. (g)	Peso Ret. Acumul.(g)	Pasa Acumul.(g)	% Retenido Acumul.	% Q'Pasa Acumul.	5000.00 g.	
PIEDRA / CANTOS		3"	76.200	0.00	0.00	5000.00	0.00%	100.00%		
GRAVA	GRUESA	2"	50.800	0.00	0.00	5000.00	0.00%	100.00%	Pasante	Retenido
		1 1/2"	38.100	0.00	0.00	5000.00	0.00%	100.00%	D10 = 0.0746	D90 = 0.0746
		1"	25.400	0.00	0.00	5000.00	0.00%	100.00%	0.074	0.074
	FINA	3/4"	19.050	107.50	107.50	4892.50	2.15%	97.85%		
		1/2"	12.700	308.50	416.00	4584.00	8.32%	91.68%	D30 = 0.4539	D70 = 0.4539
		#3/8"	9.525	611.00	1027.00	3973.00	20.54%	79.46%	0.449	0.449
	#04	4.760	727.00	1754.00	3246.00	35.08%	64.92%			
ARENA	GRUESA	#10	2.000	680.50	2434.50	2565.50	48.69%	51.31%	D60 = 3.7623	D40 = 3.7623
		#20	0.841	624.00	3058.50	1941.50	61.17%	38.83%	3.479	3.479
	MEDIA	#30	0.595	0.00	3058.50	1941.50	61.17%	38.83%	Coeficiente de Uniformidad	
		#40	0.420	547.50	3606.00	1394.00	72.12%	27.88%	Cu = 50.41	Cu = 50.41
	FINA	#60	0.250	289.50	3895.50	1104.50	77.91%	22.09%	Coeficiente de Curvatura	
		#100	0.149	253.00	4148.50	851.50	82.97%	17.03%	Cc = 0.73	Cc = 0.73
	#200	0.074	354.50	4503.00	497.00	90.06%	9.94%			
ARCILLAS / LIMOS		FONDO	0.053	413.00	4916.00	84.00	98.32%	1.68%		
				4,916.00		84.00				

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 352.**

Granulometría por anidación del acuífero en IRHS – 035.

2. Ajustes a los porcentajes de la granulometría (Anidación)

2.1. Porcentaje de vacíos, según tipo de material (Terzaghi, 1948)

Material	% de vacíos		
	% min	% max.	% prom.
Arcilla	40	70	55
Limo	40	50	45
Arena	25	50	37.5
Grava	24	40	32

$$e = V_v / V_s$$

V<sub>v</sub> = Volumen de vacíos (agua o aire)

V<sub>s</sub> = Volumen de sólidos

Diametro del Pozo Perforado (m)	0.4572	18.00 in
Area (m <sup>2</sup> )	0.1642	

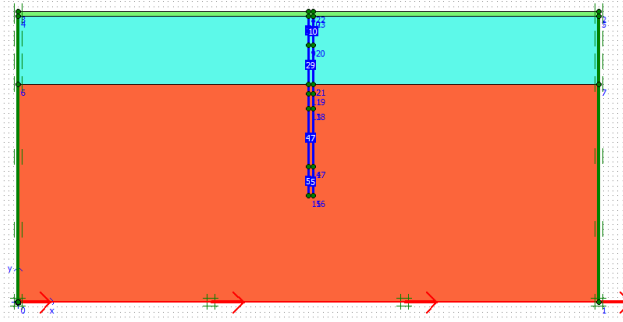
2.2. Volumen del Material

Tipo de Material	Arena F., Lim.	Arcilla, Limo	Arena Gru. c/limo, Gra.	Grava c/Arena Fina	Arcilla, Limo	Arena Gruesa, Arena Fina, Grava	Arena Gru. c/Lim., Arena F. c/Arc, Grava
Espesor (m)	1	6	8	2	3	12	6
Area (m <sup>2</sup> )	0.1642	0.1642	0.1642	0.1642	0.1642	0.1642	0.1642
Vol (m <sup>3</sup> )	0.164	0.985	1.313	0.328	0.493	1.970	0.985

2.3. Volumen de vacíos

Tipo de Material	Arena F., Lim.	Arcilla, Limo	Arena Gru. c/limo, Gra.	Grava c/Arena Fina	Arcilla, Limo	Arena Gruesa, Arena Fina, Grava	Arena Gru. c/Lim., Arena F. c/Arc, Grava
Arcilla		0.542			0.271		0.542
Limo	0.074	0.443	0.591		0.222		0.443
Arena	0.062		0.493	0.123		0.739	0.369
Grava			0.420	0.105		0.630	0.315

Tipo de Material	Vol. Parcial (m <sup>3</sup> )	(%)		(%)
Arcilla	1.354	21.22%	M. Granular	51.01%
Limo	1.773	27.77%		
Arena	1.785	27.97%	M. Fino	48.99%
Grava	1.471	23.04%		
<b>Total</b>	<b>6.384</b>			



2. Granulometría Anidada ó corregida (GRA)

GRANULOMETRIA CORREGIDA					
	Tamaño Tamiz Nº	Abert. (mm)	% Retenido Acumul.	% Q'Pasa Acumul.	
PIEDRA / CANTOS	3"	76.200	0.00%	100.00%	
GRAVA	GRUESA	2"	50.800	0.00%	100.00%
		1 1/2"	38.100	0.00%	100.00%
		1"	25.400	0.00%	100.00%
	FINA	3/4"	19.050	2.15%	97.85%
		1/2"	12.700	8.32%	91.68%
		3/8"	9.525	20.54%	79.46%
	#04	4.760	51.01%	48.99%	
ARENA	GRUESA	#10	2.000	64.62%	35.38%
		#20	0.841	77.10%	22.90%
	MEDIA	#30	0.595	77.10%	22.90%
		#40	0.420	88.05%	11.95%
	FINA	#60	0.250	93.84%	6.16%
		#100	0.149	98.90%	1.10%
	#200	0.074	100.00%	0.00%	
ARCILLAS / LIMOS	FONDO	0.053	100.00%	0.00%	

Pasante		Retenido	
D10 = 0.3627	D90 = 0.3627		
0.3527	0.3527		
D30 = 1.5003	D70 = 1.5003		
1.3766	1.3766		
D60 = 6.4817	D40 = 6.4817		
6.1159	6.1159		
Coeficiente de Uniformidad			
Cu = 17.87	Cu = 17.87		
Coeficiente de Curvatura			
Cc = 0.96	Cc = 0.96		

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 353.**

Granulometría del pre filtro (paquete de grava) y abertura del filtro (rejilla) en IRHS – 035.

Factor antes de corregir **6** (4 a 6) Arenas sin consolidar (4 arena fina, 6 arena gruesa o grava)  
 Factor después de corregir **4** (4 a 6) Arenas sin consolidar (4 arena fina, 6 arena gruesa o grava)

3. Granulometría del pre filtro o paquete de grava (Decil retenida).

	Abert. (mm)	% Retenido Acumul.
D95 =	2.72	95.00
D90 =	4.38	90.00
D80 =	5.19	80.00
D70 =	6.00	70.00
D60 =	6.81	60.00
D50 =	7.62	50.00
D40 =	8.43	40.00
D95 =	9.25	30.00
D95 =	10.06	20.00
D95 =	10.87	10.00
D00 =	11.68	0.00

• Coeficiente de Uniformidad

Según Retenido:

**Cu = 1.93** < 2.5 OK!!!

• Rango del filtro de grava

Entre:

**4 mm y 8 mm**

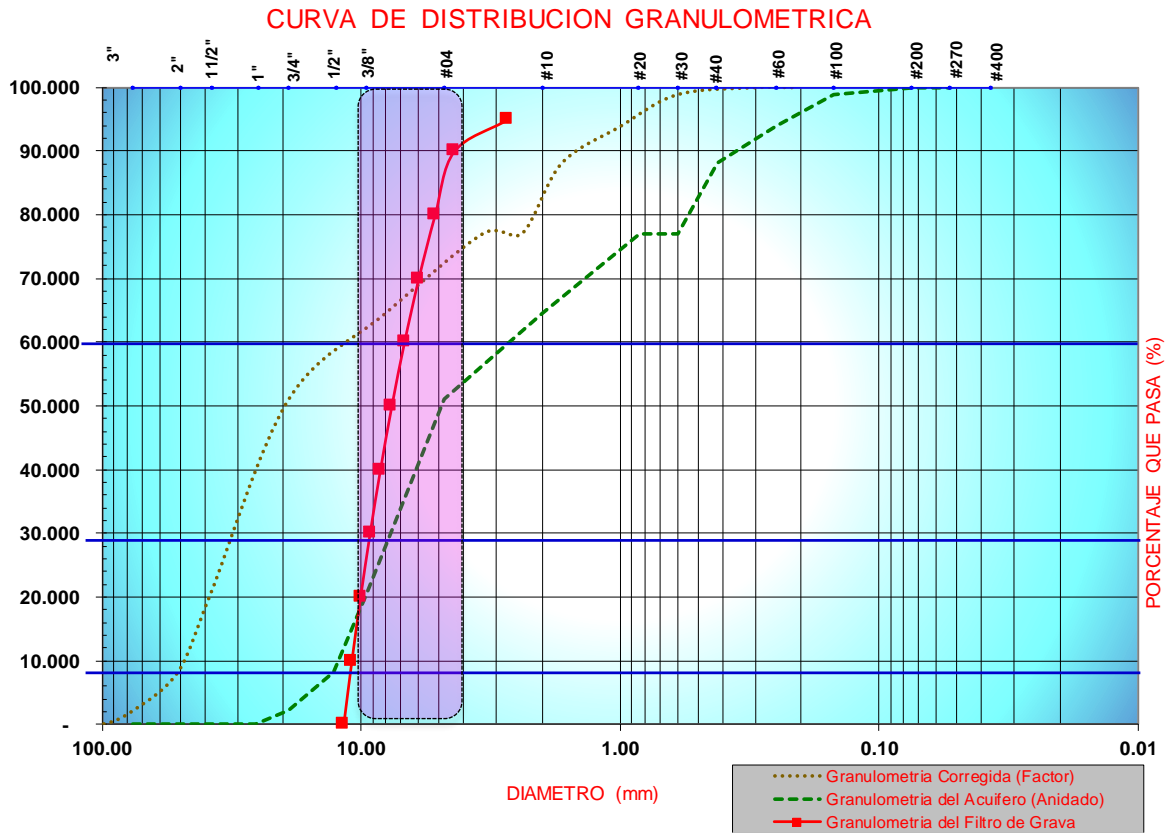
• Configuración de la partícula

**Redondeado**

• Calidad

**Libre de impurezas**

$$C_u = \frac{D_{40}}{D_{90}}$$



4. Dimensión de la abertura del filtro (Rejilla)

• Proporción de retención:

**90%**  
mm. %

1.68	88.05
1.00	93.84

• Interpolando

Abertura del filtro	
D90 =	1.4509

mm.

0.0571 in

1/16 in

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 354.**

*Diseño final del sistema de bombeo en IRHS – 035.*

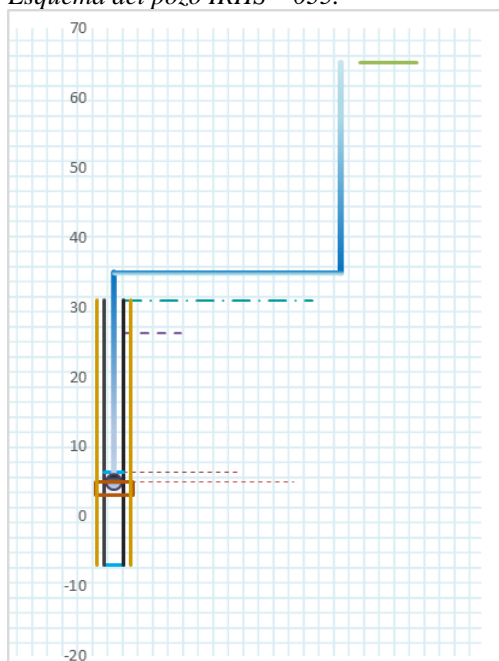
 UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO			
CÁLCULO DEL POZO, DIAMETRO DE LA LÍNEA DE IMPULSIÓN Y POTENCIA DE BOMBA			
PROYECTO:	"Análisis Hidrogeológico y Diseño Hidráulico Comparativo por Colapso y Compresión, en Pozos Profundos, para fines agrícolas en Moquegua,	REF.:	B53-7003130196
UBICACIÓN:	POZO IRHS – 035 (La Cara), Este UTM: 254065, Norte UTM: 8050334	FECHA:	22/05/2024
DISEÑO:	Bach. Boris Leonardo Aranda Huacan	CÁLCULO:	Obras Hidráulicas

**1. Datos**

Caudal Máximo Diario		$Q_{md} =$	<b>45.00</b>	Lt/s
Numero de horas de bombeo		$N =$	<b>24.00</b>	horas
Caudal de bombeo	$Q_b = Q_{md} * (24/N)$	$Q_b =$	45.00	Lt/seg
Cota Terreno		$CT =$	<b>31.00</b>	m.s.n.m.
Cota nivel de bombeo (Succión)	$Co_{N.suc} = CT - H$	$Co_{N.suc} =$	5.00	m.s.n.m.
Cota de llegada al punto		$Co_{N.LL.} =$	<b>65.00</b>	m.s.n.m.
Cota de nivel estático		$Co_{N.e} =$	26.30	m.s.n.m.
Cota de nivel dinámico		$Co_{N.d} =$	6.38	m.s.n.m.
Altura (nivel estático)		$H_{N.e} =$	<b>4.70</b>	m
Altura (Nivel dinámica)		$H_{N.d} =$	<b>24.62</b>	m
Espesor del Acuífero		$h =$	<b>13.38</b>	m
Altura (Nivel succión)	$\geq 24.62$	$H_s =$	<b>26.00</b>	m
Altura (Estática)		$H =$	60.00	m
Coefficiente de Hazen-Willians (Acero)		$C =$	<b>130.00</b>	
Coefficiente de Hazen-Willians (HDPE)		$C =$	<b>150.00</b>	
Longitud de la tubería línea de impulsión (Acero)		$L_{AC} =$	<b>26.00</b>	m
Longitud de la tubería en línea de descarga (HDPE)		$L_{HDPE} =$	<b>294.00</b>	m
Longitud de tubería en la caseta (Árbol de Descarga) Acero		$L_{AC} =$	<b>4.50</b>	m
Presión a la salida (Ps)		$Ps =$	<b>2.00</b>	m

**Figura 355.**

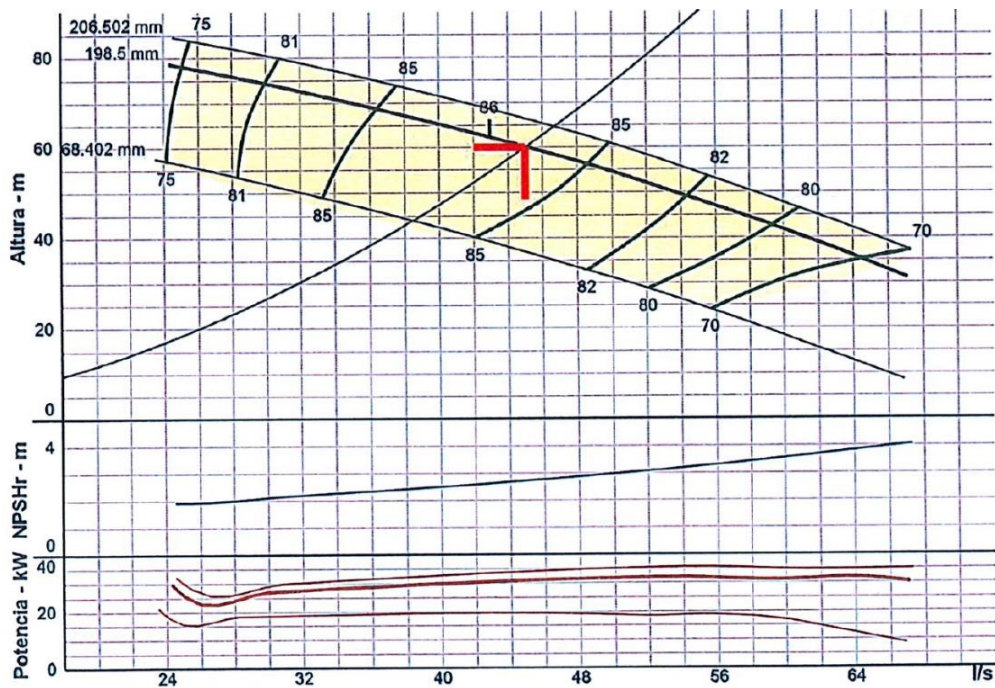
*Esquema del pozo IRHS – 035.*



*Fuente: Elaboración propia.*

**Figura 356.**

Curva de rendimiento en electrobomba para IRHS – 035.



Fuente: Warson Smart pumps ®

**Figura 357.**

Características de la tubería para la línea de impulsión.

Diámetro Nominal	Dimen. Exterior	STD			SCH-40			XS			SCH-80			SCH-160		
		Espesor Nominal	Peso		Espesor Nominal	Peso		Espesor Nominal	Peso		Espesor Nominal	Peso		Espesor Nominal	Peso	
Pulg.	mm	mm	kg/m	kg	mm	kg/m	kg	mm	kg/m	kg	mm	kg/m	kg	mm	kg/m	kg
1/4	13.7	2.24	0.63	3.78	2.24	0.63	3.78	3.02	0.80	4.8	3.02	0.80	4.8	-	-	
3/8	17.1	2.31	0.84	5.04	2.31	0.84	5.04	3.20	1.10	6.6	3.20	1.10	6.6	-	-	
1/2	21.3	2.77	1.27	7.62	2.77	1.27	7.62	3.73	1.62	9.72	3.73	1.62	9.72	4.78	1.95	11.7
3/4	26.7	2.87	1.69	10.14	2.87	1.69	10.14	3.91	2.20	13.2	3.91	2.20	13.2	5.56	2.90	17.4
1	33.4	3.38	2.50	15	3.38	2.50	15	4.55	3.24	19.44	4.55	3.24	19.44	6.35	4.24	25.44
1 1/4	42.2	3.56	3.39	20.34	3.56	3.39	20.34	4.85	4.47	26.82	4.85	4.47	26.82	6.35	5.61	33.66
1 1/2	48.3	3.68	4.05	24.3	3.68	4.05	24.3	5.08	5.41	32.46	5.08	5.41	32.46	7.14	7.25	43.5
2	60.3	3.91	5.44	32.64	3.91	5.44	32.64	5.54	7.48	44.88	5.54	7.48	44.88	8.74	11.11	66.66
2 1/2	73.0	5.16	8.63	51.78	5.16	8.63	51.78	7.01	11.41	68.46	7.01	11.41	68.46	9.53	14.92	89.52
3	88.9	5.49	11.29	67.74	5.49	11.29	67.74	7.62	15.27	91.62	7.62	15.27	91.62	11.13	21.35	128.1
4	114.3	6.02	16.07	96.42	6.02	16.07	96.42	8.56	22.32	133.92	8.56	22.32	133.92	13.49	33.54	201.24
5	141.3	6.55	21.77	130.62	6.55	21.77	130.62	9.53	30.97	185.82	9.53	30.97	185.82	15.88	49.12	294.72
6	168.3	7.11	28.26	169.56	7.11	28.26	169.56	10.97	42.56	255.36	10.97	42.56	255.36	18.26	67.57	405.42
8	219.1	8.18	42.55	255.3	8.18	42.55	255.3	12.70	64.64	387.84	12.70	64.64	387.84	23.01	111.27	667.62
10	273.0	9.27	60.29	361.74	9.27	60.29	361.74	12.70	81.55	489.3	15.09	95.98	575.88	28.58	172.27	1033.62
12	323.8	9.53	73.88	443.28	10.31	79.71	478.26	12.70	97.46	584.76	17.48	132.05	792.3	33.32	238.69	1432.14
14	355.6	9.53	81.33	487.98	11.13	94.55	567.3	12.70	107.39	644.34	19.05	158.11	948.66	35.71	281.72	1690.32
16	406.4	9.53	93.27	559.62	12.70	123.31	739.86	12.70	123.30	739.8	21.44	203.54	1221.24	40.49	365.38	2192.28
18	457	9.53	105.16	630.96	14.27	155.81	934.86	12.70	139.15	834.9	23.83	254.57	1527.42	45.24	459.39	2756.34
20	508	9.53	117.15	702.9	15.09	183.43	1100.58	12.70	155.12	930.72	26.19	311.19	1867.14	50.01	564.85	3389.1
22	559	9.53	129.13	774.78	-	-	-	12.70	171.09	1026.54	28.58	373.85	2243.1	53.98	672.30	4033.8
24	610	9.53	141.12	846.72	17.48	255.43	1532.58	12.70	187.06	1122.36	30.96	442.11	2652.66	59.54	808.27	4849.62

Fuente: Aceros Arequipa.

## Figura 358.

Cálculo del pozo IRHS – 035.

### 2. Cálculo del pozo

**Cálculo del diámetro del Ademe:**

$$da = DEB + f + 6'' \text{ pulg}$$

**Cálculo del diámetro de electrobomba sumergible (dt)**

Este se obtiene de seleccionar la curva de diseño de la bomba y esto a su vez se hace en función del gasto de diseño del pozo en (litros/segundo) vs. Altura (Estática).

Caudal de Bombeo	$Q_b =$	45.00	Lt/seg
En el grafico se observa que, para el caudal requerido el diámetro de la electrobomba mínimamente es de:	$D_{EB} =$	7.81	pulg 198.50 mm
Espacio para ampliación futura (Factor de Seguridad)	$f =$	4.19	pulg 106.30 mm
Espacio que se deja para que la electrobomba sumergible trabaje holgadamente		3.00	pulg 76.20 mm
Reemplazando en la ecuación diámetro de ademe	$da =$	15.00	pulg 381.00 mm

**Cálculo del diámetro Contra-ademe (diámetro perforación)  $db = da + 3''$  pulg**

Espacio anular que se deja para el pre filtro de grava (1.5" por lado min.)		3.00	pulg 76.20 mm
Reemplazando en la ecuación diámetro contra-ademe	$db =$	18.00	pulg 457.20 mm

Caudal de bombeo	$Q_b =$	45.00	Lt/s 0.0450 m <sup>3</sup> /s
Espesor del Acuífero	$h =$	13.38	m
Velocidad	$V =$	0.46615	m/s 46.62 cm/s
V: Velocidad máxima permeable a la entrada del cedazo para evitar turbulencia del agua en el acuífero			
Área requerida	$A = Q/V$	0.097	m <sup>2</sup>

**Obtención del área de infiltración (fi)**  $fi = A/h$

	$fi =$	0.007	m <sup>2</sup> /ml
Área de infiltración total (mínima requerida)	$fi =$	72.15	cm <sup>2</sup> /ml

Con este valor revisamos los catálogos técnicos de filtros louver, tipo Ful Flo, de Acero Inoxidable

#### Rejilla Louver tipo Super Flo

Área abierta - Acero Inoxidable / Acero HSLA / Acero al Cobre

Diámetro (pulg.)	Ranuras x Círculo	Ranuras x Pie	Ranuras x Metro	Abertura en Pulgadas					Abertura en Milímetros					
				0.060	0.075	0.090	0.105	0.120	0.5	1.0	1.5	2.0	3.0	4.0
6.625	8	192	630	18.7	23.4	28.1	32.8	37.4	130.0	260.0	390.0	520.1	780.1	1040.1
8.625	10	240	787	23.4	29.3	35.1	41.0	46.8	162.4	324.8	487.3	649.7	974.5	1299.3
10.75	12	288	945	45.4	56.7	68.0	79.4	90.7	195.0	390.0	585.1	780.1	1170.1	1560.2
12.75	14	336	1102	52.9	66.2	79.4	92.6	105.8	227.4	454.9	628.3	909.7	1364.6	1819.4
14.5	16	384	1260	60.5	75.6	90.7	105.8	121.0	260.0	520.1	780.1	1040.1	1560.2	2080.3
16.625	18	432	1417	68.0	85.1	102.1	119.1	136.1	292.4	584.9	877.3	1169.7	1754.6	2339.5
18.625	20	480	1574	75.6	94.5	113.4	132.3	151.2	325.0	650.1	975.1	1300.2	1950.2	2600.3
20.625	22	528	1732	83.2	104.0	124.7	145.5	166.3	357.4	714.9	1072.3	1429.8	2144.6	2859.5
22.5	24	576	1889	90.7	113.4	136.1	158.8	181.4	390.0	780.1	1170.1	1560.2	2340.3	3120.4
24.5	26	624	2047	98.3	122.9	147.4	172.0	196.6	422.4	844.9	1267.3	1689.8	2534.7	3379.6

Área Abierta: Pulgadas cuadradas por pie lineal

Área Abierta: Centímetros cuadrados por metro lineal

### Revestimiento de Acero Inoxidable

Dimensiones, Pesos y Resistencia

DIÁMETRO NOMINAL (pulg.)	ESPESOR pulg.	DIÁMETRO EXTERNO		DIÁMETRO INTERNO		PESO				RESISTENCIA AL COLAPSO			RESISTENCIA A LA TRACCIÓN	
		mm	mm	mm	mm	lb / pie	kg/m	psi	pies-agua	kg/cm <sup>2</sup>	metros agua	tons	ton. M	
6	3/16	4.76	6-5/8	168	6-1/4	159	13.19	19.67	646	1490	45.4	454	1421	129.2
6	1/4	6.35	6-5/8	168	6-1/8	156	17.42	25.97	1136	2622	79.9	799	187.7	170.6
8	3/16	4.76	8-5/8	219	8-1/4	210	17.29	25.78	361	833	25.4	254	186.3	169.3
8	1/4	6.35	8-5/8	219	8-1/8	206	22.88	34.12	679	1566	47.7	477	246.5	224.1
10	3/16	4.76	10-3/4	273	10-3/8	263	21.65	32.27	213	492	15.0	150	233.2	212.0
10	1/4	6.35	10-3/4	273	10-1/4	260	28.69	42.78	421	972	29.6	296	309.1	281.0
10	5/16	7.94	10-3/4	273	10-1/8	257	35.65	53.15	683	1576	48.0	480	384.1	349.1
12	3/16	4.76	12-3/4	324	12-3/8	314	25.75	38.38	139	320	9.7	97	277.4	252.1
12	1/4	6.35	12-3/4	324	12-1/4	311	34.16	50.92	283	654	19.9	199	368.0	334.5
12	5/16	7.94	12-3/4	324	12-1/8	308	42.48	63.34	474	1093	33.3	333	457.7	416.0
12	3/8	9.53	12-3/4	324	12	305	50.72	75.62	699	1604	49.2	492	546.4	496.7
14	3/16	4.76	14-1/2	368	14-1/8	359	29.33	43.73	99	229	7.0	70	316.0	287.2
14	1/4	6.35	14-1/2	368	14	356	38.94	58.05	207	478	14.6	146	419.5	381.3
14	5/16	7.94	14-1/2	368	13-7/8	352	48.46	72.25	354	807	24.9	249	522.1	474.5
14	3/8	9.53	14-1/2	368	13-3/4	349	57.89	86.32	535	1230	37.5	375	623.7	566.9
16	3/16	4.76	16-5/8	422	16-1/4	413	33.69	50.22	69	159	4.9	49	362.9	329.9
16	1/4	6.35	16-5/8	422	16-1/8	410	44.74	66.71	147	339	10.3	103	482.0	438.2
16	5/16	7.94	16-5/8	422	16	406	55.72	83.07	256	590	18.0	180	600.2	545.6
16	3/8	9.53	16-5/8	422	15-7/8	403	66.60	99.30	393	907	27.6	276	710.5	652.2
18	3/16	4.76	18-5/8	473	18-1/4	464	37.79	56.33	51	117	3.6	36	407.1	370.0
18	1/4	6.35	18-5/8	473	18-1/8	460	50.21	74.86	109	253	7.7	77	540.9	491.7
18	5/16	7.94	18-5/8	473	18	457	62.55	93.25	193	447	13.6	136	673.8	612.5
18	3/8	9.53	18-5/8	473	17-7/8	454	74.80	111.52	302	696	21.2	212	805.9	732.5
20	3/16	4.76	20-5/8	524	20-1/4	514	41.88	62.45	38	89	2.7	27	451.2	410.2
20	1/4	6.35	20-5/8	524	20-1/8	511	55.67	83.01	84	193	5.9	59	599.8	545.2
20	5/16	7.94	20-5/8	524	20	508	69.38	103.44	150	345	10.5	105	747.4	679.4
20	3/8	9.53	20-5/8	524	19-7/8	505	83.00	123.75	236	544	16.6	166	894.2	812.8
22	3/16	4.76	22-1/2	572	22-1/8	562	45.73	68.17	30	70	2.1	21	492.6	447.8
22	1/4	6.35	22-1/2	572	22	559	60.80	90.64	66	153	4.7	47	655.0	595.4
22	5/16	7.94	22-1/2	572	21-7/8	556	75.78	112.99	120	276	8.4	84	816.4	742.1
22	3/8	9.53	22-1/2	572	21-3/4	552	90.68	135.20	190	439	13.4	134	977.0	888.1
24	3/16	4.76	24-1/2	622	24-1/8	613	49.83	74.29	24	55	1.7	17	536.8	487.9
24	1/4	6.35	24-1/2	622	24	610	66.26	98.79	55	122	3.7	37	715.9	648.9
24	5/16	7.94	24-1/2	622	23-7/8	606	82.62	123.17	96	221	6.7	67	890.0	809.0
24	3/8	9.53	24-1/2	622	23-3/4	603	98.88	147.42	153	354	10.8	108	1065.3	968.3

\*Fuente: "Timoshenko's Elastic Formula with Eccentricity"

Efectuada nuestra granulometría del acuífero, se obtuvo una abertura mínima de:

Dimensión de la abertura del filtro (Rejilla)	
• Proporción de retención:	<b>90%</b>
	<b>mm.</b>
	<b>%</b>
	1.68 88.05
	1.00 93.84
• Interpolando	
	<b>Abertura del filtro</b>
	<b>D90 = 1.4509 mm.</b>

Entonces se tiene un diámetro de **15 "** ; Así mismo, considerando una abertura comercial inmediata próxima, entonces el Área abierta en la canastilla de infiltración es:  $f_i = \mathbf{780.1}$  cm<sup>2</sup>/ml

Verif.  $f_{canastilla} = 780.1 > f_{requerida} = 72.15$

¡Cumple! ✓

Se obtienen los siguientes datos del filtro:

Diámetro del filtro (c/adap.)	=	<b>15</b>	pulg
Espesor	=	<b>1/4</b>	pulg
Peso por metro lineal	=	<b>58.05</b>	kg/m
Nº de Ranuras por metro lineal	=	<b>1260.00</b>	Ranuras/metro
Área de infiltración	=	<b>780.1</b>	cm <sup>2</sup> /ml



\*Fuente: Catálogo Fabricantes, Roscoe Moss Company®. "Timoshenko's Elastic Formula with Eccentricity"

Verif.  $\emptyset_{Perforación} = 18.00 \geq \emptyset_{Ademe} = 15.00$

¡Cumple! ✓ 83%

Fuente: Elaboración propia.

### Figura 359.

Cálculo del diámetro de la línea de impulsión en IRHS – 035.

#### 3. Cálculo del diámetro de la línea de impulsión

La selección del diámetro de la línea de impulsión se hará en base a las fórmulas de Bresse:

Diámetro teórico máximo (D<sub>max</sub>)

$$D_{max} = 1.3 * \left(\frac{N}{24}\right)^{\frac{1}{4}} * (\sqrt{Q_b})$$

$$D_{max} = \boxed{276.00} \text{ mm} \quad 10.8661 \text{ in}$$

Diámetro teórico económico (Decon.)

$$D_{econ} = 0.96 * \left(\frac{N}{24}\right)^{\frac{1}{4}} * (Q_b)^{0.45}$$

$$D_{econ} = \boxed{238.00} \text{ mm} \quad 9.3701 \text{ in}$$

Diámetro interior comercial asumido

$$D = \boxed{254.46} \text{ mm} \quad 10.0181 \text{ in}$$

Tubos ASTM A312 / TP316 / 316L - SCH-40

**10 in**

#### 4. Selección del equipo de bombeo

Pérdida de carga por fricción en la tubería (hf): Fórmula de Hazen y Williams

$$h_f = 10.674 * \frac{Q^{1.852}}{C^{1.852} * D^{4.871}} * L$$

Tramo	Caudal Bombeo (Lt/s)	Longitud (m) L	C (Hazen-W)	Diámetro (mm) D	hf (m)
1	45.00	26.00	130.00	254.46	0.08
2	45.00	4.50	120.00	254.46	0.02
3	45.00	294.00	130.00	254.46	0.96
<b>Total</b>					<b>1.06</b>

Tramo Valor (L/D)

1	102.1772	¡Cumple!
2	17.68451	¡Cumple!
3	1155.388	¡Cumple!

Pérdida de carga por accesorios (hk)

Si  $\frac{L}{D} < 4000$

Aplicamos la siguiente ecuación para el cálculo de la pérdida de carga por accesorios

$$h_k = 25x \frac{V^2}{2g}$$

Reemplazando en la ecuación tenemos:

Tramo	Caudal Bombeo (Lt/s)	Diámetro (mm)	Velocidad (V) (m/s)	h <sub>k</sub> (m)
1	45.00	254.46	0.88	1.00
<b>Total</b>				<b>1.00</b>

$$v = \frac{Q}{A}$$

$$A = \frac{\pi}{4} D^2$$

Pérdida de carga total : hf + hk(total)

Tramo	h <sub>f</sub> (m)	h <sub>k</sub> (m)	h <sub>f</sub> + h <sub>k</sub> (m)
1	1.06	0.30	1.36
<b>Total</b>			<b>1.36</b>

Altura dinámica total

$$H_{dt} = H_g + H_{f \text{ total}} + P_s$$

$$H_{dt} = \boxed{63.36} \text{ m}$$

Potencia teórica de la bomba

$$\boxed{59.05} \text{ HP}$$

Potencia a instalar

$$P_{ot.Bomba} = \frac{PE * Q_b H_{dt}}{75 * n} =$$

$$\boxed{60.00} \text{ HP}$$

$$\boxed{44.74} \text{ KW}$$

TIPO: BOMBA TURBINA VERTICAL

Datos:

Peso específico del agua (Kg/m<sup>3</sup>)

$$PE = \boxed{1000} \text{ kg/m}^3$$

Rendimiento del conjunto bomba-motor

$$n = \boxed{64\%}$$

$$n = n1 * n2$$

$$n = \boxed{64\%}$$

Eficiencia del motor = 70% < n1 < 85%

$$n1 = \boxed{74.0\%}$$

Eficiencia de la Bomba = 85% < n2 < 90%

$$n2 = \boxed{87.0\%}$$



**Figura 360.**

*Cálculo del golpe de ariete en IRHS – 035.*

 <b>UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO</b> <b>CÁLCULO DEL GOLPE DE ARIETE, LINEA DE IMPULSIÓN</b>			
PROYECTO:	"Análisis Hidrogeológico y Diseño Hidráulico Comparativo por Colapso y Compresión, en Pozos Profundos, para fines agrícolas en Moquegua, 2023"	REF.:	B53-7003130196
UBICACIÓN:	POZO IRHS – 035 (La Cara), Este UTM: 254065, Norte UTM: 8050334	FECHA:	22/05/2024
DISEÑO:	Bach. Boris Leonardo Aranda Huacan	CÁLCULO:	Obras Hidráulicas

**1. Parámetros de diseño**

Caudal máximo diario		$Q_{md} =$	45.00	lt/s
Numero de horas de bombeo (N)		$N =$	24.00	horas
Caudal de bombeo	$Q_b = Q_{md} * 24 / N$	$Q_b =$	45.00	lt/s
Cota nivel de bombeo (nivel de parada)		$C_{ON.B.} =$	31.00	msnm
Cota de llegada al punto de descarga		$C_{ON.LL.} =$	65.00	msnm
Altura estática		$He =$	60.00	m
Altura dinámica de bombeo		$ADT =$	63.36	m
Longitud de la tubería Descarga (Impulsión + Línea Desc.)		$L_{TUB} =$	320.00	m
Coef. Material De Hazen Williams		$C =$	130	
Velocidad máxima del flujo	$V = Q/A$	$V =$	0.88	m/s
Constante de gravedad		$g =$	9.81	m/s <sup>2</sup>
Material propuesto de la tubería			ACERO	
Diámetro de tubería exterior		$d_{ext} =$	273.00	mm
Diámetro de tubería interior		$d_{int} =$	254.46	mm
Espesor de la Tubería		$e =$	9.27	mm

**2. Cálculo del golpe de ariete**

*Carga por sobre presión de Golpe de Ariete ( $h_{golpe}$ )*

$$h_{golpe} = \frac{a \times V}{g}$$

Con:  $V =$  Velocidad del líquido en m/s  
 $a =$  Velocidad de aceleración de la Onda en m/s  
 $g =$  Aceleración de la Gravedad en m/s<sup>2</sup>

*Velocidad de aceleración de la onda (a) calculado por:*

$$a = \sqrt{\frac{K_v}{\rho \cdot \left(1 + \frac{K_v \cdot d}{E \cdot e}\right)}}$$

Densidad del agua a 22.2 °C (IRHS - 035)  
 Modulo de Bulk del agua a 22.2 °C (IRHS - 035)  
 Diametro interior de la tubería  
 Modulo de Elasticidad del conducto  
 Espesor del tubo

$a =$	245.76	m/s
$\rho =$	997.66	kg/m <sup>3</sup>
$K_v =$	2.23E+09	Pa
$d =$	254.46	mm
$E =$	1.70E+09	Pa
$e =$	9.27	mm

*Tiempo de parada de la bomba (T)*

Formula de Mendiluce

$$Tc = C + \frac{K \cdot L \cdot V}{g \cdot Hm}$$

Longitud del Tramo  
 Velocidad del flujo  
 Aceleración de la gravedad  
 Altura Dinámica Total  
 Coeficientes de ajuste empírico  
 Valores de C, según Mendiluce  $Hm/L = 0.200$

$T =$	1.51	s
$L =$	320.00	m
$V =$	0.88	m/s
$g =$	9.81	m/s <sup>2</sup>
$Hm =$	63.36	m
C y K		
$C =$	0.6	

Si	Condición	C
	$Hm/L < 0.2$	1.0
	$Hm/L \geq 0.4$	0.0
	$Hm/L \approx 0.3$	0.6

valores de K, según Mendiluce

L = 320.00 m

K =

Si	Condición	K
	L < 500	2.00
	L ≈ 500	1.75
	500 < L < 1500	1.50
	L ≈ 1500	1.25
	L > 1500	1.00

### Tiempo de propagación de la Onda (Tp)

El tiempo de propagación desde la válvula hasta la embocadura de la tubería:

$$T_p = \frac{2 * L}{a}$$

Tp =  m/s

Longitud de la tubería

L =  m

Velocidad de la Onda

a =  m/s

### Determinación de la posibilidad del golpe de Ariete en la Impulsión

Siendo T = Tiempo de cierre de la válvula(s), cuando prevea un:

T ≤ Tp Equivaldrá a un cierre instantáneo, ya que el tiempo de recorrido de ida y vuelta de la onda de presión es superior al de cierre. Es decir tenemos un cierre rápido, alcanzándose la sobrepresión máxima en algún punto de la tubería. Se producirá Golpe de Ariete.

T > Tp No se producirá Golpe de Ariete dado que la onda de presión regresará a la válvula sin que esta se encuentre totalmente cerrada. Estamos en un cierre lento y ningún punto alcanzara la sobrepresión máxima.

Tipo de cierre      Rápido        
 Lento     

### Si habra Golpe de Ariete

Para evitar la producción del golpe de ariete, se empleará válvulas de cierre lento para ir cerrando con lentitud el caudal de retorno y evitando estropear las tuberías y accesorios instalados.

### Calculo de la longitud crítica (Lc)

Formula de Michaud

$$L_c = \frac{a * T}{2}$$

Lc =  m

Velocidad de la Onda

a =  m/s

Tiempo de parada

T =  s

### Calculo de la sobrepresión por golpe de ariete

Para el calculo de la sobrepresión, se aplicara las formulas de Michaud o de Allieve, según se cumpla las siguientes condiciones:

L > Lc	Impulsión Larga	T ≤ Tp	Cierre rapido	Allieve	$h_{golpe} = \frac{a * V}{g}$
L < Lc	Impulsión Corta	T > Tp	Cierre lento	Michaud	$h_{golpe} = \frac{2 * L * V}{g * T}$

Finalmente la sobre carga por golpe de ariete  $h_{golpe}$  resulta en:  $h_{golpe} =$   m.c.a.

### 3. Presión Total

La presión total      P Max =  $h_{golpe} + ADT$

P Max =  m.c.a.

$h_{golpe} =$   m.c.a.

ADT =  m.c.a.

P Max =  Psi =  bar

### 4. Selección de la clase

La Tubería seleccionada :

Material	Diametro Interior (mm)	Presión de Funcionamiento Admisible (PFA)		Tipo/Clase
ACERO	254.46	1430 psi	1006.72 m.c.a.	ASTM A312 / TP316 / 316L - SCH-40

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 361.**

Características de la tubería de acero clase SCH-40 en IRHS – 035.

DIÁMETRO NOMINAL	DIÁMETRO EXTERIOR		ESPESOR DE PARED		PESO kg/m	PESO tipo	SCH N.º	PRESIÓN DE PRUEBA GRADO B psi
	pulgada	mm	pulgada	mm				
3"	3.50	88.9	0.22	5.49	11.29	STD	40	2,500
3"	3.50	88.9	0.3	7.62	15.27	XS	80	2,500
4"	4.50	114.3	0.24	6.02	16.07	STD	40	2,210
4"	4.50	114.3	0.34	8.56	22.32	XS	80	2,800
5"	5.56	141.3	0.26	6.55	21.77	STD	40	1,950
5"	5.56	141.3	0.38	9.52	30.94	XS	80	2,800
6"	6.63	168.3	0.28	7.11	28.26	STD	40	1,780
6"	6.63	168.3	0.43	10.97	42.56	XS	80	2,740
8"	8.63	219.1	0.32	8.18	42.55	STD	40	1,570
8"	8.63	219.1	0.50	12.7	64.64	XS	80	2,430
10"	10.75	273.0	0.37	9.27	60.29	STD	40	1,430
10"	10.75	273.0	0.59	15.09	95.97	XS	80	2,320
12"	12.75	323.8	0.41	10.31	79.7	STD	40	1,340
12"	12.75	323.8	0.69	17.48	132.04	XS	80	2,270
14"	14.00	355.6	0.44	11.13	94.55	STD	40	1,310
14"	14.00	355.6	0.75	19.05	158.1	XS	80	2,250

Fuente: Aceros Arequipa.

En definitiva, al obtener el resultado del análisis hidrogeológico, el resultado del diseño hidráulico por colapso, diseño hidráulico por compresión y demostrando la relación que existe entre ambos diseños, se logró cumplir con el **TERCER OBJETIVO ESPECÍFICO (3º)** al haberse identificado de manera precisa los criterios del estudio hidrogeológico, incluyendo las características de los acuíferos evaluados en términos de productividad o rendimiento, caudal, recuperación, transmisividad, coeficiente de almacenamiento y conductividad hidráulica; Esta información permitió obtener una visión integral del comportamiento hidráulico de los pozos analizados, basándose en estos resultados, se facilitó el diseño hidráulico considerando tanto las condiciones de colapso como de compresión, determinando los esfuerzos actuantes bajo cargas dinámicas y los esfuerzos admisibles; Además, se identificaron los estratos que componen los acuíferos, permitiendo definir la granulometría del paquete de gravas o prefiltro. Con todos los criterios mencionados previamente identificados, se determinaron las características y materiales que optimizaron el diseño final de los pozos y del sistema de bombeo. Este enfoque aseguró una vida útil mínima de 20 años, concluyéndose que:

Para el pozo **IRHS – 045** (La Chimba N°1), se tiene una granulometría del acuífero con un Cu (Coeficiente de uniformidad) de 50.50, granulometría corregida del

acuífero con un Cu de 25.25, granulometría del pre filtro con un Cu de 1.85, tamaño de la grava del pre filtro entre 4 mm y 7 mm, abertura del filtro (rejilla) de 1.466 mm, diámetro del ademe 18 pulgadas, diámetro del contra ademe (perforación) de 21 pulgadas, diámetro de la tubería de impulsión 6 pulgadas, HDT 47.82 m, potencia de la electrobomba 15 HP; Para el pozo **IRHS – 008** (INIA N°1), se tiene una granulometría del acuífero con un Cu (Coeficiente de uniformidad) de 44.79, granulometría corregida del acuífero con un Cu de 55.21, granulometría del pre filtro con un Cu de 1.38, tamaño de la grava del pre filtro entre 6 mm y 9 mm, abertura del filtro (rejilla) de 1.39 mm, diámetro del ademe 18 pulgadas, diámetro del contra ademe (perforación) de 21 pulgadas, diámetro de la tubería de impulsión 6 pulgadas, HDT 42.73 m, potencia de la electrobomba 15 HP; Para el pozo **IRHS – 009** (INIA N°2), se tiene una granulometría del acuífero con un Cu (Coeficiente de uniformidad) de 37.28, granulometría corregida del acuífero con un Cu de 28.01, granulometría del pre filtro con un Cu de 2.22, tamaño de la grava del pre filtro entre 4 mm y 10 mm, abertura del filtro (rejilla) de 1.76 mm, diámetro del ademe 18 pulgadas, diámetro del contra ademe (perforación) de 21 pulgadas, diámetro de la tubería de impulsión 8 pulgadas, HDT 64.04 m, potencia de la electrobomba 40 HP; Para el pozo **IRHS-035** (La Cara), se tiene una granulometría del acuífero con un Cu (Coeficiente de uniformidad) de 50.41, granulometría corregida del acuífero con un Cu de 17.87, granulometría del pre filtro con un Cu de 1.93, tamaño de la grava del pre filtro entre 4 mm y 8 mm, abertura del filtro (rejilla) de 1.45 mm, diámetro del ademe 15 pulgadas, diámetro del contra ademe (perforación) de 18 pulgadas, diámetro de la tubería de impulsión 10 pulgadas, HDT 63.36 m, potencia de la electrobomba 60 HP; Y para los cuatro (04) pozos analizados, los cálculos indicaron la presencia de golpe de ariete, para prevenir este fenómeno, se planificó el uso de válvulas de cierre lento, las cuales permitirían reducir gradualmente el caudal de retorno, evitando así daños a las tuberías y accesorios instalados. Además, se decidió implementar un variador de frecuencia para controlar la potencia de la bomba, proporcionando una protección adicional al sistema de bombeo contra los efectos del golpe de ariete.

Considerando estos criterios, se busca **aportar** a la mitigación del déficit hídrico y al aumento de los rendimientos en la producción agrícola. Este respaldo evidencia

la importancia crítica de abordar minuciosamente estos factores durante la planificación y ejecución de proyectos relacionados con la explotación de aguas subterráneas en pozos profundos.

En conclusión, al haber cumplido con los objetivos específicos, es que se cumple el **OBJETIVO GENERAL**, visto que se realizó el análisis hidrogeológico, con los cuales se obtuvieron resultados como la profundidad del pozo, profundidad del acuífero, composición de los estratos, caudal, diámetro del pozo, transmisividad hidráulica, coeficiente de almacenamiento, tipo de acuífero y consideraciones del análisis de la calidad del agua para definir su uso y tipo de material para la tubería; consecuentemente se efectuó el cálculo del diseño hidráulico por colapso y diseño hidráulico por compresión, comparando los resultados de los esfuerzos actuantes y resistentes, para que éstos logren permanecer preparados ante la intervención de fuerzas dinámicas y fijas, dando como resultados que los esfuerzos resistentes (diseño a la compresión), superan significativamente a los esfuerzos aplicados (diseño al colapso), concluyéndose que ambos enfoques, tanto el diseño al colapso y compresión, **deberán de implementarse** durante la ejecución de proyectos relacionados con la explotación de aguas subterráneas en pozos profundos, garantizando una vida útil mínima de 20 años. La investigación ha permitido identificar y demostrar de manera concluyente la interconexión entre los parámetros hidrogeológicos evaluados y su impacto directo en el diseño hidráulico de pozos profundos, especialmente en lo que respecta a los aspectos relacionados con el colapso y la compresión del pozo.

## V. DISCUSIÓN

**Con respecto al objetivo 1:** En síntesis, se demostró fehacientemente cómo los parámetros hidrogeológicos influyen en el diseño hidráulico de pozos profundos. Se analizaron varios pozos, incluyendo el **IRHS-045** (La Chimba N°1) con una profundidad inicial de 40 metros. El análisis geofísico reveló diferentes estratos con resistividades específicas, permitiendo extender la perforación hasta 60 metros. Se registraron un caudal de 15 l/s, niveles estático y dinámico de 22 m y 34.22 m respectivamente, y una conductividad hidráulica de 1.615 m/día. El pozo presentó un tiempo de recuperación de 240 minutos y se concluyó que era un acuífero libre, recomendándose el uso de tubería de acero de bajo carbono. Se presentó una transmisividad de 25.81 m<sup>2</sup>/día y un coeficiente de almacenamiento de 56.11 según el método de Neuman. Usando el método de Tartakovsky-Neuman, estos valores fueron 29.39 m<sup>2</sup>/día y 39.92, respectivamente, coincidiendo con cálculos previos. La curvatura de la gráfica tiempo-abatimiento confirmó que se trataba de un acuífero libre y permeable, con una clasificación de regular a bueno.

El pozo **IRHS-008** (INIA N°1) con una profundidad inicial de 20 metros mostró estratos con resistividades que indicaban materiales superficiales y depósitos fluvioaluviales saturados, permitiendo perforar hasta 80 metros. Se registraron un caudal de 15 l/s, niveles estático y dinámico de 1.35 m y 7.12 m respectivamente, y una conductividad hidráulica de 6.185 m/día. Con un tiempo de recuperación de 210 minutos, se concluyó que era un acuífero libre, recomendándose el uso de tubería de acero inoxidable. Se encontró una transmisividad de 125.10 m<sup>2</sup>/día y un coeficiente de almacenamiento de 0.9678 mediante el método de Neuman. El método de Tartakovsky-Neuman mostró 225.40 m<sup>2</sup>/día y 0.01347, respectivamente. Ambos métodos indicaron un acuífero libre y muy permeable, clasificado como regular a bueno con arena y grava limpia.

El pozo **IRHS-009** (INIA N°2) con una profundidad inicial de 40 metros mostró estratos similares, permitiendo perforar hasta 100 metros. Se registraron un caudal de 35 l/s, niveles estático y dinámico de 2.07 m y 18.82 m respectivamente, y una conductividad hidráulica de 1.87 m/día. El tiempo de recuperación fue de 780 minutos, concluyéndose que era un acuífero libre, recomendándose tubería de

acero de bajo carbono. El método de Moench reveló una transmisividad de 70.86 m<sup>2</sup>/día y un coeficiente de almacenamiento de 15.34. El método de Neuman mostró 70.60 m<sup>2</sup>/día y 15.31, y el de Tartakovsky-Neuman, 72.13 m<sup>2</sup>/día y 15.13. La gráfica tiempo-abatimiento confirmó la presencia de un acuífero libre y permeable, clasificado de regular a bueno.

El pozo **IRHS-035** (La Cara) con una profundidad inicial de 38 metros mostró estratos que permitieron extender la perforación hasta 50 metros. Se registraron un caudal de 45 l/s, niveles estático y dinámico de 4.70 m y 24.62 m respectivamente, y una conductividad hidráulica de 3.652 m/día. Con un tiempo de recuperación de 780 minutos, se concluyó que era un acuífero libre, recomendándose tubería de acero inoxidable. mediante el método de Moench-Prickett, una transmisividad de 121.10 m<sup>2</sup>/día y un coeficiente de almacenamiento de 0.01759. El método de Papadopulos-Cooper arrojó 121.20 m<sup>2</sup>/día y 0.3551. Los resultados indicaron un acuífero libre y permeable, clasificado como regular a bueno.

En todos los casos, la curvatura de las gráficas tiempo-abatimiento y los valores de transmisividad y almacenamiento sustentaron la clasificación de los **acuíferos como libres**, con los coeficientes de almacenamiento “S” superando 0.01 ( $>10^{-2}$ ), descartando así la presencia de acuíferos confinados (“S” dentro del rango de  $10^{-5}$  y  $10^{-3}$  indican la presencia de un acuífero confinado).

Para seleccionar el material de la tubería en los pozos IRHS-008 INIA N°1 e IRHS-035 - La Cara, se optó por acero inoxidable, mientras que en los pozos IRHS-045 (La Chimba N°1) e IRHS-009 INIA N°2 se utilizó acero de bajo carbono. Esta decisión se basó en el análisis de la calidad del agua y los requisitos específicos de cada pozo. Se consideró que la conductividad eléctrica alta, como los 3026  $\mu\text{S}/\text{cm}$  registrados en el pozo IRHS-035, y un pH bajo, como el de 6.14 en el pozo IRHS-008, incrementan la probabilidad de oxidación de metales. Además, la presencia de oxígeno disuelto, compuestos orgánicos que causan coloración, boro, magnesio, cloruro y nitrato en el agua contribuyen a la corrosión y formación de incrustaciones en las tuberías. En el pozo IRHS-035, se registraron 675.4 mg/L de cloruro y en el pozo IRHS-008, 26.16 mg/L de nitrato, ambos valores más altos

entre las muestras analizadas, indicando mayores riesgos de corrosión y justificando la elección del material de las tuberías.

**Con respecto al objetivo 2:** En síntesis, se demostró fehacientemente cómo tras culminar el diseño hidráulico por colapso y compresión, se demostró la relación entre ambas metodologías. Esta comparación permitió evaluar los esfuerzos aplicados y los esfuerzos resistentes en las secciones y materiales diseñados para cada pozo.

Para el pozo IRHS-045 (La Chimba N°1), la resistencia a la tracción registrada fue de 4,781.70 kN (diseño a la compresión), superando significativamente el esfuerzo aplicado de 1,600 kN (diseño al colapso). La resistencia a la compresión alcanzó los 2,390.85 kN, superando el esfuerzo aplicado de 795.06 kN, cumpliendo así con el diseño de la sección y características especificadas.

En el pozo IRHS-008 (INIA N°1), la resistencia a la tracción fue de 6,147.90 kN (diseño a la compresión), superando el esfuerzo aplicado de 833.68 kN (diseño al colapso). La resistencia a la compresión fue de 3,073.95 kN, superando el esfuerzo aplicado de 383.49 kN, cumpliendo con el diseño especificado.

Para el pozo IRHS-009 (INIA N°2), se registró una resistencia a la tracción de 4,781.70 kN (diseño a la compresión), superando el esfuerzo aplicado de 1,350.00 kN (diseño al colapso). La resistencia a la compresión alcanzó los 2,390.85 kN, superando el esfuerzo aplicado de 576.44 kN, cumpliendo con el diseño de la sección y características indicadas.

En el pozo IRHS-035 (La Cara), la resistencia a la tracción fue de 4,762.46 kN (diseño a la compresión), superando el esfuerzo aplicado de 1,230.00 kN (diseño al colapso). La resistencia a la compresión fue de 2,910.39 kN, superando el esfuerzo aplicado de 517.28 kN, cumpliendo con el diseño especificado.

En términos de proyección de vida útil mínima de 20 años y considerando los niveles piezométricos históricos, se determinaron los siguientes descensos totales previstos (nivel dinámico):



Para el pozo IRHS-045 (La Chimba N°1), el descenso previsto es de 64 metros. La tomografía eléctrica indicó una profundidad máxima de 60 metros (profundidad actual de 40 metros). Para garantizar una vida útil de 20 años, el pozo debería profundizarse 24 metros adicionales o limitar el bombeo a 2 horas diarias, ya que en las condiciones actuales duraría solo 16 años o a partir del cual se deberá efectuar una recarga artificial.

Para el pozo IRHS-008 (INIA N°1), el descenso previsto es de 18 metros. La tomografía eléctrica indicó una profundidad máxima de 80 metros (profundidad actual de 20 metros), garantizando que el pozo siga siendo óptimo en 20 años con el diseño actual.

Para el pozo IRHS-009 (INIA N°2), el descenso previsto es de 35 metros. La tomografía eléctrica indicó una profundidad máxima de 100 metros (profundidad actual de 40 metros), asegurando una producción óptima en 20 años con el diseño actual.

Para el pozo IRHS-035 (La Cara), el descenso previsto es de 48 metros. La tomografía eléctrica indicó una profundidad máxima de 50 metros (profundidad actual de 38 metros). Para garantizar una vida útil de 20 años, el pozo debería profundizarse 10 metros adicionales o efectuar una recarga artificial, ya que las condiciones hidrogeológicas están al límite.

Estos datos y pruebas hidrogeológicas fueron concluyentes y necesarios para garantizar una vida útil mínima de 20 años. Este respaldo subraya la importancia crítica de abordar minuciosamente estos factores durante la planificación y ejecución de proyectos de explotación de aguas subterráneas en pozos profundos.

Puesto que, para el pozo IRHS-045 (La Chimba N°1), los resultados del diseño al **colapso** incluyeron una presión de poros de  $-369.39 \text{ kN/m}^2$ , una velocidad del agua subterránea estática de  $80.42 \times 10^{-21} \text{ m/s}$  y una presión efectiva de  $-795.06 \text{ kN/m}^2$ . Durante el bombeo, la velocidad del agua subterránea fue de  $0.01 \times 10^{-3} \text{ m/s}$ . Además, se observó una deformación de la malla con un desplazamiento total de

162.82 x 10<sup>-3</sup> m y un desplazamiento incremental de 13.18 x 10<sup>-3</sup> m. La velocidad total fue de 330.42 x 10<sup>-3</sup> m/s, con una aceleración total de 2.71 m/s<sup>2</sup>, una aceleración vertical de -2.57 m/s<sup>2</sup> y una aceleración horizontal de -2.67 m/s<sup>2</sup>. Las tensiones incluyeron una tensión media efectiva de -1.31 x 10<sup>3</sup> kN/m<sup>2</sup>, una tensión efectiva de -1.54 x 10<sup>3</sup> kN/m<sup>2</sup> y una tensión total de -1.60 x 10<sup>3</sup> kN/m<sup>2</sup>. Las tensiones horizontales y verticales totales fueron de -1.46 x 10<sup>3</sup> kN/m<sup>2</sup> y -1.32 x 10<sup>3</sup> kN/m<sup>2</sup>, respectivamente. Las presiones de poro activas fueron de -365.16 kN/m<sup>2</sup> y la altura activa de las aguas subterráneas fue de 45.53 m.

Para el pozo IRHS-008 (INIA N°1), la presión de poros fue de -379.84 kN/m<sup>2</sup> y la presión efectiva de -383.49 kN/m<sup>2</sup>. La velocidad del agua subterránea durante el bombeo fue de 17.84 x 10<sup>-6</sup> m/s. La deformación de la malla mostró un desplazamiento total de 103.54 x 10<sup>-3</sup> m y un desplazamiento incremental de 22.86 x 10<sup>-3</sup> m. La velocidad total fue de 561.80 x 10<sup>-3</sup> m/s, con una aceleración total de 2.44 m/s<sup>2</sup>, una aceleración vertical de 1.29 m/s<sup>2</sup> y una aceleración horizontal de -2.43 m/s<sup>2</sup>. La tensión media efectiva fue de -446.14 kN/m<sup>2</sup>, la tensión efectiva de -485.03 kN/m<sup>2</sup> y la tensión total de -833.68 kN/m<sup>2</sup>. Las tensiones horizontales y verticales totales fueron de -792.70 kN/m<sup>2</sup> y -855.53 kN/m<sup>2</sup>, respectivamente. Las presiones de poro activas fueron de -368.77 kN/m<sup>2</sup> y la altura activa de las aguas subterráneas fue de 37.63 m.

En el pozo IRHS-009 (INIA N°2), la presión de poros fue de -563.68 kN/m<sup>2</sup> y la presión efectiva de -576.44 kN/m<sup>2</sup>. Durante el bombeo, la velocidad del agua subterránea fue de 21.04 x 10<sup>-6</sup> m/s. La deformación de la malla mostró un desplazamiento total de 173.47 x 10<sup>-3</sup> m y un desplazamiento incremental de 14.70 x 10<sup>-3</sup> m. La velocidad total fue de 348.84 x 10<sup>-3</sup> m/s, con una aceleración total de 2.44 m/s<sup>2</sup>, una aceleración vertical de 2.21 m/s<sup>2</sup> y una aceleración horizontal de -1.78 m/s<sup>2</sup>. La tensión media efectiva fue de -781.19 kN/m<sup>2</sup>, la tensión efectiva de -1.14 x 10<sup>3</sup> kN/m<sup>2</sup> y la tensión total de -1.35 x 10<sup>3</sup> kN/m<sup>2</sup>. Las tensiones horizontales y verticales totales fueron de -1.15 x 10<sup>3</sup> kN/m<sup>2</sup> y -1.21 x 10<sup>3</sup> kN/m<sup>2</sup>, respectivamente. Las presiones de poro activas fueron de -555.38 kN/m<sup>2</sup> y la altura activa de las aguas subterráneas fue de 56.67 m.

Para el pozo IRHS-035 (La Cara), la presión de poros fue de  $-535.87 \text{ kN/m}^2$ , la velocidad del agua subterránea en condiciones estáticas fue de  $212.23 \times 10^{-21} \text{ m/s}$  y la presión efectiva de  $-517.28 \text{ kN/m}^2$ . Durante el bombeo, la velocidad del agua subterránea fue de  $56.61 \times 10^{-6} \text{ m/s}$ . La deformación de la malla mostró un desplazamiento total de  $205.70 \times 10^{-3} \text{ m}$  y un desplazamiento incremental de  $18.08 \times 10^{-3} \text{ m}$ . La velocidad total fue de  $466.15 \times 10^{-3} \text{ m/s}$ , con una aceleración total de  $2.77 \text{ m/s}^2$ , una aceleración vertical de  $2.60 \text{ m/s}^2$  y una aceleración horizontal de  $-1.70 \text{ m/s}^2$ . La tensión media efectiva fue de  $-699.87 \text{ kN/m}^2$ , la tensión efectiva de  $-1.09 \times 10^3 \text{ kN/m}^2$  y la tensión total de  $-1.23 \times 10^3 \text{ kN/m}^2$ . Las tensiones horizontales y verticales totales fueron de  $-1.09 \times 10^3 \text{ kN/m}^2$  y  $-1.16 \times 10^3 \text{ kN/m}^2$ , respectivamente. Las presiones de poro activas fueron de  $-526.75 \text{ kN/m}^2$  y la altura activa de las aguas subterráneas fue de  $53.75 \text{ m}$ .

Después de realizar el diseño a la **compresión**, se obtuvieron los siguientes resultados para los pozos analizados:

Para el pozo IRHS-045 (La Chimba N°1), la tubería ciega mostró una resistencia a la tracción de  $487,928.61 \text{ kg}$ , con un peso propio actuante de  $70.52 \text{ kg/m}$  y una resistencia a la compresión de  $243,964.30 \text{ kg}$ . La presión crítica actuante fue de  $1,254.16 \text{ kN/m}^2$  y la presión crítica de diseño fue de  $864.95 \text{ kN/m}^2$ . En cuanto a la tubería ranurada, el esfuerzo resistente para la ranura continua fue de  $20,984.99 \text{ kg}$ , con una presión sobre el filtro de  $79.67 \text{ kN/m}^2$ . Para el tipo LOUVER, el esfuerzo resistente alcanzó  $108,069.11 \text{ kg}$ , con una presión crítica actuante de  $10,469.44 \text{ kN/m}^2$  y una presión crítica de diseño de  $4,730.00 \text{ kN/m}^2$ .

Para el pozo IRHS-008 (INIA N°1), la tubería ciega tuvo una resistencia a la tracción de  $627,336.78 \text{ kg}$ , un peso propio actuante de  $71.18 \text{ kg/m}$  y una resistencia a la compresión de  $313,668.39 \text{ kg}$ . La presión crítica actuante fue de  $1,185.47 \text{ kN/m}^2$  y la presión crítica de diseño fue de  $875.73 \text{ kN/m}^2$ . En la tubería ranurada, el esfuerzo resistente para la ranura continua fue de  $17,987.14 \text{ kg}$ , con una presión sobre el filtro de  $74.36 \text{ kN/m}^2$ . Para el tipo LOUVER, el esfuerzo resistente fue de  $64,054.35 \text{ kg}$ , con una presión crítica actuante de  $9,896.04 \text{ kN/m}^2$  y una presión crítica de diseño de  $4,015.32 \text{ kN/m}^2$ .

Para el pozo IRHS-009 (INIA N°2), la tubería ciega presentó una resistencia a la tracción de 487,928.61 kg, un peso propio actuante de 70.52 kg/m y una resistencia a la compresión de 243,964.30 kg. La presión crítica actuante fue de 1,254.16 kN/m<sup>2</sup> y la presión crítica de diseño fue de 864.95 kN/m<sup>2</sup>. La tubería ranurada mostró un esfuerzo resistente para la ranura continua de 20,984.99 kg, con una presión sobre el filtro de 79.67 kN/m<sup>2</sup>. Para el tipo LOUVER, el esfuerzo resistente fue de 108,069.11 kg, con una presión crítica actuante de 10,469.44 kN/m<sup>2</sup> y una presión crítica de diseño de 4,730.00 kN/m<sup>2</sup>.

Para el pozo IRHS-035 (La Cara), la tubería ciega demostró una resistencia a la tracción de 485,965.11 kg, un peso propio actuante de 55.14 kg/m y una resistencia a la compresión de 296,978.68 kg. La presión crítica actuante fue de 2,550.22 kN/m<sup>2</sup> y la presión crítica de diseño fue de 1,838.75 kN/m<sup>2</sup>. En la tubería ranurada, el esfuerzo resistente para la ranura continua fue de 14,307.95 kg, con una presión sobre el filtro de 58.34 kN/m<sup>2</sup>. Para el tipo LOUVER, el esfuerzo resistente fue de 24,372.08 kg, con una presión crítica actuante de 21,556.31 kN/m<sup>2</sup> y una presión crítica de diseño de 6,685.99 kN/m<sup>2</sup>.

**Con respecto al objetivo 3:** En síntesis, se demostró fehacientemente que, al obtener los resultados del análisis hidrogeológico, junto con los diseños hidráulicos por colapso y compresión, se pudo identificar de manera precisa los criterios del estudio hidrogeológico. Se evaluaron las características de los acuíferos en términos de productividad, caudal, recuperación, transmisividad, coeficiente de almacenamiento y conductividad hidráulica. Esta información proporcionó una visión integral del comportamiento hidráulico de los pozos analizados.

Basándose en estos resultados, se facilitó el diseño hidráulico considerando tanto las condiciones de colapso como de compresión, determinando los esfuerzos actuantes bajo cargas dinámicas y los esfuerzos admisibles. Se identificaron los estratos que componen los acuíferos, lo que permitió definir la granulometría del paquete de gravas o prefiltro. Con estos criterios, se determinaron las características y materiales que optimizaron el diseño final de los pozos y del sistema de bombeo, asegurando una vida útil mínima de 20 años.

Para el pozo IRHS-045 (La Chimba N°1), se encontró una granulometría del acuífero con un coeficiente de uniformidad (Cu) de 50.50, corregida a 25.25. La granulometría del prefiltro tuvo un Cu de 1.85, con grava de 4 a 7 mm, abertura del filtro de 1.466 mm, ademe de 18 pulgadas, perforación de 21 pulgadas, tubería de impulsión de 6 pulgadas, HDT de 47.82 m y una electrobomba de 15 HP.

Para el pozo IRHS-008 (INIA N°1), la granulometría del acuífero tuvo un Cu de 44.79, corregida a 55.21. El prefiltro tuvo un Cu de 1.38, con grava de 6 a 9 mm, abertura del filtro de 1.39 mm, ademe de 18 pulgadas, perforación de 21 pulgadas, tubería de impulsión de 6 pulgadas, HDT de 42.73 m y una electrobomba de 15 HP.

En el pozo IRHS-009 (INIA N°2), la granulometría del acuífero tuvo un Cu de 37.28, corregida a 28.01. El prefiltro tuvo un Cu de 2.22, con grava de 4 a 10 mm, abertura del filtro de 1.76 mm, ademe de 18 pulgadas, perforación de 21 pulgadas, tubería de impulsión de 8 pulgadas, HDT de 64.04 m y una electrobomba de 40 HP.

Para el pozo IRHS-035 (La Cara), la granulometría del acuífero tuvo un Cu de 50.41, corregida a 17.87. El prefiltro tuvo un Cu de 1.93, con grava de 4 a 8 mm, abertura del filtro de 1.45 mm, ademe de 15 pulgadas, perforación de 18 pulgadas, tubería de impulsión de 10 pulgadas, HDT de 63.36 m y una electrobomba de 60 HP.

En los cuatro pozos, se identificó la presencia de golpe de ariete, por lo que se planificó el uso de válvulas de cierre lento para reducir gradualmente el caudal de retorno, evitando daños a las tuberías y accesorios. Además, se decidió implementar un variador de frecuencia para controlar la potencia de la bomba, proporcionando protección adicional contra el golpe de ariete.

Este enfoque buscó mitigar el déficit hídrico y aumentar los rendimientos en la producción agrícola, demostrando la importancia de abordar minuciosamente estos factores en la planificación y ejecución de proyectos de explotación de aguas subterráneas en pozos profundos.

Según **ORHAM N.** (Orhan, 2023), que en su artículo de investigación científica titulada: "Effect of Different Screen Types on Head Loss in Deep Wells Used for Irrigation", el cual traducida al español indica "Efecto de distintos tipos de pantalla en la pérdida de carga en pozos profundos utilizados para el riego", Se estableció como objetivo analizar las pérdidas de carga hidráulica para cuatro tipos diferentes de tuberías ranuradas utilizadas como filtros: WT1 (ranura vertical oblonga), WT2 (ranura horizontal oblonga), WT3 (ranura redonda) y WT4 (tipo puente). Los resultados demostraron que la reducción mínima de carga (50,37 cm) se midió en la tubería con ranura horizontal oblonga (WT2), lo que mejoró la producción del pozo al obtener una conductividad hidráulica de  $1.4 \times 10^{-4}$  m/s. Asimismo, Orhan N. registró una conductividad hidráulica de  $7.3 \times 10^{-5}$  m/s para la ranura vertical WT1. La presente investigación **apoyó** estos hallazgos, ya que se obtuvo una conductividad hidráulica de  $7.16 \times 10^{-5}$  m/s para la ranura vertical en el pozo IRHS-008, de  $1.87 \times 10^{-5}$  m/s en el pozo IRHS-045, de  $2.16 \times 10^{-5}$  m/s en el pozo IRHS-009, y de  $4.23 \times 10^{-5}$  m/s en el pozo IRHS-035. En consecuencia, se decidió implementar una tubería con ranura horizontal tipo persiana o Louver en el diseño final.

Citando a **Gao Y.** (Gao et al., 2023), que en su artículo de investigación científica titulada "Investigation of high-speed deep well pump performance with different outlet setting angle of space diffuser", el cual traducida al español indica "Investigación del rendimiento de la bomba, de pozo profundo, de alta velocidad con diferente ángulo de ajuste de salida del difusor espacial". Se planteó el objetivo de utilizar simulaciones numéricas para investigar cómo varía el rendimiento de una bomba de pozo profundo de alta velocidad bajo diferentes ángulos de ajuste en la salida de la pala del difusor espacial, dado que la bomba es uno de los equipos más críticos para el bombeo de aguas subterráneas. Los resultados indicaron que un ángulo de salida de  $90^\circ$  es una solución relativamente óptima y que a un ángulo de  $80^\circ$ , el rendimiento es máximo. Para un caudal de  $8 \text{ m}^3/\text{h}$ , la pérdida hidráulica media en los difusores espaciales a todos los niveles osciló entre el 16% y el 20%. La presente investigación **apoyó** los hallazgos de Gao Y., ya que, durante nuestras pruebas de bombeo, la bomba tenía un ángulo de salida de  $90^\circ$ , en el pozo IRHS-045, con un rendimiento de  $15 \text{ l/s}$  ( $54 \text{ m}^3/\text{h}$ ), se calculó una pérdida hidráulica del

23.05%, para el pozo IRHS-008, con un rendimiento de 15 l/s (54 m<sup>3</sup>/h), la pérdida fue del 21.31%, en el pozo IRHS-009, con un rendimiento de 35 l/s (126 m<sup>3</sup>/h), la pérdida fue del 24.10%, y en el pozo IRHS-035, con un rendimiento de 45 l/s (162 m<sup>3</sup>/h), se calculó una pérdida del 16.88%. Estos resultados demostraron que, para un ángulo de salida de 90°, las pérdidas hidráulicas superan el 20%, excepto en el pozo IRHS-035, que se mantuvo dentro del rango del 16% al 20% esperado para un rendimiento máximo con un ángulo de 80°, a pesar de que el ángulo de salida era de 90°.

Desde el punto de vista de **Patton Erick M.** (Patton et al., 2023), en su artículo científico titulado “Effect of low-permeability layers on vadose well recharge rates”, el cual traducida al español indica “Efecto de las capas de baja permeabilidad sobre las tasas de recarga de pozos vadosos”, se estableció como objetivo evaluar el efecto de la litología heterogénea en la recarga de los pozos vadosos. Dado que la recarga en acuíferos no confinados durante la Recarga Gestionada de Acuíferos (MAR) está influida por las características litológicas de la zona vadosa, los resultados principales mostraron que las tasas de recarga más altas, con un 90% de eficiencia, se producen cuando la capa de arcilla se sitúa en la mitad superior de la pantalla del pozo o por encima de ella. Respecto a la presente investigación, un **hallazgo** importante al proyectar una vida útil mínima de 20 años, considerando el registro histórico de los niveles piezométricos, fue que el pozo IRHS 045 - La Chimba N°1 presentaba un déficit hídrico que ponía en riesgo dicha vida útil. El análisis geofísico (tomografía eléctrica) reveló la presencia de capas de arcilla en la mitad de la pantalla del pozo, lo que sugiere que se podría realizar una recarga artificial del acuífero, dado que existen condiciones idóneas para ello con una eficiencia del 90%. Esto apoya las conclusiones de Patton Erick M., y se recomendó que la recarga se efectuara después de 16 años desde el inicio de la extracción del recurso hídrico subterráneo. De manera similar, en el pozo IRHS 035 - La Cara, también se identificó un déficit hídrico que comprometería la vida útil de 20 años. El análisis geofísico reveló la presencia de capas de arcilla en la mitad superior de la pantalla del pozo, permitiendo considerar la opción de una recarga artificial del acuífero con condiciones óptimas para alcanzar un 90% de eficiencia, respaldando nuevamente las conclusiones de Patton Erick M.

Por otro lado, **Rashed M.** (Rashed, 2020), que en su artículo de investigación científica titulada: “Dual function wáter level/well depth meter”, el cual traducida al español indica “Doble función medidas del nivel de agua/profundidad en pozos”. Obtuvo como resultado, que el medidor de pozos o sonda con cable graduado de 3 hilos, fabricada en acero inoxidable que presenta una longitud de 190 mm, diámetro exterior es de 14 mm; Es capaz de medir tanto el nivel de la napa freática como la profundidad hasta el fondo del pozo de forma sencilla y precisa, demostrando claramente su eficacia, precisión y durabilidad. **Esta investigación apoyó** los hallazgos de Rashed M., en la medición del nivel hídrico en condiciones transitorias, se utilizó un pozómetro o sonda modelo KM50 de la serie KMCABLE, esta herramienta, que cuenta con una sonda de 14 mm con conductores de acero inoxidable, proporcionó mediciones precisas y demostró claramente su eficacia, tal como concluyó Rashed M.

Como señala **Pacheco M.** (Pacheco et al., 2023), en su artículo científico titulado “Vertical Electrical Sounding Method to Detect Groundwater and Design of A Tubular Well for the Pampas District – Peru”, el cual traducida al español indica “Método de Sondeo Eléctrico Vertical para la Detección de Agua Subterránea y Diseño de un Pozo Tubular para el Distrito de Pampas – Perú”, en la costa norte del Perú, establece como objetivo el de parametrizar y cuantificar estas fuentes hidrogeológicas de agua; Cuyos resultados determinaron que, el nivel freático se ubica a una profundidad de 4.8 m., el pozo diseñado tiene una profundidad de 115 m, con un diámetro de perforación de 18 pulgadas y equipado con una bomba sumergible con motor de 25 HP, logrando un caudal de 1000 l/min, que cumple con el requerimiento de agua de la población. En este estudio, **se realizó una comparativa** con la presente investigación, el cual se ubica en la costa sur del Perú. Los resultados determinaron que para el pozo IRHS-035, el nivel freático se encontraba a una profundidad de 4.7 metros. El pozo diseñado tenía una profundidad total de 38 metros, con un diámetro de perforación de 18 pulgadas, y estaba equipado con una bomba sumergible de 60 HP. Este pozo logró un caudal de 2700 l/min, cumpliendo con los requerimientos de agua para la agricultura según los estándares de calidad establecidos para la Subcategoría 01: Riego de vegetales, y la Subcategoría 02: Bebida de animales, conforme al D.S. N°004-2017-



MINAM correspondiente a la Categoría 3. La comparativa permitió identificar que los pozos analizados en este estudio mostraron una productividad un 270% superior en comparación con el pozo analizado por Pacheco M. (Pacheco et al., 2023).

Así mismo, **Pari M.** (Pari Mamani, 2022), en su tesis titulada: “Diseño del sistema de bombeo de agua mediante el uso de energía fotovoltaica para suministrar al reservorio de 25m<sup>3</sup> Pomaoca, Puno”. Planteándose como objetivo principal el de efectuar el diseño del sistema de extracción del recurso hídrico desde el subsuelo, obteniendo como resultado un caudal en un rango que varía entre 4.5 y 7.5 l/s, el nivel estático se localiza a 3 metros de profundidad y el dinámico a 9 metros de profundidad, tubería de impulsión de 2 pulgadas, HDT 91.37 metros y una potencia de la electrobomba de 5 HP. Ahora bien, **hicimos la comparativa** con el presente estudio, el cual se ubica en el departamento de Moquegua, los resultados determinaron que para el pozo IRHS-045, el caudal era de 15 l/s, con un nivel estático a 22 metros de profundidad y un nivel dinámico a 34.22 metros. La tubería de impulsión era de 6 pulgadas, con una altura dinámica total (HDT) de 47.82 metros y una electrobomba con una potencia de 15 HP. Para el pozo IRHS-008, se registró un caudal de 15 l/s, un nivel estático a 1.35 metros y un nivel dinámico a 7.12 metros, utilizando una tubería de impulsión de 6 pulgadas, una HDT de 42.73 metros y una electrobomba de 15 HP. El pozo IRHS-009 mostró un caudal de 35 l/s, con un nivel estático a 2.07 metros y un nivel dinámico a 18.82 metros. La tubería de impulsión era de 8 pulgadas, con una HDT de 64.04 metros y una electrobomba de 40 HP. Finalmente, el pozo IRHS-035 presentó un caudal de 45 l/s, con un nivel estático a 4.7 metros y un nivel dinámico a 24.62 metros, utilizando una tubería de impulsión de 10 pulgadas, una HDT de 63.36 metros y una electrobomba de 60 HP. Esta comparativa permitió identificar que los pozos analizados en este estudio eran un 550% más productivos en comparación con el pozo evaluado por Pari M. (Pari Mamani, 2022).

En la opinión del **Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET et al., 2019)**, en su boletín técnico informativo titulado: “Hidrogeología de la Cuenca del Río Ilo-Moquegua, Región Moquegua”. Establece como objetivos el de llevar a cabo la cartografía hidrogeológica de la cuenca del río Ilo-Moquegua, obtuvo resultados

de la conductividad eléctrica, registrando desde un mínimo de 8.4 uS/cm hasta alcanzar un máximo de 1199.0 uS/cm (Por ejemplo, el manantial captado El Pacae muestra una conductividad de 2598 uS/cm, indicando una alta concentración de sales). Consecuentemente **se realizó una comparativa** de los resultados obtenidos en el presente estudio, para el pozo IRHS-045, se registró una conductividad de 1203.0  $\mu$ S/cm; para el pozo IRHS-008, los resultados mostraron 1046.0  $\mu$ S/cm; y para el pozo IRHS-009, se obtuvo 1031.0  $\mu$ S/cm. Sin embargo, en el pozo IRHS-035, conocido como La Cara, se registraron valores significativamente más altos de 3026  $\mu$ S/cm, lo que indica una elevada concentración de sales debido a su proximidad al litoral peruano. Estos valores exceden los estándares de calidad de agua establecidos para la Subcategoría 01, que requiere niveles menores a 2500  $\mu$ S/cm para el riego de vegetales. No obstante, cumplen con los requisitos de la Subcategoría 02, que permite niveles hasta 5000  $\mu$ S/cm para el uso de agua destinada a la bebida de animales, según lo especificado en el D.S. N°004-2017-MINAM, correspondiente a la Categoría 3. Es importante destacar que el uso del agua subterránea del pozo IRHS-035 está orientado a cultivos que no tienen contacto directo con el agua, como tubérculos bajo riego restringido, y a productos que son resistentes a las condiciones salinas, como los olivos.

En cuanto a las **bases teóricas**, se efectuó la **comparativa** del resultado obtenido para el pozo **IRHS – 045** (La Chimba N°1), que: Mediante el método de Neuman se obtuvo una transmisividad de 25.81 m<sup>2</sup>/día y un coeficiente de almacenamiento de 56.11 y mediante el método de Theis, se obtuvo una transmisividad de 26.53 m<sup>2</sup>/día y un coeficiente de almacenamiento de 88.51, visualizando la “curva de Theis” obteniéndose una variación ínfima del 2.71% para la transmisividad y del 36.61% para el coeficiente de almacenamiento, en tales métodos.

Mediante el método de Tartakovsky-Neuman, se obtuvo una transmisividad de 29.39 m<sup>2</sup>/día y un coeficiente de almacenamiento de 39.92 y mediante el método de Cooper-Jacob se determinó una transmisividad de 29.07 m<sup>2</sup>/día y un coeficiente de almacenamiento de 68.37 evidenciándose la “recta de Cooper-Jacob”, obteniéndose una variación ínfima del 1.09% para la transmisividad y del 41.61% para el coeficiente de almacenamiento, en tales métodos.

Para el pozo **IRHS – 008** (INIA N° 01), mediante el método de Neuman se obtuvo una transmisividad de 125.10 m<sup>2</sup>/día y un coeficiente de almacenamiento de 0.9678 y mediante el método de Theis, se obtuvo una transmisividad de 122.00 m<sup>2</sup>/día y un coeficiente de almacenamiento de 4.294, visualizando la “curva de Theis” obteniéndose una variación ínfima del 2.48% para la transmisividad y del 77.46% para el coeficiente de almacenamiento, en tales métodos.

Mediante el método de Tartakovsky-Neuman, se obtuvo una transmisividad de 225.40 m<sup>2</sup>/día y un coeficiente de almacenamiento de 0.01347 y mediante el método de Cooper-Jacob se determinó una transmisividad de 114.90 m<sup>2</sup>/día y un coeficiente de almacenamiento de 5.617 evidenciándose la “recta de Cooper-Jacob”, obteniéndose una variación del 49.02% para la transmisividad y del 99.76% para el coeficiente de almacenamiento, en tales métodos.

Para el pozo **IRHS – 009** (INIA N° 02), mediante el método de Neuman se obtuvo una transmisividad de 70.60 m<sup>2</sup>/día y un coeficiente de almacenamiento de 15.31 y mediante el método de Theis, se obtuvo una transmisividad de 71.34 m<sup>2</sup>/día y un coeficiente de almacenamiento de 36.15, visualizando la “curva de Theis” obteniéndose una variación ínfima del 1.04% para la transmisividad y del 57.65% para el coeficiente de almacenamiento, en tales métodos.

Mediante el método de Tartakovsky-Neuman, se obtuvo una transmisividad de 72.13 m<sup>2</sup>/día y un coeficiente de almacenamiento de 15.13 y mediante el método de Cooper-Jacob se determinó una transmisividad de 70.90 m<sup>2</sup>/día y un coeficiente de almacenamiento de 36.14 evidenciándose la “recta de Cooper-Jacob”, obteniéndose una variación ínfima del 1.71% para la transmisividad y del 58.14% para el coeficiente de almacenamiento, en tales métodos.

Para el pozo **IRHS – 035** (La Cara), mediante el método de Moench - Prickett se obtuvo una transmisividad de 121.10 m<sup>2</sup>/día y un coeficiente de almacenamiento de 0.01759 y mediante el método de Papadopulos - Cooper, se obtuvo una transmisividad de 121.20 m<sup>2</sup>/día y un coeficiente de almacenamiento de 0.3551, obteniéndose una variación ínfima del 0.08% para la transmisividad y del 95.05% para el coeficiente de almacenamiento, en tales métodos.

Mediante el método de Theis, se obtuvo una transmisividad de 121.10 m<sup>2</sup>/día y un coeficiente de almacenamiento de 0.3608, evidenciándose la “curva de Theis”, y mediante el método de Cooper-Jacob se determinó una transmisividad de 121.60 m<sup>2</sup>/día y un coeficiente de almacenamiento de 0.3498 evidenciándose la “recta de Cooper-Jacob”, obteniéndose una variación ínfima del 0.41% para la transmisividad y del 3.05% para el coeficiente de almacenamiento, en tales métodos.

Por otra parte, una de las principales **fortalezas** fue el estricto cumplimiento y la utilización de la metodología científica. Se siguieron rigurosamente los pasos propios de la investigación aplicada, empleando un diseño de investigación transeccional y un nivel de investigación descriptiva con un enfoque cuantitativo, este enfoque metodológico permitió obtener datos precisos y fiables, asegurando la validez y la replicabilidad de los resultados. **Otra fortaleza** significativa fue la elección de las muestras, asesorada por un especialista en la materia; La selección criteriosa de las muestras, aunque no aleatoria, aseguró que cada pozo evaluado aportara información relevante y representativa dentro del contexto del estudio. Esto contribuyó a optimizar los diseños de los pozos destinados a la extracción de agua subterránea, mejorando así la precisión y eficacia de las recomendaciones técnicas.

No obstante, la metodología también presentó **debilidades** (restricciones) que es necesario considerar. La cantidad limitada de muestras fue una restricción importante, ya que un aumento en el número de muestras habría incrementado el presupuesto, lo que no era viable debido a las limitaciones financieras de la tesis. Esta limitación financiera influyó en la capacidad de generalizar completamente los resultados a toda la región de Moquegua, que cuenta con 54 pozos inventariados para la extracción de agua subterránea. Con un nivel de confianza del 95% y una desviación estándar de 1.5, se requería una muestra mínima de 8 pozos para que los resultados fueran representativos y se pudiera establecer una tendencia generalizable en la región. Otra **debilidad** fue la no aleatoriedad de la muestra, ya que las 4 muestras seleccionadas no permitieron una completa representación de la variabilidad posible en la región; Aunque la elección de las muestras fue asesorada por un ingeniero hidrogeólogo especialista, esta restricción metodológica podría limitar la extrapolación de los resultados a todos los pozos de

la región. En definitiva, mientras que la metodología científica empleada durante la elaboración de la tesis demostró ser robusta y bien fundamentada en sus fundamentos teóricos y prácticos, la cantidad limitada de muestras y la no aleatoriedad de las mismas fueron restricciones importantes. Estas limitaciones destacan la necesidad de una cuidadosa consideración y planificación en futuros estudios para asegurar que las conclusiones obtenidas puedan ser generalizadas con mayor confianza y precisión.

Por otro lado, la **importancia de esta investigación** en su contexto social se evidenció a través de su capacidad para abordar la carencia de comparaciones científicas entre el diseño hidráulico al colapso y el diseño hidráulico a la compresión. Al combinar estos dos enfoques con un análisis hidrogeológico detallado, se logró asegurar una construcción eficiente y segura de pozos para la extracción de agua subterránea. Al tratar estas dos variables independientes, la investigación presentó una alternativa viable a las metodologías existentes, demostrando su efectividad en la obtención de resultados positivos.

Este método resolvió el descuido de enfoques científicos y evitó el uso de técnicas empíricas como la radiestesia en la construcción de pozos. La técnica desarrollada en la tesis permitió un diseño adecuado y racional de los pozos profundos, traduciéndose en beneficios significativos para la sociedad. Entre estos beneficios se incluyó una mejora en la calidad de vida de los usuarios del agua subterránea, mayores ingresos para los agricultores y un mejor acceso a los mercados. Además, la técnica ayudó a mitigar el déficit hídrico global, al considerar que las mayores reservas de agua dulce se encuentran en el subsuelo, después de los glaciares.

La expansión de la frontera agrícola en Moquegua representó otro resultado positivo de esta investigación, con un alcance proyectado a nivel nacional e incluso internacional. Al presentar una solución científicamente fundamentada, la investigación subrayó la falta de comparaciones previas entre los diseños al colapso y a la compresión, lo que constituyó una innovación relevante. Este enfoque no solo redujo los costos y minimizó las fallas, sino que también disminuyó los tiempos de implementación, ofreciendo beneficios prácticos y medibles. En definitiva, esta investigación tuvo un impacto significativo tanto social como

técnicamente, proporcionando una solución innovadora y efectiva para la construcción de pozos de agua subterránea. Su implementación mejoró la eficiencia y seguridad de estos sistemas, ofreciendo una herramienta esencial para abordar el déficit hídrico global y aumentando la sostenibilidad y resiliencia de las comunidades que dependen del agua subterránea.

Además, el **aporte de esta investigación a la ingeniería** se manifestó al llenar un vacío existente en el ámbito del diseño hidráulico de pozos, particularmente en la comparación entre el diseño al colapso y el diseño a la compresión. Hasta la fecha, no se habían realizado comparaciones exhaustivas entre estos dos enfoques. La investigación demostró que, cuando se complementaron con un análisis hidrogeológico riguroso, ambos métodos garantizaron la construcción correcta y óptima de pozos destinados a la extracción de agua subterránea.

El desconocimiento y la falta de metodologías comparativas hasta ahora había resultado en elevados costos de construcción y perforación de pozos. Al introducir una alternativa de solución, la investigación propuso un diseño de pozos profundos que optimizó tanto los costos como los tiempos de implementación, reduciendo así las fallas y mejorando la eficiencia operativa. Este enfoque tuvo un alcance significativo, tanto a nivel nacional como internacional, dado que ofreció una solución técnica frente al creciente déficit hídrico provocado por el cambio climático.

El estudio no solo profundizó en la comprensión de la estructura y comportamiento de los materiales implicados en la construcción de pozos, sino que también sentó las bases para futuras investigaciones y aplicaciones prácticas en hidrogeología. Además, la optimización del diseño correcto de pozos profundos se tradujo en beneficios económicos directos para los usuarios, generando efectos positivos en la economía local y regional. Los agricultores, por ejemplo, experimentaron mayores ingresos debido a una mejor gestión del recurso hídrico, lo que a su vez facilitó un acceso más amplio a los mercados.

En términos de impacto social, la investigación promovió la sostenibilidad y resiliencia de las comunidades dependientes del agua subterránea, ofreciendo una herramienta valiosa para enfrentar el desafío global del déficit hídrico. La implementación de esta metodología no solo resultó en una reducción de costos y

tiempos, sino que también proporcionó un diseño más responsable y eficiente, contribuyendo a la mejora de la calidad de vida de los beneficiarios.

En definitiva, el aporte de esta investigación a la ingeniería fue significativo, al proporcionar una alternativa científicamente fundamentada y efectiva para el diseño de pozos profundos. Este enfoque innovador no solo mejoró la eficiencia y seguridad de los sistemas de extracción de agua subterránea, sino que también ofreció una solución práctica y escalable para abordar los desafíos hídricos globales.

También, el **aporte a la ingeniería** es el tener la consideración de efectuar la anidación del material extraído durante la perforación del pozo profundo, debido a que fueron alteradas durante tal proceso, para tal efecto se deberá corregir dicha granulometría mediante la anidación para un correcto diseño del paquete de gravas o prefiltro, tal como se hizo en los pozos analizados.

## VI. CONCLUSIONES

**Con respecto al objetivo 1:** En síntesis, la investigación demostró cómo los parámetros hidrogeológicos influyeron en el diseño hidráulico de pozos profundos. Se analizaron varios pozos, incluyendo el IRHS-045 (La Chimba N°1) con una profundidad inicial de 40 metros, que se extendió a 60 metros tras el análisis geofísico. Se registró un caudal de 15 l/s, niveles estático y dinámico de 22 m y 34.22 m respectivamente, y una conductividad hidráulica de 1.615 m/día. El pozo tuvo un tiempo de recuperación de 240 minutos y se concluyó que era un acuífero libre, recomendándose tubería de acero de bajo carbono. La transmisividad fue de 29.07 m<sup>2</sup>/día y el coeficiente de almacenamiento 68.37, según el método de Cooper-Jacob.

El pozo IRHS-008 (INIA N°1) con una profundidad inicial de 20 metros mostró estratos indicativos de depósitos fluvioaluviales saturados, permitiendo perforar hasta 80 metros. Registró un caudal de 15 l/s, niveles estático y dinámico de 1.35 m y 7.12 m respectivamente, y una conductividad hidráulica de 6.185 m/día. Con un tiempo de recuperación de 210 minutos, se concluyó que era un acuífero libre, recomendándose tubería de acero inoxidable. La transmisividad fue de 115.34 m<sup>2</sup>/día y el coeficiente de almacenamiento de 6.185.

El pozo IRHS-009 (INIA N°2) con una profundidad inicial de 40 metros permitió perforar hasta 100 metros, registrando un caudal de 35 l/s, niveles estático y dinámico de 2.07 m y 18.82 m respectivamente, y una conductividad hidráulica de 1.87 m/día. El tiempo de recuperación fue de 780 minutos, siendo un acuífero libre y recomendándose tubería de acero de bajo carbono. La transmisividad fue de 70.90 m<sup>2</sup>/día y el coeficiente de almacenamiento de 36.14.

El pozo IRHS-035 (La Cara) con una profundidad inicial de 38 metros permitió extender la perforación hasta 50 metros, registrando un caudal de 45 l/s, niveles estático y dinámico de 4.70 m y 24.62 m respectivamente, y una conductividad hidráulica de 3.652 m/día. Con un tiempo de recuperación de 780 minutos, se concluyó que era un acuífero libre, recomendándose tubería de acero inoxidable. La transmisividad fue de 121.60 m<sup>2</sup>/día y el coeficiente de almacenamiento de 0.3498.



En todos los casos, la curvatura de las gráficas tiempo-abatimiento y los valores de transmisividad y almacenamiento confirmaron la clasificación de los acuíferos como libres, descartando la presencia de acuíferos confinados. La eficiencia de los pozos fue variada, destacando el IRHS-009 (INIA N°2) con una eficiencia del 93.21%. La selección de materiales para las tuberías, acero inoxidable o de bajo carbono, se basó en la calidad del agua y los requisitos específicos de cada pozo, considerando factores como la conductividad eléctrica, pH, y presencia de compuestos que incrementan la corrosión.

La eficiencia del pozo IRHS – 045 (La Chimba N°1) es del 74.88%.

La eficiencia del pozo IRHS – 008 INIA N° 01 es del 71.28%

La eficiencia del pozo IRHS – 009 INIA N° 02 es del 93.21%

La eficiencia del pozo IRHS – 035 (La Cara) es del 61.92%

La eficiencia del pozo IRHS-35, que fue del 61.92%, sustentó los hallazgos sobre su vida útil proyectada, indicando que no alcanzaría la proyección estimada de 20 años. Un pozo eficiente debería tener una eficiencia en el rango del 70% al 80% o superior.

Para determinar el material de las tuberías en los pozos, se optó por acero inoxidable en los pozos IRHS-008 INIA N°1 e IRHS-035 - La Cara, mientras que se seleccionó acero de bajo carbono para los pozos IRHS-045 (La Chimba N°1) e IRHS-009 INIA N°2. Esta elección se basó en un análisis detallado de la calidad del agua y las necesidades específicas de cada pozo. Se observó que una alta conductividad eléctrica, como los 3026  $\mu\text{S}/\text{cm}$  registrados en el pozo IRHS-035, y un pH bajo, como el de 6.14 en el pozo IRHS-008, aumentan la probabilidad de oxidación de los metales. Además, la presencia de oxígeno disuelto, compuestos orgánicos que causan coloración, boro, magnesio, cloruro y nitrato en el agua contribuye a la corrosión y formación de incrustaciones en las tuberías. En particular, se detectaron altos niveles de cloruro (675.4 mg/L) en el pozo IRHS-035 y de nitrato (26.16 mg/L) en el pozo IRHS-008, lo que incrementa los riesgos de corrosión y justifica la selección del material adecuado para las tuberías.

**Con respecto al objetivo 2:** Se demostró de manera concluyente la relación entre los diseños hidráulicos por colapso y compresión mediante la evaluación de esfuerzos aplicados y resistencias en cada pozo.

Para el pozo IRHS-045 (La Chimba N°1), la resistencia a la tracción registrada fue de 4,781.70 kN (diseño a la compresión), superando significativamente el esfuerzo aplicado de 1,600 kN (diseño al colapso). La resistencia a la compresión alcanzó los 2,390.85 kN, superando el esfuerzo aplicado de 795.06 kN, cumpliendo así con el diseño de la sección y características especificadas.

En el pozo IRHS-008 (INIA N°1), la resistencia a la tracción fue de 6,147.90 kN (diseño a la compresión), superando el esfuerzo aplicado de 833.68 kN (diseño al colapso). La resistencia a la compresión fue de 3,073.95 kN, superando el esfuerzo aplicado de 383.49 kN, cumpliendo con el diseño especificado.

Para el pozo IRHS-009 (INIA N°2), se registró una resistencia a la tracción de 4,781.70 kN (diseño a la compresión), superando el esfuerzo aplicado de 1,350.00 kN (diseño al colapso). La resistencia a la compresión alcanzó los 2,390.85 kN, superando el esfuerzo aplicado de 576.44 kN, cumpliendo con el diseño de la sección y características indicadas.

En el pozo IRHS-035 (La Cara), la resistencia a la tracción fue de 4,762.46 kN (diseño a la compresión), superando el esfuerzo aplicado de 1,230.00 kN (diseño al colapso). La resistencia a la compresión fue de 2,910.39 kN, superando el esfuerzo aplicado de 517.28 kN, cumpliendo con el diseño especificado.

Considerando una vida útil mínima de 20 años y los niveles piezométricos históricos, se determinaron los descensos totales previstos (condiciones transitorias).

Para el pozo IRHS-045 (La Chimba N°1), el descenso previsto es de 64 metros. La tomografía eléctrica indicó una profundidad máxima de 60 metros (profundidad actual de 40 metros). Para garantizar una vida útil de 20 años, el pozo debería profundizarse 24 metros adicionales o limitar el bombeo a 2 horas diarias, ya que

en las condiciones actuales duraría solo 16 años o a partir del cual se deberá efectuar una recarga artificial.

Para el pozo IRHS-008 (INIA N°1), el descenso previsto es de 18 metros. La tomografía eléctrica indicó una profundidad máxima de 80 metros (profundidad actual de 20 metros), garantizando que el pozo siga siendo óptimo en 20 años con el diseño actual.

Para el pozo IRHS-009 (INIA N°2), el descenso previsto es de 35 metros. La tomografía eléctrica indicó una profundidad máxima de 100 metros (profundidad actual de 40 metros), asegurando una producción óptima en 20 años con el diseño actual.

Para el pozo IRHS-035 (La Cara), el descenso previsto es de 48 metros. La tomografía eléctrica indicó una profundidad máxima de 50 metros (profundidad actual de 38 metros). Para garantizar una vida útil de 20 años, el pozo debería profundizarse 10 metros adicionales o efectuar una recarga artificial, ya que las condiciones hidrogeológicas están al límite.

Estos datos y pruebas hidrogeológicas fueron concluyentes y necesarios para garantizar una vida útil mínima de 20 años. Este respaldo subraya la importancia crítica de abordar minuciosamente estos factores durante la planificación y ejecución de proyectos de explotación de aguas subterráneas en pozos profundos.

**Con respecto al objetivo 3:** se demostró de manera concluyente que, mediante el análisis hidrogeológico y los diseños hidráulicos por colapso y compresión, se identificaron de manera precisa los criterios necesarios para el estudio hidrogeológico. Se evaluaron las características de los acuíferos en términos de productividad, caudal, recuperación, transmisividad, coeficiente de almacenamiento y conductividad hidráulica, proporcionando una visión integral del comportamiento hidráulico de los pozos analizados.

Estos resultados facilitaron el diseño hidráulico considerando tanto las condiciones de colapso como de compresión, determinando los esfuerzos actuantes bajo cargas dinámicas y los esfuerzos admisibles. Además, se identificaron los estratos que

componen los acuíferos, lo que permitió definir la granulometría del paquete de gravas o prefiltro. Con estos criterios, se determinaron las características y materiales óptimos para el diseño final de los pozos y del sistema de bombeo, asegurando una vida útil mínima de 20 años.

Para el pozo IRHS-045 (La Chimba N°1), se encontró una granulometría del acuífero con un coeficiente de uniformidad (Cu) de 50.50, corregida a 25.25. La granulometría del prefiltro tuvo un Cu de 1.85, con grava de 4 a 7 mm, abertura del filtro de 1.466 mm, ademe de 18 pulgadas, perforación de 21 pulgadas, tubería de impulsión de 6 pulgadas, HDT de 47.82 m y una electrobomba de 15 HP.

Para el pozo IRHS-008 (INIA N°1), la granulometría del acuífero tuvo un Cu de 44.79, corregida a 55.21. El prefiltro tuvo un Cu de 1.38, con grava de 6 a 9 mm, abertura del filtro de 1.39 mm, ademe de 18 pulgadas, perforación de 21 pulgadas, tubería de impulsión de 6 pulgadas, HDT de 42.73 m y una electrobomba de 15 HP.

En el pozo IRHS-009 (INIA N°2), la granulometría del acuífero tuvo un Cu de 37.28, corregida a 28.01. El prefiltro tuvo un Cu de 2.22, con grava de 4 a 10 mm, abertura del filtro de 1.76 mm, ademe de 18 pulgadas, perforación de 21 pulgadas, tubería de impulsión de 8 pulgadas, HDT de 64.04 m y una electrobomba de 40 HP.

Para el pozo IRHS-035 (La Cara), la granulometría del acuífero tuvo un Cu de 50.41, corregida a 17.87. El prefiltro tuvo un Cu de 1.93, con grava de 4 a 8 mm, abertura del filtro de 1.45 mm, ademe de 15 pulgadas, perforación de 18 pulgadas, tubería de impulsión de 10 pulgadas, HDT de 63.36 m y una electrobomba de 60 HP.

En todos los pozos, se identificó la presencia de golpe de ariete, por lo que se planificó el uso de válvulas de cierre lento para reducir gradualmente el caudal de retorno, evitando daños a las tuberías y accesorios. Además, se decidió implementar un variador de frecuencia para controlar la potencia de la bomba, proporcionando protección adicional contra el golpe de ariete.

Este enfoque buscó mitigar el déficit hídrico y aumentar los rendimientos en la producción agrícola, demostrando la importancia de abordar minuciosamente estos

factores en la planificación y ejecución de proyectos de explotación de aguas subterráneas en pozos profundos. Los pozos que se diseñaron y construyeron adecuadamente garantizaron un suministro de agua seguro, confiable y rentable.

La inversión en un diseño de pozo adecuado, utilizando materiales de alta calidad, prácticas de construcción apropiadas y un mantenimiento preventivo eficaz, permitirá recuperar el costo total de construcción del pozo a lo largo del tiempo.

## **VII. RECOMENDACIONES**

Se recomienda llevar a cabo un estudio hidrogeológico detallado del acuífero en el que se planeaba construir los pozos para la explotación de los recursos hídricos subterráneos.

Se recomienda aplicar de manera coherente los enfoques del diseño hidráulico tanto para el colapso como para la compresión en la construcción de pozos destinados a la explotación de recursos hídricos subterráneos.

Se recomendaba realizar un monitoreo regular del nivel piezométrico del pozo, así como llevar a cabo análisis fisicoquímicos y bacteriológicos del agua extraída, con una frecuencia mínima de dos veces al año. Este seguimiento se recomienda particularmente durante la temporada de estiaje, que abarca desde marzo hasta diciembre según el alcance y ubicación del presente estudio.

Concluido el proceso de perforación, se recomienda llevar a cabo una prueba de rendimiento que abarque un periodo no menor a 72 horas. El propósito principal de esta prueba es facilitar la selección de un equipo de bombeo apropiado, así como determinar el caudal óptimo para la explotación eficiente del pozo. Recomendándose también que la toma de niveles durante los 10 primeros minutos, sea cada 01 minuto; Entre los 10 y 20 minutos siguientes, cada 02 minutos; Entre los 20 y 50 minutos siguientes, cada 05 minutos; Entre los 50 y 120 minutos siguientes, cada 10 minutos; Entre los 120 y 180 minutos siguientes, cada 20 minutos; Entre los 180 y 240 minutos siguientes, cada 30 minutos; Después de los 240 minutos, cada 60 minutos.

Una vez finalizada la etapa de perforación, se recomienda llevar a cabo un adecuado proceso de desarrollo del pozo, además de la aplicación de agentes químicos para promover la dispersión de las partículas adheridas a las paredes del pozo.

Se recomienda la construcción de una estructura protectora o estación de bombeo para todo pozo profundo.

Se recomienda la construcción de piezómetros, con el objetivo de controlar los descensos de la carga hidráulica.

Se recomienda la profundización de 24 metros adicionales del pozo IRHS-045 (La Chimba N°1), para garantizar una vida productiva útil mínima de 20 años.

Se recomienda la profundización de 10 metros adicionales del pozo IRHS-035 (La Cara), para garantizar una vida productiva útil mínima de 20 años.

Se recomienda que el diámetro mínimo de los pozos fuera de 6 pulgadas para asegurar su durabilidad a largo plazo.

Se recomienda efectuar la anidación del material extraído durante la perforación del pozo profundo, debido a que fueron alteradas durante tal proceso, para tal efecto se deberá corregir dicha granulometría mediante la anidación para un correcto diseño del paquete de gravas o prefiltro.

## REFERENCIAS

- Al-Zubari, W., Al-Shaabani, A., & Abdulhameid, N. (2023). Spatial Optimization of the Groundwater Quality Monitoring Network in the Kingdom of Bahrain. *Water*, 15(12), 2169. <https://doi.org/10.3390/w15122169>
- American Water Works Association (ANSI/AWWA) A100-06. (2006). AWWA Standard for water wells A100-06. *AMERICAN NATIONAL STANDARD*. [www.awwa.org](http://www.awwa.org)
- American Water Works Association (ANSI/AWWA) A100-97. (1998, February 1). AWWA Standard for water wells A100-97. *AMERICAN NATIONAL STANDARD*. [www.awwa.org](http://www.awwa.org)
- American Water Works Association (AWWA). (2014). *Groundwater - Manual of Water Supply Practices M21* (M. Valentine, M. Beach, & C. Armstrong, Eds.; Fourth Edition, Vol. 4th). American Water Works Association. [www.awwa.org](http://www.awwa.org)
- Autoridad Nacional del Agua (ANA). (2022). *LEY DE LOS RECURSOS HÍDRICOS LEY N° 29338*. [www.ana.gob.pe](http://www.ana.gob.pe)
- Avilés, J., & Pérez Rocha, L. E. (2014). *CRITERIOS DE DISEÑO SÍSMICO DE TÚNELES* (Issue 1).
- Azevedo Netto, J. M., Fernandez y Fernandez, M., De Araujo, R., & Eiji Ito, A. (2005). *MANUAL DE HIDRAULICA*.
- Bobet, A. (2011). COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE TÚNELES. In *Accidentes e Infraestructura Civil* (Vol. 12, Issue 1).
- Brinkgreve, R. B. J., Al-Khoury, R., Bakker, K. J., Bonnier, P. G., Broere, W., Burd, H. J., Soltys, G., Vermeer, P. A., Gesto, J. M., & Gens, A. (2002). *PLAXIS* (Plaxis 8.2 Professional versión.). PLAXIS B.V. <http://www.plaxis.nl>
- Cabrera, A., Blarasin, M., & Maldonado, L. (2014). *EDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA* (E. Berruti, J. L. Ammann, D. Prado, M. Brito, & D. Ferniot, Eds.; Primera Edición). Unirio editora. [www.unrc.edu.ar/unrc/editorial.cdc](http://www.unrc.edu.ar/unrc/editorial.cdc)



- Centro Nacional de Planeamiento Estratégico (CEPLAN). (2023). *Estudio prospectivo sobre el estrés hídrico y la inseguridad alimentaria en el Perú*. [www.ceplan.gob.pe](http://www.ceplan.gob.pe)
- Chapman, C. H. (2004). *FUNDAMENTALS OF SEISMIC WAVE PROPAGATION*. Cambridge University Press. [www.cambridge.org/9780521815383](http://www.cambridge.org/9780521815383)
- Comisión Nacional del Agua, (CONAGUA). (2019). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento - Rehabilitación de Pozos*. [www.conagua.gob.mx](http://www.conagua.gob.mx)
- Comisión Nacional del Agua (México). (2007). *PRUEBAS DE BOMBEO*. CONAGUA. [www.cna.gob.mx](http://www.cna.gob.mx)
- Costantini, M., Colin, J., & Decharme, B. (2023). Projected Climate-Driven Changes of Water Table Depth in the World's Major Groundwater Basins. *Earth's Future*, 11(3). <https://doi.org/10.1029/2022EF003068>
- Daneshvar, F., Frankenberger, J. R., Bowling, L. C., Cherkauer, K. A., & Moraes, A. G. de L. (2021). Development of Strategy for SWAT Hydrologic Modeling in Data-Scarce Regions of Peru. *Journal of Hydrologic Engineering*, 26(7). [https://doi.org/10.1061/\(asce\)he.1943-5584.0002086](https://doi.org/10.1061/(asce)he.1943-5584.0002086)
- Delleur, J. W. (2007). *THE HANDBOOK OF GROUNDWATER ENGINEERING* (R. A. Jaramillo, H. Boonstra, E. Daly, P. J. Botek, S. Assouline, J. D. Bredehoeft, D. Condappa, P. M. Barlow, B. R. Christopher, J. Bear, J. J. de Vries, D. L. Corwin, M. H. Berman, S. Debionne, E. R. Blatchley III, & J. H. Cushman, Eds.; 2nd ed.). Taylor & Francis Group. <http://www.taylorandfrancis.com>
- Duffield, G. M. (2007). *AQTESOLV*. HydroSOLVE, Inc. <http://www.aqtesolv.com/>
- Flores-Quispe, E. L., Flores-Condori, E., & Huaquisto-Cáceres, S. (2022). Regionalization of Maximum Daily Rain in Moquegua Perú. *Revista Científica de La UCSA*, 9(2), 43–57. <https://doi.org/10.18004/ucsa/2409-8752/2022.009.02.043>

- Fornés Azcoiti, J. M. (2019). LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS EN LA LEGISLACIÓN IBEROAMERICANA: RETOS Y OPORTUNIDADES. *Instituto Geológico y Minero de España*. [www.igme.es](http://www.igme.es)
- Gao, Y., Cao, W., Zhang, Y., Cao, G., & Zhao, X. (2023). Investigation of high-speed deep well pump performance with different outlet setting angle of space diffuser. *Frontiers in Energy Research*, 10. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2022.1072901>
- García Trisolini, E. (2009). Manual de proyectos de agua potable en poblaciones rurales. *FONDO PERU - ALEMANIA*, 30–33.
- Giles, R. V., Evett, J. B., & Liu, C. (1994). *Fluid Mechanics and Hydraulics: Vol. Third Edition* (D. Beckwith, Ed.; 3th ed.). The McGraw Hill.
- INACAL NTP 360.100. (2017). NTP 360.100\_AGUAS SUBTERRÁNEAS. Pozo tubular. Proyecto de pozo tubular para captación de agua subterránea. *1era Edición*, Art. R.D. N° 057-2017-INACAL/DN. [www.inacal.gob.pe](http://www.inacal.gob.pe)
- INACAL NTP 360.101. (2018). NTP 360.101\_AGUAS SUBTERRÁNEAS. Pozo tubular. Construcción de pozo tubular para captación de agua subterránea. *1era Edición*, Art. R.D. N° 043-2018-INACAL/DN. [www.inacal.gob.pe](http://www.inacal.gob.pe)
- INGEMMET, Ng Cutipa, W. L., Peña Laureano, F., Acosta Pereira, H., & Lima, P. (2019). *INGEMMET, Boletín Serie H: Hidrogeología de la Cuenca del Río Ilo-Moquegua (13172), Región Moquegua*.
- Johnson, E. E. (1966). THE GROUNDWATER AND WELLS. In *Biblioteca del Congreso, Tarjeta de Clasificación Numero 66-29629* (Primera Edición). Johnson División, UOP Inc.
- Keith Todd, D. (2005). Groundwater Hydrology. *John Wiley & Sons, Inc., Third Edition*. [http://water.usgs.gov/pubs/circ/circ1186/html/gw\\_effect.html](http://water.usgs.gov/pubs/circ/circ1186/html/gw_effect.html)
- Kruseman, G. P., & Ridder, N. A. D. (Nicolaas A. (1990). *Analysis and evaluation of pumping test data* (Second Edition, Vol. 2th). International Institute for Land Reclamation and Improvement.

- List, E. J. (1983). *Analysis of Development Methods for Gravel Envelope Wells*.  
<https://www.roscoemoss.com/wp-content/uploads/publications/admg.pdf>
- Maidment David R. (1993). *HANDBOOK OF HYDROLOGY*. *McGRAW-HILL, INC.*  
<https://www.amazon.com/-/es/David-Maidment/dp/0070397325>
- Manilla Aceves, A. A. (2003). *GEOFÍSICA APLICADA EN LOS PROYECTOS BÁSICOS DE INGENIERÍA CIVIL*.
- Martos Rosillo, S., Barón Périz, A., Guardiola Albert, C., Martínez Parra, M., García Ruíz, T., Domínguez Sánchez, J. A., Cantudo Muñoz, Á., Hernández Bravo, J. A., Iglesias López, A., Comino Martínez, J. D., Iglesias Carreras, M., Carceller Layel, T., Martínez Sánchez de la Nieta, A. N., Pérez Paricio, A., Pujadas Ferrer, J., & Sahuquillo, A. (2022). *GUÍA DE BUENAS PRÁCTICAS PARA EL DISEÑO, CONSTRUCCIÓN, SELLADO Y CLAUSURA DE POZOS DE CAPTACIÓN DE AGUA SUBTERRÁNEA*.
- Mcgillicuddy, K., & Moss Roscoe Company. (2019). *Advancements in Well Design Techniques and Well Screen Hydraulics*. <https://www.roscoemoss.com/>
- McLaughlan, R. G. (2014). *Hydraulics of Wells: Design, Construction, Testing, and Maintenance of Water Well - Chapter 5 corrosion of water wells*.  
<http://ebookcentral.proquest.com/lib/uts/d>
- Méndez Calderón, M. C. (2023). El Agua Dulce, un recurso geoestratégico visto desde la perspectiva de la hidropolítica. *Multiverso Journal*, 3(4), 20–28.  
<https://doi.org/10.46502/issn.2792-3681/2023.4.2>
- Michael, A. M., Khepar, S. D., Tech, M., Roorkee, M. E., & Sondhi, S. K. (2013). *Water Wells and Pumps* (2nd Edition).  
<https://www.accessengineeringlibrary.com/content/book/9780070657069>
- Missteart, B., Banks, D., & Clark, L. (2017). *Water Wells and Boreholes*.  
[www.wileyurope.com](http://www.wileyurope.com)

- Moss Roscoe. (1999). CORROSION FIELD TEST OF STEELS COMMONLY USED IN WELL CASING AND SCREEN. *Geoscience Support Services, Inc.* <https://www.roscoemoss.com/>
- Moss Roscoe. (2021a). *A Guide To Water Well Casing and Screen Selection A Note About Roscoe Moss Company.* <https://www.roscoemoss.com/>
- Moss Roscoe. (2021b). *Louver Grid: Technical Information.* <https://www.roscoemoss.com/>
- Moss Roscoe, Jr. (1990). *Handbook of Ground Water Development* (G. E. Moss, Ed.). <https://www.roscoemoss.com/>
- Naciones Unidas (UN). (2022). *World Population Prospects 2022 Summary of Results.*
- Narvaez-Montoya, C., Torres-Martínez, J. A., Pino-Vargas, E., Cabrera-Olivera, F., Loge, F. J., & Mahlkecht, J. (2022). Predicting adverse scenarios for a transboundary coastal aquifer system in the Atacama Desert (Peru/Chile). *Science of the Total Environment*, 806. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150386>
- Ng, W. L., Peña, F., & Sulca, P. (2011). *HIDROGEOQUÍMICA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN LA CUENCA DEL RÍO ILO-MOQUEGUA-PERÚ.*
- OMS, O. M. de la Salud., & UNATSABAR, U. de A. T. para el S. B. del Á. Rural. (2005). *GUÍAS PARA EL DISEÑO DE ESTACIONES DE BOMBEO DE AGUA POTABLE.*
- Orhan, N. (2023). Effect of Different Screen Types on Head Loss in Deep Wells Used for Irrigation. *Turkish Journal of Civil Engineering.* <https://doi.org/10.18400/tjce.1265480>
- Pacheco, M. D. P. C., Flores, J. A. C., Salvador, D. J. J., & Capcha, T. M. (2023). Vertical Electrical Sounding Method to Detect Groundwater and Design of A Tubular Well for the Pampas District – Peru. *Civil Engineering and Architecture*, 11(4), 1984–2006. <https://doi.org/10.13189/cea.2023.110423>

- Pari Mamani, R. (2022). *Diseño del sistema de bombeo de agua mediante el uso de energía fotovoltaica para suministrar al reservorio de 25m3 Pomaoca, Puno.*
- Patton, E. M., Adam, C., Steward, D. R., & Datta, S. (2023). Effect of low-permeability layers on vadose well recharge rates. *Groundwater for Sustainable Development*, 21. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2023.100938>
- Rashed, M. (2020). Dual-function water-level/well-depth meter. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, 152. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2019.107326>
- Reyna, T. (2010). *HIDROLOGIA Y PROCESOS HIDRAULICOS - HIDROGEOLOGIA.*
- Rodríguez, D. F. (2015). *ESTUDIO DE TÉCNICAS ELÉCTROMAGNÉTICAS DE PROSPECCIÓN DEL SUBSUELO.*
- Rossum, J. R. (2021). *Fundamentals of Metallic Corrosion in Fresh Water.* <https://www.roscoemoss.com/wp-content/uploads/publications/fmcf.pdf>
- Salmoral, G., Viñarta Carbó, A., Zegarra, E., Knox, J. W., & Rey, D. (2020). Reconciling irrigation demands for agricultural expansion with environmental sustainability - A preliminary assessment for the Ica Valley, Peru. *Journal of Cleaner Production*, 276. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123544>
- Sánchez, F. J. (2022). *Hidráulica de captaciones: Fundamentos.* <http://hidrologia.usal.es>Pág.1
- Sterrett, R. J. (2007). *Groundwater & Wells* (Third Edition). Johnson Screens a Weatherford Company.
- US Army Corps of Engineers. (2012). *Well Pumps & Well Design.*
- Van Tuan, P., Zhou, Y., Stigter, T., Van Tuc, D., Hai, D. H., & Vuong, B. T. (2023). Design of preliminary groundwater monitoring networks for the coastal Tra Vinh province in Mekong Delta, Vietnam. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 47. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2023.101425>

- Velasco, A., & Capilla, J. E. (2019). Hydrogeological characterization and assessment of anthropic impacts in the Lower Piura Sub-basin Aquifer in Peru. *Hydrogeology Journal*, 27(8), 2755–2773. <https://doi.org/10.1007/s10040-019-02027-7>
- Vélez Otálvaro, M. V. (1999). *Hidráulica de aguas subterráneas*. Escuela de Geociencias y Medio Ambiente.
- Villanueva Martínez, M., & Iglesias López, A. (1984). *POZOS Y ACUÍFEROS - TÉCNICAS DE EVALUACIÓN MEDIANTE ENSAYOS DE BOMBEO* (J. Abad Fernández, Ed.). Instituto Geológico y Minero de España.
- Walton, W. C. (1962). *Selected Analytical Methods for Well and Aquifer Evaluation*.
- Wang, P., Li, J., An, P., Yan, Z., Xu, Y., & Pu, S. (2023). Enhanced delivery of remedial reagents in low-permeability aquifers through coupling with groundwater circulation well. *Journal of Hydrology*, 618. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.129260>
- Werner, J. (1996). *Introducción a la Hidrogeología*.
- Williams, D. E., & Moss Roscoe. (1985). *Modern Techniques in Well Design*. <https://www.roscoemoss.com/>

## **ANEXOS**

---

---

**ANEXO ( 1 )**

**MATRIZ DE CONSISTENCIA**

---

---



Tema: “Análisis hidrogeológico y diseño hidráulico comparativo por colapso y compresión, en pozos profundos, para fines agrícolas en Moquegua, 2023”

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA
<p><b>• PROBLEMA GENERAL</b> ¿En qué medida la evaluación hidrogeológica y la comparación de diseños hidráulicos mediante los enfoques de colapso y compresión, favorecen para que los pozos profundos puedan estar preparados ante la intervención de fuerzas dinámicas y fijas, evitando su colapso, y al mismo tiempo garantizando una vida útil mínima de 20 años?</p>	<p><b>• OBJETIVO GENERAL</b> Realizar el análisis hidrogeológico, efectuando el cálculo (analizando) y comparando el diseño hidráulico por colapso y compresión, en pozos profundos que extraen agua subterránea, para que éstos logren permanecer preparados ante la intervención de fuerzas dinámicas y fijas, con fines de garantizar una vida útil mínima de 20 años, a través de la implementación de ambos enfoques de diseño.</p>	<p><b>• HIPÓTESIS GENERAL</b> Debido a la aplicación del análisis hidrogeológico y la comparación del diseño hidráulico por colapso y compresión, en pozos profundos que extraen agua subterránea, se conocerá qué método contribuye para que éstos puedan estar preparados ante la intervención de fuerzas dinámicas y fijas, garantizando una vida útil mínima de 20 años.</p>	<p><b>• VARIABLE INDEPENDIENTE 1</b> Análisis Hidrogeológico y Diseño Hidráulico por Colapso</p>	Hidrogeología	Coeficiente de almacenamiento Transmisividad Perfil estratigráfico	Razón
				Estabilidad torsional	Deformación Diámetro Espesor de tubería	Razón
			<p><b>• VARIABLE INDEPENDIENTE 2</b> Análisis Hidrogeológico y Diseño Hidráulico por Compresión</p>	Hidrogeología	Coeficiente de almacenamiento Transmisividad Perfil estratigráfico	Razón
				Estabilidad vertical	Resistencia de la tubería Longitud Granulometría del filtro	Razón
<p><b>• PROBLEMA ESPECÍFICO 1</b> ¿Qué factores y aspectos se toman en cuenta al llevar a cabo la evaluación hidrogeológica de pozos profundos que extraen agua subterránea, y que impactan en la formulación de los diseños basados en los</p>	<p><b>• OBJETIVO ESPECÍFICO 1</b> Evidenciar cómo los parámetros y consideraciones utilizados para llevar a cabo la evaluación hidrogeológica de pozos profundos, que captan aguas subterráneas, ejercen influencia en el diseño hidráulico basado en el colapso y en la compresión.</p>	<p><b>• HIPÓTESIS ESPECÍFICA 1</b> Los parámetros y consideraciones a tener en cuenta al llevar a cabo la evaluación hidrogeológica de pozos profundos que extraen agua subterránea, ejercen impacto en la configuración definitiva mediante los enfoques de diseño basados en colapso y compresión.</p>	<p><b>• VARIABLE DEPENDIENTE POZOS PROFUNDOS</b></p>	<p>Rendimiento o Desempeño del Acuífero</p>	Caudal	Razón
					Potencia de la bomba	Razón
					Nivel Dinámico	Razón

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA
principios de colapso y compresión?						
<p><b>• PROBLEMA ESPECÍFICO 2</b> ¿Qué relación existe entre el diseño hidráulico por colapso y el diseño hidráulico por compresión, en pozos profundos que extraen agua subterránea, que contribuyen en garantizar una vida útil mínima de 20 años?</p>	<p><b>• OBJETIVO ESPECÍFICO 2</b> Demostrar la relación que existe entre el diseño hidráulico por colapso y el diseño hidráulico por compresión, en pozos profundos que extraen agua subterránea, que contribuyen en garantizar una vida útil mínima de 20 años</p>	<p><b>• HIPÓTESIS ESPECÍFICA 2</b> La relación entre el diseño hidráulico por colapso y el diseño hidráulico por compresión, en pozos profundos que extraen agua subterránea, salvaguardarán una vida útil mínima de 20 años.</p>		Prospecciones geofísicas	Nivel Freático	Intervalo
<p><b>• PROBLEMA ESPECÍFICO 3</b> ¿En qué medida la evaluación hidrogeológica y el contraste de diseños hidráulicos utilizando los enfoques de colapso y compresión, aportan en la optimización de la extracción de agua subterránea en pozos profundos, para contrarrestar el déficit hídrico y mejorar los niveles de producción agrícola en el valle de Moquegua, 2023?</p>	<p><b>• OBJETIVO ESPECÍFICO 3</b> Identificar los criterios del análisis hidrogeológico y diseño hidráulico comparativo por colapso y compresión, contribuyen en la optimización de la extracción de agua subterránea en pozos profundos, para contrarrestar el déficit hídrico y mejorar los niveles de producción agrícola en el valle de Moquegua, 2023</p>	<p><b>• HIPÓTESIS ESPECÍFICA 3</b> En el caso de llevar a cabo la evaluación hidrogeológica y el diseño hidráulico comparativo utilizando los enfoques de colapso y compresión, se anticipa un rendimiento positivo en la mejora de la eficiencia de la extracción de aguas subterráneas en pozos profundos, para contrarrestar el déficit hídrico y mejorar los niveles de producción agrícola en el valle de Moquegua, 2023.</p>		Estándares de Calidad Ambiental del Agua	Parámetros Físico - Químico, Inorgánicos, Microbiológicos y Parasitológicos del Agua	Intervalo
				Tiempo de vida útil (años)	Durabilidad	Intervalo

---

## **ANEXO ( 2 )**

# **MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN**

---

Tema: "Análisis hidrogeológico y diseño hidráulico comparativo por colapso y compresión, en pozos profundos, para fines agrícolas en Moquegua, 2023"

VARIABLES		DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA
VARIABLE INDEPENDIENTE	Análisis Hidrogeológico y Diseño Hidráulico por COLAPSO	<p>El análisis hidrogeológico es una disciplina científica fundamental para comprender y evaluar los recursos hídricos subterráneos. Este proceso implica el estudio detallado de la geología, la hidrología y la hidroquímica de un área determinada para caracterizar su comportamiento hidrogeológico. Uno de los aspectos cruciales en el análisis hidrogeológico es el diseño hidráulico, que se centra en la planificación y construcción de infraestructuras para el aprovechamiento y gestión adecuada de los recursos hídricos, empleando los criterios establecidos en la asociación científica American Water Works Association (<b>AWWA</b>), norma técnica peruana NTP 360.100 2017 y NTP 360.101 2018. El diseño hidráulico implica considerar factores como la disponibilidad de agua subterránea, las tasas de recarga, la calidad del agua y la interacción con el medio ambiente. El Diseño hidráulico por colapso es un método numérico para el cálculo de resistencias en base a los esfuerzos admisibles vinculantes al colapso radial de las tuberías o ademes, por la aplicación de esfuerzos estáticos y dinámicos, los estáticos son las columnas de agua y los esfuerzos actuantes de la formación geológica, mientras que, el sismo y el</p>	<p>La hidrogeología, se define como la disciplina que estudia la distribución, movimiento y comportamiento del agua subterránea en formaciones geológicas específicas. Para operacionalizar este concepto, se considera el coeficiente de almacenamiento (S), que representa la capacidad de almacenar agua en un acuífero. La transmisividad, por otro lado, juega un papel crucial al describir la capacidad de un material geológico para transmitir el flujo de agua. Al analizar la hidrogeología, se examina detenidamente el perfil estratigráfico de las formaciones geológicas, identificando capas y estructuras que influyen en la recarga y descarga del agua subterránea. Este enfoque integral permite comprender la interacción compleja entre el agua y las formaciones geológicas, proporcionando información esencial para la gestión sostenible de los recursos hídricos y la planificación de proyectos ingenieriles asociados a las aguas subterráneas.</p>	Hidrogeología	<p>Coeficiente de almacenamiento</p> <p>Transmisividad</p> <p>Perfil estratigráfico</p>	Razón
		<p>El Análisis Hidrogeológico y Diseño Hidráulico por Colapso, se refiere a la evaluación exhaustiva de las condiciones geológicas y la capacidad hidráulica de estructuras subterráneas, centrándose en la estabilidad torsional y el potencial de colapso. La estabilidad torsional se analiza considerando el comportamiento deformacional debido al momento torsional generado por las ondas de corte en un ángulo torsional específico. En este contexto, el diámetro y el espesor de la tubería son factores críticos, ya que influyen directamente en la capacidad de resistencia a la deformación y determinan la eficiencia hidráulica de la estructura. Este enfoque integrado busca garantizar un</p>	Estabilidad torsional	<p>Deformación</p> <p>Diámetro</p> <p>Espesor de tubería</p>	Razón	

VARIABLES		DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA
		<p>movimientos del paquete de grava son los esfuerzos dinámicos.</p> <p>Las características físicas del material, diámetro, espesor de la tubería y la tolerancia de fabricación del tubo, así como las variaciones de estos elementos, afectan directamente a la resistencia al colapso del tubo (<b>Sterrett, 2007</b>).</p>	<p>diseño hidráulico robusto, considerando las variables geológicas y estructurales, para prevenir potenciales colapsos y asegurar la durabilidad y funcionalidad de las infraestructuras hidráulicas.</p>			
	Análisis Hidrogeológico y Diseño Hidráulico por COMPRESIÓN	<p>El análisis hidrogeológico es una disciplina científica fundamental para comprender y evaluar los recursos hídricos subterráneos. Este proceso implica el estudio detallado de la geología, la hidrología y la hidroquímica de un área determinada para caracterizar su comportamiento hidrogeológico. Uno de los aspectos cruciales en el análisis hidrogeológico es el diseño hidráulico, que se centra en la planificación y construcción de infraestructuras para el aprovechamiento y gestión adecuada de los recursos hídricos, empleando los criterios establecidos en la asociación científica American Water Works Association (<b>AWWA</b>), norma técnica peruana NTP 360.100 2017 y NTP 360.101 2018. El diseño hidráulico</p>	<p>La hidrogeología, se define como la disciplina que estudia la distribución, movimiento y comportamiento del agua subterránea en formaciones geológicas específicas. Para operacionalizar este concepto, se considera el coeficiente de almacenamiento (S), que representa la capacidad de almacenar agua en un acuífero. La transmisividad, por otro lado, juega un papel crucial al describir la capacidad de un material geológico para transmitir el flujo de agua. Al analizar la hidrogeología, se examina detenidamente el perfil estratigráfico de las formaciones geológicas, identificando capas y estructuras que influyen en la recarga y descarga del agua subterránea. Este enfoque integral permite comprender la interacción compleja entre el agua y las formaciones geológicas, proporcionando información esencial para la gestión sostenible de los recursos hídricos y la planificación de proyectos ingenieriles asociados a las aguas subterráneas.</p>	Hidrogeología	<p>Coeficiente de almacenamiento</p> <p>Transmisividad</p> <p>Perfil estratigráfico</p>	Razón

VARIABLES		DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA
		<p>implica considerar factores como la disponibilidad de agua subterránea, las tasas de recarga, la calidad del agua y la interacción con el medio ambiente. El Diseño hidráulico por compresión es un método numérico para el cálculo de resistencias en base a los esfuerzos admisibles debido a la formación geológica y un deficiente proceso constructivo. La causa principal del pandeo (falla) de la tubería debido a las presiones de compresión es la longitud prolongada de la rejilla colocada en un pozo profundo abierto sin soporte lateral (<b>Sterrett, 2007</b>). La menor sección transversal de la rejilla del pozo la hace mucho más sensible al pandeo. (<b>Roscoe Moss, 1990</b>).</p>	<p>El Análisis Hidrogeológico y Diseño Hidráulico por Compresión se centra en la evaluación minuciosa de la estabilidad vertical de estructuras subterráneas, considerando la resistencia de la tubería frente a fuerzas compresivas. Esta metodología aborda aspectos fundamentales como la longitud de la tubería y la granulometría del filtro, elementos cruciales para garantizar la integridad de la estructura. La estabilidad vertical se refiere a la capacidad de la infraestructura para resistir cargas compresivas, asegurando su funcionamiento óptimo y evitando colapsos. La resistencia de la tubería, evaluada en conjunto con la longitud y la granulometría del filtro, se convierte en un componente esencial para diseñar sistemas hidráulicos robustos que soporten eficientemente las condiciones de compresión a las que pueden estar expuestos. Este enfoque integral en el análisis hidrogeológico y diseño hidráulico por compresión busca asegurar la durabilidad y eficacia de las infraestructuras subterráneas.</p>	Estabilidad vertical	<p>Resistencia de la tubería</p> <p>Longitud</p> <p>Granulometría del filtro</p>	Razón
VARIABLE DEPENDIENTE	POZOS PROFUNDOS	<p>Los pozos profundos son estructuras hidráulicas que apropiadamente diseñadas, calculadas y construidas propicia realizar la extracción óptima y el ahorro presupuestal durante el aprovechamiento del recurso hídrico subterráneo presente en la conformación del acuífero. Cuan convenientemente se consigue dicho objetivo, primordialmente depende de los siguientes 03 criterios:</p>	<p>Los pozos profundos juegan un rol primordial en la extracción de agua subterránea para abastecimiento hídrico. El rendimiento o desempeño del acuífero es clave en la evaluación de la capacidad de un pozo para suministrar agua de manera sostenible. Este rendimiento se determina mediante parámetros como el caudal, la potencia de la bomba y los niveles estático y dinámico del agua. Antes de la construcción de un pozo, se realizan prospecciones geofísicas para identificar las</p>	Rendimiento o Desempeño del Acuífero	Caudal	Razón
					Potencia de la bomba	Razón
					Nivel Dinámico	Razón
				Prospecciones geofísicas	Nivel Freático	Intervalo

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Una utilización perspicaz de los principios de la hidráulica en el análisis de los pozos profundos y del comportamiento del acuífero.</li> <li>• La habilidad y experiencia al perforar y construir los pozos profundos, lo que proporciona tomar provecho del entorno geológico.</li> <li>• Una selección tal de los materiales que asegure una larga vida útil de la estructura.</li> </ul> <p>Los fundamentos de la hidráulica de pozos profundos deben ser comprendidos tanto por la persona que diseña los pozos como por la que los construye. Pocos ingenieros dominan por completo este tema, ya que puede suponer un reto. Es imposible analizar el régimen de flujo en algunas circunstancias geológicas y acuíferas debido a su complejidad.</p> <p><b>(E. JOHNSON, 1975)</b></p>	<p>propiedades del subsuelo y evaluar la existencia del recurso hídrico subterráneo. El nivel freático y los criterios de calidad medioambiental del recurso hídrico son considerados para asegurar su aptitud para el uso agrícola. Se analizan aspectos microbiológicos, inorgánicos, físico-químicos y parasitológicos para asegurar su adecuación.</p> <p>La durabilidad de los pozos profundos es un factor crítico. Se evalúa su vida útil, considerando los materiales utilizados, la corrosión y el mantenimiento adecuado. Los pozos profundos son infraestructuras vitales para el suministro de agua, por lo que es imperativo que su planificación, ejecución y funcionamiento se ajusten a los estándares más elevados de excelencia.</p> <p>En conclusión, los pozos profundos desempeñan un papel clave en el aprovechamiento de los recursos hídricos subterráneos. Su diseño y construcción consideran aspectos como el rendimiento del acuífero, los estándares de calidad del agua y los parámetros hidrogeológicos. La durabilidad y el mantenimiento adecuado garantizan un suministro de agua confiable y sostenible a lo largo del tiempo.</p>	Estándares de Calidad Ambiental del Agua	Parámetros Físico - Químico, Inorgánicos, Microbiológicos y Parasitológicos del Agua	Intervalo
			Tiempo de vida útil (años)	Durabilidad	Intervalo

---

**ANEXO ( 3 )**

**INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE  
DATOS**

---





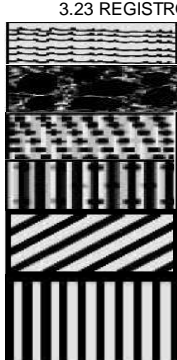
## I. DATOS GENERALES

- 1.1 PROYECTO DE INVESTIGACIÓN: "Análisis Hidrogeológico y Diseño Hidráulico Comparativo por Colapso y Compresión, en Pozos Profundos, para fines agrícolas en Moquegua, 2023"
- 1.2 INVESTIGADOR:
- 1.2.1 NOMBRES Y APELLIDOS: Bach. Boris Leonardo Aranda Huacan
- 1.2.2 DNI: 70615488
- 1.2.3 CÓDIGO ORCID: 0009-0006-9621-8347

## II. DATOS ESPECÍFICOS

- 2.1 NOMBRE DEL POZO: La Chimba N°1
- 2.2 CODIGO INRENA: IRHS-045
- 2.3 UBICACIÓN:
- 2.3.1 UBICACIÓN POLÍTICA
- 2.3.1.1 DEPARTAMENTO: Moquegua
- 2.3.1.2 PROVINCIA: Mariscal Nieto
- 2.3.1.3 DISTRITO: Moquegua
- 2.3.1.4 SECTOR: La Chimba - Santa Rosa
- 2.3.2 UBICACIÓN GEOGRÁFICA
- 2.3.2.1 ESTE UTM: 292722
- 2.3.2.2 NORTE UTM: 8099636
- 2.3.2.3 COTA: 1350 m.s.n.m.

## III. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA ESTRUCTURA DEL POZO PROFUNDO

- 3.1 TIPO DE POZO: a) Tubular Profundo para bombeo, b) Artesiano, c) Artesanal, d) Mixto
- 3.2 TIPO DE PERFORACIÓN: a/b) a) Percusión, b) Rotativa, c) Diamantina, d) Circulación Reversa, e) Cuchara Hidráulica.
- 3.3 EXTRACCIÓN DE AGUA: a) a) Convencional (Electrobomba), b) Por Gravedad, c) Energía Solar, d) Energía Eólica
- 3.4 MATERIAL CONSTRUCCIÓN: d) a) Acero inoxidable, b) Fibra de Vidrio, c) PVC, d) Acero al Carbono, e) Concreto, f) Hierro fundido
- 3.5 CONDICIÓN ACTUAL: a) a) Operativo, b) Inoperativo, c) En Reposo
- 3.6 ESTADO ACTUAL: c\*) a) Optimo, b) Bueno, c) Regular, d) Malo, e) Deplorable (\* Por rendimiento)
- 3.7 AÑO DE CONSTRUCCIÓN: 1983
- 3.8 PROFUNDIDAD: 40.00 metros
- 3.9 VOLUMEN DEL POZO: 8.94 metro cubico
- 3.10 MARCA DEL MOTOR: Delcrosa
- 3.11 POTENCIA DEL MOTOR: 15 HP
- 3.12 FILTRO ARTIFICIAL (PREFILTRO): Grava Seleccionada
- De: 15 metros
- Hasta: 40 metros
- 3.13 TRANSMISIÓN DE ENERGÍA: Red Eléctrica
- Transformador: Existe
- Tablero de Control Eléctrico: Existe c/variador frec.
- Acometida al Transformador: Existe
- Acometida a Estación de Bombeo: Existe
- 3.14 DISEÑO DE FILTRO:
- Espesor: 1/4 pulgada (6.35 mm)
- Diámetro: 18 pulgadas (0.4572 m)
- Diseño de 0.00 a 20.00: Tub. Ciega
- Diseño de 20.00 a 25.00: Tub. Ranurada (Filtro)
- Diseño de 25.00 a 30.00: Tub. Ciega
- Diseño de 30.00 a 40.00: Tub. Ranurada (Filtro)
- 3.15 NIVEL FREÁTICO: 22.00 metros
- 3.16 DIAMETRO: 0.5334 metros
- 3.17 ÁREA DEL POZO: 0.223 metros cuadrados
- 3.18 CAUDAL: 15 l/s
- 3.19 TIPO DE MOTOR: Eléctrico
- 3.20 BOMBA: Sumergida
- 3.21 MARCA DE LA BOMBA: Hidrostral
- 3.22 TIPO DE RED: Trifásica
- 3.23 REGISTRO GEOLOGICO:
- Logueo
- 0.00 - 1.00 m: Suelo Orgánico. Permeable
- 1.00 - 20.00 m: Sedimento aluvial conformado por conglomerado de grava, arena, limos y arcillas. Permeable.
- 20.00 - 40.00 m: Areniscas sedimentarias de grano fino, cementadas por alteración argílica intermedia (Montmorillonita).
- 



## I. DATOS GENERALES

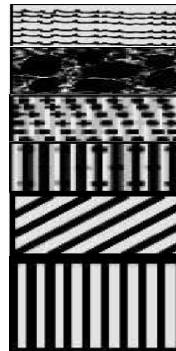
- 1.1 PROYECTO DE INVESTIGACIÓN: "Análisis Hidrogeológico y Diseño Hidráulico Comparativo por Colapso y Compresión, en Pozos Profundos, para fines agrícolas en Moquegua, 2023"
- 1.2 INVESTIGADOR:
- 1.2.1 NOMBRES Y APELLIDOS: Bach. Boris Leonardo Aranda Huacan
- 1.2.2 DNI: 70615488
- 1.2.3 CÓDIGO ORCID: 0009-0006-9621-8347

## II. DATOS ESPECÍFICOS

- 2.1 NOMBRE DEL POZO: INIA N° 01
- 2.2 CODIGO INRENA: IRHS - 008
- 2.3 UBICACIÓN:
- 2.3.1 UBICACIÓN POLÍTICA
- 2.3.1.1 DEPARTAMENTO: Moquegua
- 2.3.1.2 PROVINCIA: Mariscal Nieto
- 2.3.1.3 DISTRITO: Moquegua
- 2.3.1.4 SECTOR: INIA - Santa Rosa
- 2.3.2 UBICACIÓN GEOGRÁFICA
- 2.3.2.1 ESTE UTM: 290784
- 2.3.2.2 NORTE UTM: 8096850
- 2.3.2.3 COTA: 1261 m.s.n.m.

## III. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA ESTRUCTURA DEL POZO PROFUNDO

- 3.1 TIPO DE POZO: a) Tubular Profundo para bombeo, b) Artesiano, c) Artesanal, d) Mixto
- 3.2 TIPO DE PERFORACIÓN: a/b) a) Percusión, b) Rotativa, c) Diamantina, d) Circulación Reversa, e) Cuchara Hidráulica.
- 3.3 EXTRACCIÓN DE AGUA: a) a) Convencional (Electrobomba), b) Por Gravedad, c) Energía Solar, d) Energía Eólica
- 3.4 MATERIAL CONSTRUCCIÓN: a) a) Acero inoxidable, b) Fibra de Vidrio, c) PVC, d) Acero al Carbono, e) Concreto, f) Hierro fundido
- 3.5 CONDICIÓN ACTUAL: a) a) Operativo, b) Inoperativo, c) En Reposo
- 3.6 ESTADO ACTUAL: b\*) a) Optimo, b) Bueno, c) Regular, d) Malo, e) Deplorable (\* Por rendimiento)
- 3.7 AÑO DE CONSTRUCCIÓN: 1983
- 3.8 PROFUNDIDAD: 20.00 metros
- 3.9 VOLUMEN DEL POZO: 4.47 metro cubico
- 3.10 MARCA DEL MOTOR: Delcrosa
- 3.11 POTENCIA DEL MOTOR: 15 HP
- 3.12 FILTRO ARTIFICIAL (PREFILTRO): Grava Seleccionada
- De: 7.5 metros
- Hasta: 20 metros
- 3.13 TRANSMISIÓN DE ENERGÍA: Red Eléctrica
- Transformador: Existe
- Tablero de Control Eléctrico: Existe c/variador frec.
- Acometida al Transformador: Existe
- Acometida a Estación de Bombeo: Existe
- 3.14 DISEÑO DE FILTRO: Acero Inoxidable
- Espesor: 1/4 pulgada (6.35 mm)
- Diámetro: 18 pulgadas (0.4572 m)
- Diseño de 0.00 a 12.00: Tub. Ciega
- Diseño de 12.00 a 20.00: Tub. Ranurada (Filtro)
- 3.15 NIVEL FREÁTICO: 1.35 metros
- 3.16 DIAMETRO: 0.5334 metros
- 3.17 ÁREA DEL POZO: 0.223 metros cuadrados
- 3.18 CAUDAL: 15 l/s
- 3.19 TIPO DE MOTOR: Eléctrico
- 3.20 BOMBA: Sumergida
- 3.21 MARCA DE LA BOMBA: Hidrostral
- 3.22 TIPO DE RED: Trifásica
- 3.23 REGISTRO GEOLOGICO:
- 0.00 - 1.00 m: Suelo Orgánico. Permeable
- 1.00 - 20.00 m: Sedimento aluvial conformado por conglomerado de grava, arena, limos y arcillas. Permeable.
- 20.00 - 40.00 m: Areniscas sedimentarias de grano fino, cementadas por alteración argílica intermedia (Montmorillonita).





ID del Documento:	UCV-B53-001-03
Fecha:	2023
Documento:	FICHA TÉCNICA DE OBSERVACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE POZOS DE AGUA

**I. DATOS GENERALES**

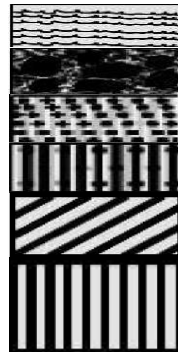
1.1 PROYECTO DE INVESTIGACIÓN:	"Análisis Hidrogeológico y Diseño Hidráulico Comparativo por Colapso y Compresión, en Pozos Profundos, para fines agrícolas en Moquegua, 2023"
1.2 INVESTIGADOR:	
1.2.1 NOMBRES Y APELLIDOS:	Bach. Boris Leonardo Aranda Huacan
1.2.2 DNI:	70615488
1.2.3 CÓDIGO ORCID:	0009-0006-9621-8347

**II. DATOS ESPECÍFICOS**

2.1 NOMBRE DEL POZO:	INIA N° 02
2.2 CODIGO INRENA:	IRHS - 009
2.3 UBICACIÓN:	
2.3.1 UBICACIÓN POLÍTICA:	
2.3.1.1 DEPARTAMENTO:	Moquegua
2.3.1.2 PROVINCIA:	Mariscal Nieto
2.3.1.3 DISTRITO:	Moquegua
2.3.1.4 SECTOR:	INIA – Santa Rosa
2.3.2 UBICACIÓN GEOGRÁFICA:	
2.3.2.1 ESTE UTM:	290596
2.3.2.2 NORTE UTM:	8096401
2.3.2.3 COTA:	1250 m.s.n.m

**III. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA ESTRUCTURA DEL POZO PROFUNDO**

3.1 TIPO DE POZO:	a) Tubular Profundo para bombeo, b) Artesiano, c) Artesanal, d) Mixto
3.2 TIPO DE PERFORACIÓN:	a / b) a) Percusión, b) Rotativa, c) Diamantina, d) Circulación Reversa, e) Cuchara Hidráulica.
3.3 EXTRACCIÓN DE AGUA:	a) a) Convencional (Electrobomba), b) Por Gravedad, c) Energía Solar, d) Energía Eólica
3.4 MATERIAL CONSTRUCCIÓN:	d) a) Acero inoxidable, b) Fibra de Vidrio, c)PVC, d) Acero al Carbono, e) Concreto, f) Hierro fundido
3.5 CONDICIÓN ACTUAL:	a) a) Operativo, b) Inoperativo, c) En Reposo
3.6 ESTADO ACTUAL:	b* a) Optimo, b) Bueno, c) Regular, d) Malo, e) Deplorable (* Por rendimiento)
3.7 AÑO DE CONSTRUCCIÓN:	1983
3.8 PROFUNDIDAD:	40.00 metros
3.9 VOLUMEN DEL POZO:	8.94 metro cubico
3.10 MARCA DEL MOTOR:	Delcrosa
3.11 POTENCIA DEL MOTOR:	40 HP
3.12 FILTRO ARTIFICIAL (PREFILTRO):	Grava Seleccionada
De:	10 metros
Hasta:	40 metros
3.13 TRANSMISIÓN DE ENERGÍA:	Red Eléctrica
Transformador:	Existe
Tablero de Control Eléctrico:	Existe c/variador frec.
Acometida al Transformador:	Existe
Acometida a Estación de Bombeo:	Existe
3.14 DISEÑO DE FILTRO:	Fierro Fundido
Espesor:	1/4 pulgada (6.35 mm)
Diámetro:	18 pulgadas (0.4572 m)
Diseño de 0.00 a 20.00:	Tub. Ciega
Diseño de 20.00 a 40.00:	Tub. Ranurada (Filtro)
3.15 NIVEL FREATICO:	2.07 metros
3.16 DIAMETRO:	0.5334 metros
3.17 ÁREA DEL POZO:	0.223 metros cuadrados
3.18 CAUDAL:	35 l/s
3.19 TIPO DE MOTOR:	Eléctrico
3.20 BOMBA:	Sumergida
3.21 MARCA DE LA BOMBA:	Hidrostal
3.22 TIPO DE RED:	Trifásica
3.23 REGISTRO GEOLOGICO:	Logueo



0.00 - 1.00 m	Suelo Orgánico. Permeable
1.00 - 20.00 m	Sedimento aluvial conformado por conglomerado de grava, arena, limos y arcillas. Permeable.
20.00 - 40.00 m	Areniscas sedimentarias de grano fino, cementadas por alteración argílica intermedia (Montmorillonita).



## I. DATOS GENERALES

1.1 PROYECTO DE INVESTIGACIÓN:

**"Análisis Hidrogeológico y Diseño Hidráulico Comparativo por Colapso y Compresión, en Pozos Profundos, para fines agrícolas en Moquegua, 2023"**

1.2 INVESTIGADOR:

1.2.1 NOMBRES Y APELLIDOS:

Bach. Boris Leonardo Aranda Huacan

1.2.2 DNI:

70615488

1.2.3 CÓDIGO ORCID:

0009-0006-9621-8347

## II. DATOS ESPECÍFICOS

2.1 NOMBRE DEL POZO:

La Cara

2.2 CODIGO INRENA:

IRHS-035

2.3 UBICACIÓN:

2.3.1 UBICACIÓN POLÍTICA

2.3.1.1 DEPARTAMENTO:

Moquegua

2.3.1.2 PROVINCIA:

Ilo

2.3.1.3 DISTRITO:

El Algarrobal

2.3.1.4 SECTOR:

La Cara

2.3.2 UBICACIÓN GEOGRÁFICA

2.3.2.1 ESTE UTM:

254065

2.3.2.2 NORTE UTM:

8050334

2.3.2.3 COTA:

31 m.s.n.m.

## III. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA ESTRUCTURA DEL POZO PROFUNDO

3.1 TIPO DE POZO:

**a**) Tubular Profundo para bombeo, **b**) Artesiano, **c**) Artesanal, **d**) Mixto

3.2 TIPO DE PERFORACIÓN:

**a / b**) Percusión, **b**) Rotativa, **c**) Diamantina, **d**) Circulación Reversa, **e**) Cuchara Hidráulica.

3.3 EXTRACCIÓN DE AGUA:

**a**) Convencional (Electrobomba), **b**) Por Gravedad, **c**) Energía Solar, **d**) Energía Eólica

3.4 MATERIAL CONSTRUCCIÓN:

**a**) Acero inoxidable, **b**) Fibra de Vidrio, **c**) PVC, **d**) Acero al Carbono, **e**) Concreto, **f**) Hierro fundido

3.5 CONDICIÓN ACTUAL:

**c**) Operativo, **b**) Inoperativo, **c**) En Reposo

3.6 ESTADO ACTUAL:

**b\***) **a**) Optimo, **b**) Bueno, **c**) Regular, **d**) Malo, **e**) Deplorable (\* Por rendimiento)

3.7 AÑO DE CONSTRUCCIÓN:

1983

3.15 NIVEL FREÁTICO:

4.70 metros

3.8 PROFUNDIDAD:

38.00 metros

3.16 DIAMETRO:

0.4572 metros

3.9 VOLUMEN DEL POZO:

6.24 metro cubico

3.17 ÁREA DEL POZO:

0.164 metros cuadrados

3.10 MARCA DEL MOTOR:

Delcrosa

3.18 CAUDAL:

45 l/s

3.11 POTENCIA DEL MOTOR:

60 HP

3.19 TIPO DE MOTOR:

Eléctrico

3.12 FILTRO ARTIFICIAL (PREFILTRO):

Grava Seleccionada

3.20 BOMBA:

Sumergida

De: 7 metros

3.21 MARCA DE LA BOMBA:

Hidrostal

Hasta: 38 metros

3.13 TRANSMISIÓN DE ENERGÍA:

Red Eléctrica

3.22 TIPO DE RED:

Trifásica

Transformador:

Existe

Tablero de Control Eléctrico:

Existe c/variador frec.

Acometida al Transformador:

Existe

Acometida a Estación de Bombeo:

Existe

3.14 DISEÑO DE FILTRO:

Acero inoxidable

Espesor: 1/4 pulgada (6.35 mm)

Diámetro: 15 pulgadas (0.381 m)

Diseño de 0.00 a 7.00:

Tub. Ciega

Diseño de 7.00 a 17.00:

Tub. Ranurada (Filtro)

Diseño de 17.00 a 20.00:

Tub. Ciega

Diseño de 20.00 a 32.00:

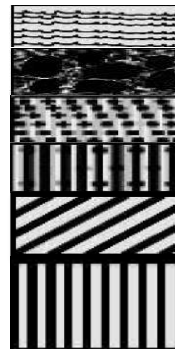
Tub. Ranurada (Filtro)

Diseño de 32.00 a 38.00:

Tub. Ciega

3.23 REGISTRO GEOLOGICO:

Logueo



0.00 - 1.00 m

1.00 - 20.00 m

20.00 - 40.00 m

Suelo orgánico, depósitos eólicos, acumulación de arenas sueltas. Permeable.

Sedimento aluvial conformado por conglomerado de grava, arena fina, media y gruesa, limos y arcillas. Permeable.

Depósitos marinos compuestos por gravas, arenas, bloques sub angulosos, areniscas sedimentarias de grano fino, cementadas por alteración argilica intermedia (montmorillonita).

---

---

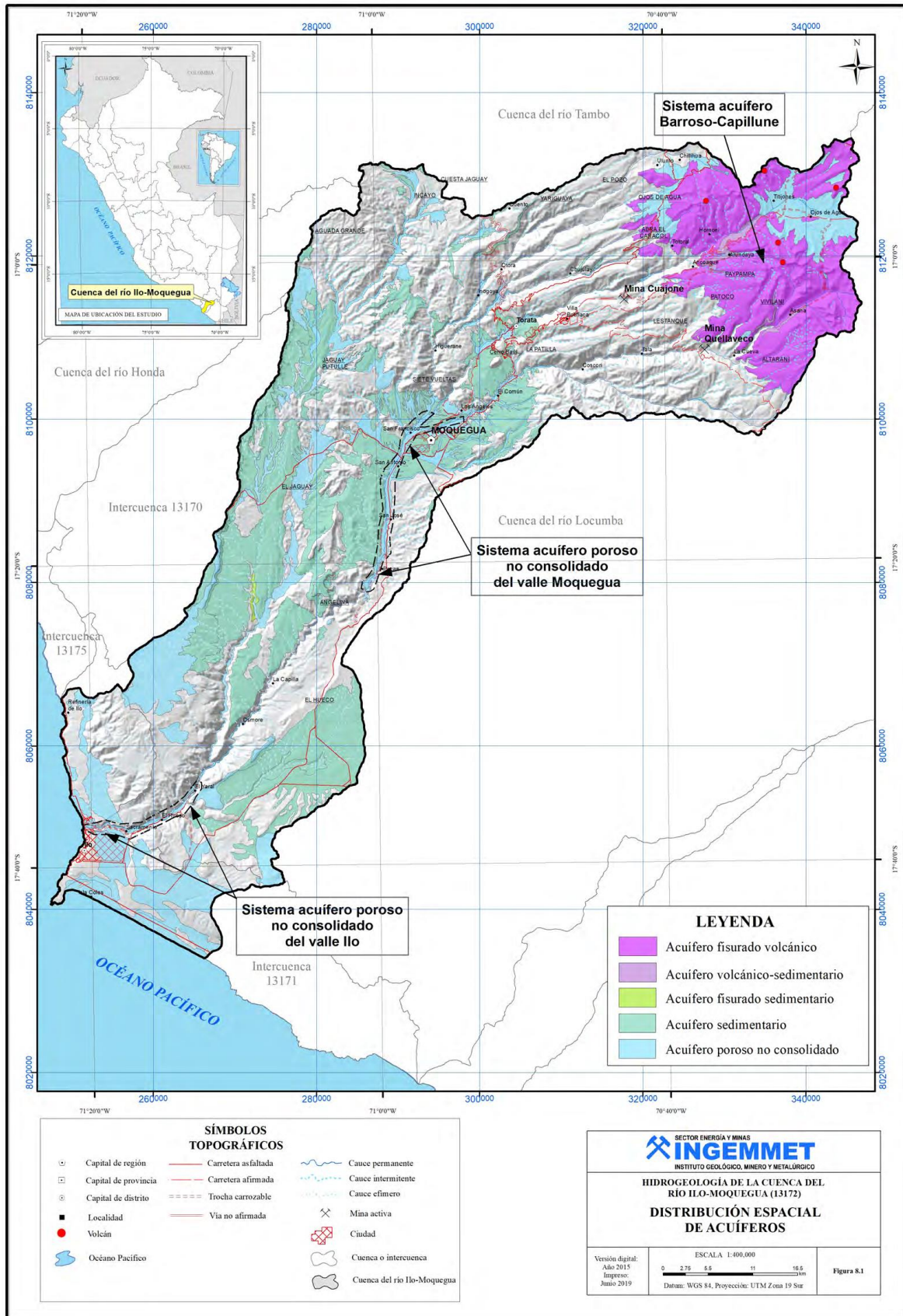
**ANEXO ( 4 )**

**PLANOS HIDROGEOLÓGICOS**

---

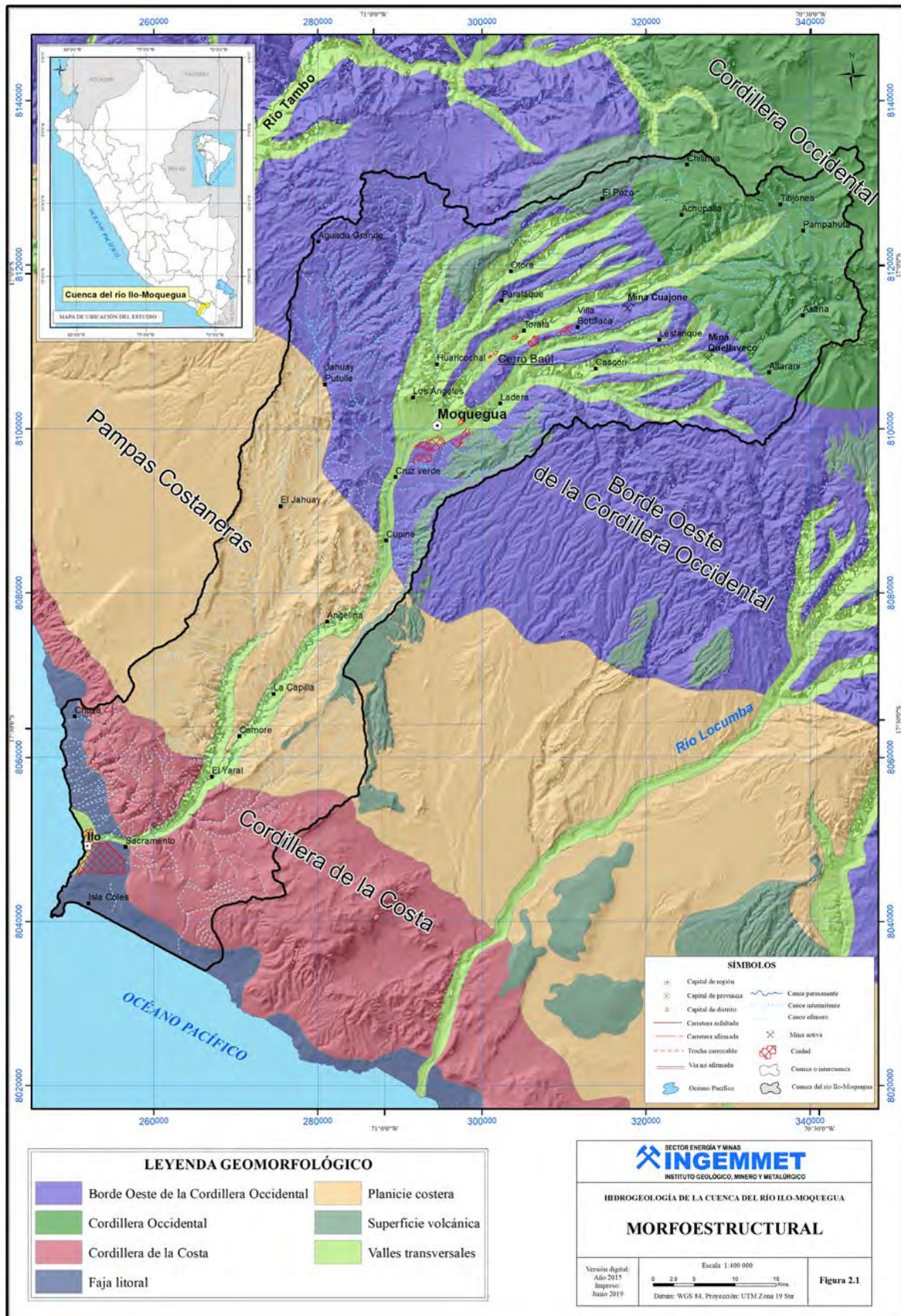
---

Distribución espacial de los acuíferos en la cuenca del río Ilo – Moquegua.



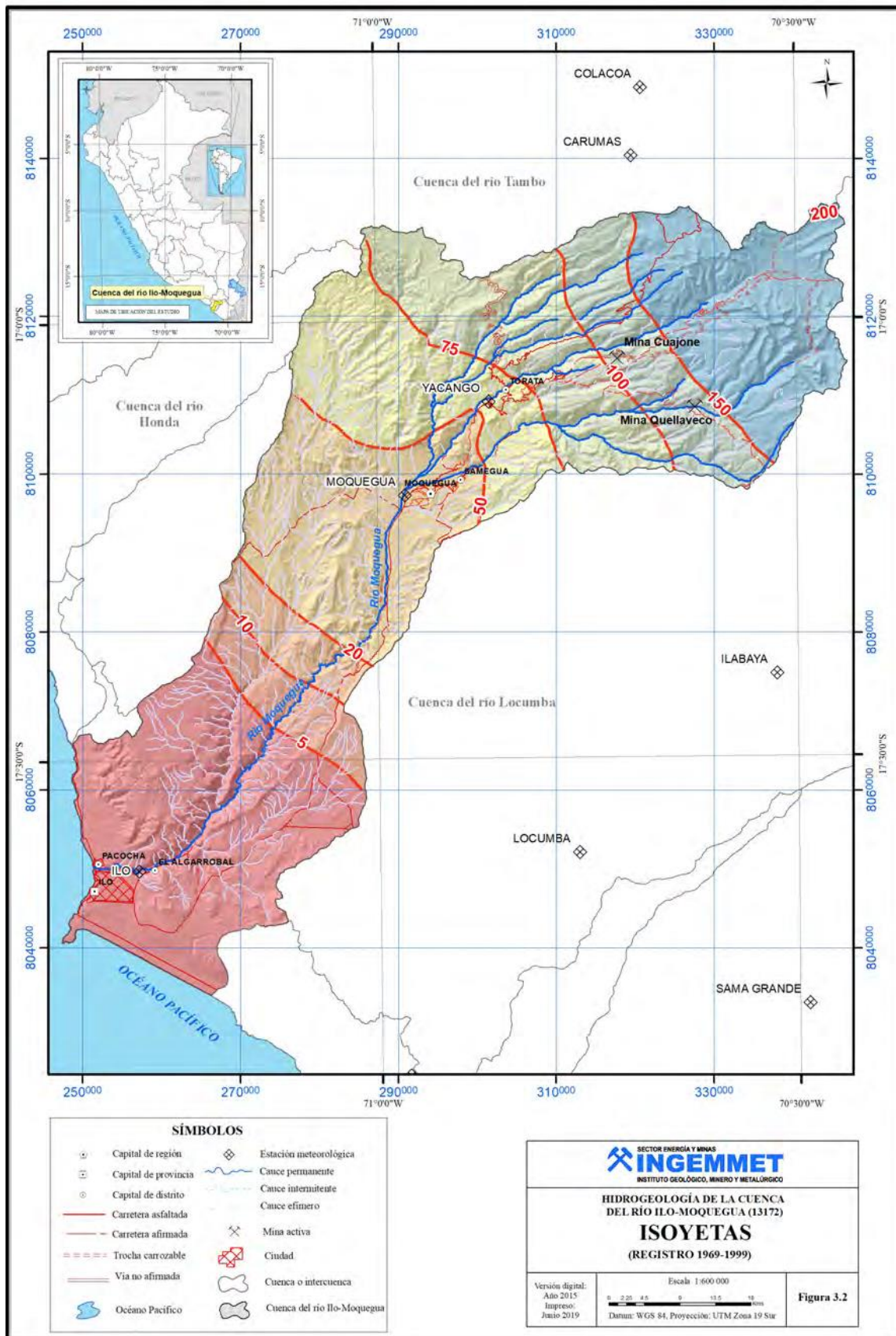
Fuente: (INGEMMET et al., 2019).

Estructura geológica del relieve actual (Morfoestructura) de Moquegua.



Fuente: (INGEMMET et al., 2019).

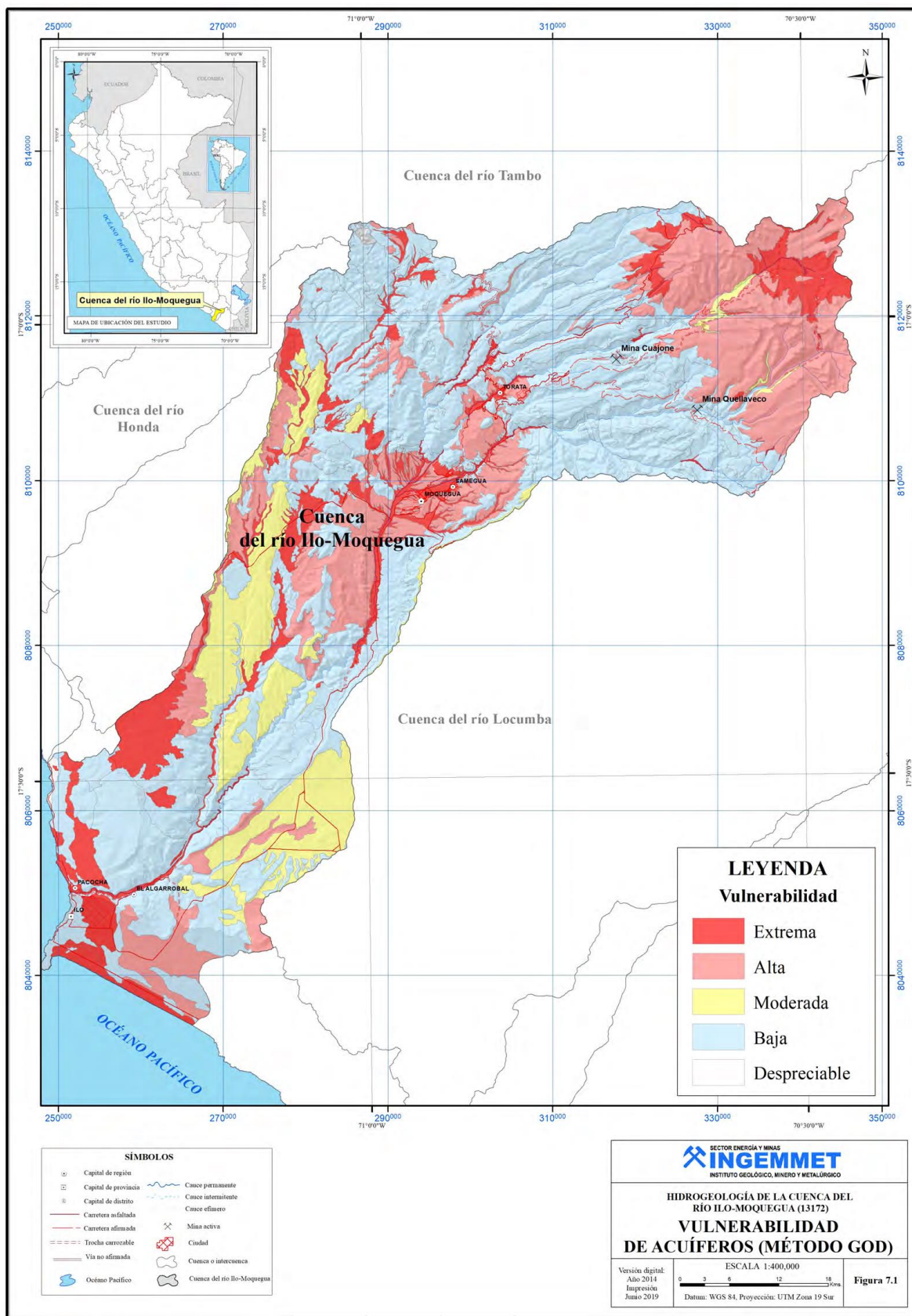
Precipitación media anual (mm) de la cuenca Ilo – Moquegua.



Fuente: (INGEMMET et al., 2019).



Vulnerabilidad de los acuíferos en Moquegua.



Fuente: (INGEMMET et al., 2019).

---

**ANEXO ( 5 )**

**RESOLUCIONES QUE APRUEBAN EL  
ESTUDIO DE APROVECHAMIENTO DE  
RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÁNEOS**

---



PERU

Ministerio de Agricultura y Riego

Autoridad Nacional del Agua

Autoridad Administrativa Especializada del Agua

"Decenio de las Personas con Discapacidad en el Perú"  
"Año de la Consolidación del Mar de Grau"

ANA  
Autoridad Nacional del Agua

RECEIVED  
2016 NOV 26 11:20 AM  
DIRECCIÓN GENERAL DE REGISTRO

**RESOLUCIÓN DIRECTORAL**  
**Nro. 2993 -2016-ANA/AAA I C-O**

El fedatario que suscribe certifica que el presente documento ha tenido a la vista es una copia fiel del original y así que me remito en caso necesario de que doy fe.

Arequipa, 26 NOV. 2016

28 NOV 2016

ALVARO CASTILLO VIZCARRA  
FEDATARIO



VISTO:

El expediente administrativo de CUT N° 33405-2016, sobre Aprobación de Estudios de Aprovechamiento de recursos Hídricos el mismo que será encausado como Acreditación de disponibilidad hídrica para el proyecto "Rehabilitación y Mejoramiento de la Infraestructura de Bombeo de Aguas Subterráneas para la previsión de uso agrícola y poblacional por efecto del cambio climático en los valle de Moquegua e Ilo, provincia Mariscal Nieto e Ilo Región Moquegua"; pedido que ha sido peticionado por el Proyecto Especial Regional Pasto Grande – Moquegua.

CONSIDERANDO:

Que, el artículo 14° de la Ley N° 29338, Ley de Recursos Hídricos, consagra a la Autoridad Nacional del Agua como el ente rector y la máxima autoridad técnico - normativa del Sistema Nacional de Gestión de los Recursos Hídricos, siendo responsable del funcionamiento de dicho sistema en el marco de lo establecido en la Ley.

Que el artículo 81° del Decreto Supremo N° 001- 2010-AG, Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos fue modificado por el Decreto Supremo N° 023-2014-MINAGRI y contempla:

Artículo 81.1: La acreditación de la disponibilidad hídrica certifica la existencia de recursos hídricos en cantidad, oportunidad y calidad apropiadas para un determinado proyecto en un punto de interés; se puede obtener alternativamente mediante : a) Resolución de Aprobación de la Disponibilidad Hídrica; u, b) Opinión Técnica Favorable a la Disponibilidad Hídrica contenida en el Instrumento de Gestión Ambiental (IGA).

Artículo 81.2: La acreditación de disponibilidad hídrica tiene un plazo de vigencia de dos (02) años, no faculta a usar el agua ni ejecutar obras y no es exclusiva ni excluyente. Puede ser otorgada a más de un peticionario, respecto de una misma fuente, únicamente en los siguientes casos: a) Se demuestre disponibilidad adicional de recursos hídricos para el nuevo proyecto. b) El nuevo proyecto sea de la misma clase y tipo de uso de agua de aquel para el que se otorgó previamente la acreditación de disponibilidad hídrica.

Artículo 81.3: Se puede prescindir de la presentación del estudio hidrológico o hidrogeológico, cuando la disponibilidad del recurso esté debidamente acreditada por la Autoridad Nacional del Agua.

Que, en el marco del Decreto Supremo N°023-2014-MINAGRI que modifica el Reglamento de la Ley N°29338 Ley de Recursos Hídricos, aprobado por Decreto Supremo N°001-2010-AG en su artículo 79.1 señala: "...Los procedimientos para el otorgamiento de la licencia de uso de agua son los siguientes: a) Autorización de ejecución de estudios de disponibilidad hídrica. b) Acreditación de disponibilidad hídrica, c) Autorización de ejecución de obras de aprovechamiento hídrico; además en su artículo 79.2 señala: "...se pueden

acumular los procedimientos administrativos señalados en los literales b y c del numeral precedente, siempre cuando se cumplan con todos los requisitos establecidos para ambos casos". Entiéndase que se puede efectuar la acumulación del pedido de Acreditación de disponibilidad Hídrica con el pedido Autorización de Ejecución de obras de aprovechamiento hídrico.

Que, en este contexto los administrados, han solicitado la acreditación de disponibilidad hídrica en el marco del Proyecto "Rehabilitación y Mejoramiento de la Infraestructura de Bombeo de Aguas Subterráneas para la previsión de uso agrícola y poblacional por efecto del cambio climático en los valle de Moquegua e Ilo, provincia Mariscal Nieto e Ilo Región Moquegua", cuyos puntos de interés se ubican en los valles de Moquegua e Ilo, distritos de Samegua, Moquegua, el Algarrobal, Ilo y Pacocha, provincia de Mariscal Nieto e Ilo, Región Moquegua; que el administrado se acoge a este procedimiento en virtud a lo dispuesto en el numeral 80.1) del artículo 80° del Decreto Supremo N° 023-2014-MINAGRI, por ser de carácter facultativo;

Que, según el Informe Técnico N° 114- 2016-ANA-AAA.CO.SDARH/BCP de fecha 14 de octubre del 2016, la Subdirección de Administración de Recursos Hídricos de la Autoridad Administrativa del Agua Carolina Ochoa, después de efectuado el análisis de acuerdo a los lineamientos de orden técnico de la oferta





PERÚ

Ministerio de Agricultura y Riego

Autoridad Nacional del Agua

Administración Regional de Agua Moquegua

"Decenio de las Personas con Discapacidad en el Perú"  
"Año de la Consolidación del Mar de Grau"

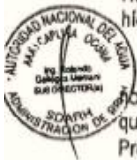
disponibilidad hídrica de los pozos La Cara, Las Glorietas se encuentra acreditado por contar con la licencia otorgado mediante Resolución Administrativa N° 020-96-ATDR.M/DSRA.MOQ a favor de la EPS Ilo, el PERPG es el encargado de realizar la rehabilitación y operatividad de los pozos IRHS-035, IRHS-009.

UBICACIÓN DE LOS POZOS EPS ILO



N°	Código INRENA	Nombre de POZO	Diámetro Tubular (pulg)	Prof. (m)	Nivel Estático (m)	Coordenadas UTM	
						DATUM WGS 84	
						ESTE	NORTE
1	IRHS-035	La Cara (EPS-ILO-1)	12"	40	3.6	254068	8050336
2	IRHS-009	Las Glorietas (EPS-ILO-2)	12"	33	1.5	253289	8049982

Por lo que concluye APROBAR la Acreditación de la Disponibilidad Hídrica Subterránea para Pozos Tubulares del proyecto "Mejoramiento en la Provisión del Recurso Hídrico de Origen Subterráneo para Uso Poblacional y Agrícola en los Valles Moquegua e Ilo provincia de Mariscal Nieto e Ilo, Región Moquegua" a favor del Proyecto Especial Regional Pasto Grande (PERPG) del Gobierno Regional de Moquegua; existiendo una disponibilidad hídrica en el acuífero Moquegua de 25.75 Hm3/año cubriendo la demanda por déficit hídrico por un volumen de hasta 2.5859 Hm3/año , existe disponibilidad hídrica en el acuífero valle Ilo de 5.09 Hm3/año cubriendo la demanda por déficit hídrico por un volumen de hasta 1.26 Hm3/año.



Que, según el Informe Legal N° 2226-2016 ANA/AAAICO/UJ de fecha 23 de Noviembre del 2016 , la Unidad de Asesoría Jurídica de la Autoridad Administrativa del Agua Caplina Ocoña, señala que en relación a los requisitos, se han cumplido con presentar la documentación exigida en el Texto Único de Procedimientos Administrativos de la Autoridad Nacional del Agua para el presente procedimiento; asimismo en relación al artículo 40° del "Reglamento de Procedimientos Administrativos para el Otorgamiento de Derechos de Uso de Agua y Autorización de Ejecución de Obras en Fuentes Naturales de Agua", la administrada ha cumplido con presentar las constancias de colocación del aviso oficial N° 01 - 2016-ANA-AAA ICO-ALA/MOQ, en la Administración Local del Agua Moquegua. De igual manera, se advierte de autos, que durante el desarrollo del procedimiento no se presentó oposición alguna a la petición presentada en referencia al artículo 42° de la Resolución Jefatural N° 007-2015-ANA;



Que, en consecuencia y a tenor de los considerandos, la administrada cumple con los requisitos de forma y fondo establecidos en nuestro ordenamiento jurídico, para los efectos que le sea otorgado el derecho petitionado; por lo que en uso de las atribuciones conferidas, mediante la Ley N° 29338 "Ley de Recursos Hídricos" y su reglamento, aprobado por Decreto Supremo N° 001-2010-AG; concordantes con el Decreto Supremo N° 006-2010-AG, norma que aprueba el "Reglamento de Organización y Funciones de la Autoridad Nacional del Agua", modificado con Decreto Supremo N° 012-2016- MINAGRI y con lo establecido en las Resoluciones Jefaturales N° 050-2010 - ANA y N° 278-2016-ANA.

SE RESUELVE:

**ARTICULO 1°.-** Aprobar el estudio de aprovechamiento hídrico para la obtención de licencia de uso de agua subterránea (Acreditación de disponibilidad hídrica) a favor Proyecto Especial Regional Pasto Grande (PERPG) del Gobierno Regional de Moquegua para Pozos Tubulares del proyecto "Mejoramiento en la Provisión del Recurso Hídrico de Origen Subterráneo para Uso Poblacional y Agrícola en los Valles Moquegua e Ilo provincia de Mariscal Nieto e Ilo, Región Moquegua" para ser utilizado en los valles de Moquegua e Ilo, distritos de Samegua, Moquegua, el Algarrobal, Ilo y Pecocho, provincia de Mariscal Nieto e Ilo, Región Moquegua, siendo la disponibilidad hídrica en el acuífero Moquegua de 25.75 Hm3/año cubriendo la demanda por déficit hídrico por un volumen de hasta 2.5859 Hm3/año , existe disponibilidad hídrica en el acuífero valle Ilo de 5.09 Hm3/año cubriendo la demanda por déficit hídrico por un volumen de hasta 1.26 Hm3/año.



PERÚ

Ministerio de Agricultura y Riego

Autoridad Nacional del Agua

ANÁLISIS DE LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA PARA FINES Poblacionales a favor de la EPS - ILO por un volumen a compensar por déficit hídrico de 367 920.00 m3/año, el PERPG es el encargado de realizar la rehabilitación y operatividad.

"Decenio de las Personas con Discapacidad en el Perú"  
"Año de la Consolidación del Mar de Grau"

**NOTA:** Se acredita la disponibilidad Hídrica para fines poblacionales a favor de la EPS -ILO por un volumen a compensar por déficit hídrico de 367 920.00 m3/año, el PERPG es el encargado de realizar la rehabilitación y operatividad.

**UBICACIÓN DEL POZO IRHS -012**



N°	Código IRHS	Nombre del Pozo	Diámetro Tubo de Pozo (")	Prof. (m)	Nivel Estático (m)	Coordenadas UTM	
						EASTING (M)	NORTH (M)
1	IRHS-012	Las Glorietas (César Tukunaga)	12"	33	2.68	253458	8049902

**RENDIMIENTO POZO IRHS -012**

N°	Código del pozo	Nombre del pozo	Caudal Bombeo (l/s)	Volumen (m3)
3	IRHS-012	Las Glorietas (César Tukunaga)	35	367920
Total (m3/año)				367920

**NOTA:** Se acredita la disponibilidad Hídrica para fines poblacionales a favor de la EPS -MOQUEGUA por un volumen a compensar por déficit hídrico de 567 648.00 m3/año, el PERPG es el encargado de realizar la rehabilitación y operatividad:

**UBICACIÓN POZO IRHS -025**



N°	Código IRHS	Nombre del Pozo	Diámetro Tubo de Pozo (")	Prof. (m)	Coordenadas UTM	
					EASTING (M)	NORTH (M)
1	IRHS-025	Samegua N°1 (EPS MOQUEGUA)	18	55	297091	8099953

**RENDIMIENTO POZO IRHS 025**

N°	Código del pozo	Nombre del pozo	Caudal Bombeo (l/s)	Volumen (m3)
1	IRHS-025	Samegua N°01 (EPS Moquegua)	54	567648

**NOTA:** Se acredita la disponibilidad Hídrica para fines agrarios siendo los beneficiarios los Comisión de Regantes Santa Rosa, Comisión de Regantes Orno por un volumen a compensar por déficit hídrico de 2 018 304 m3/año, siendo el PERPG el encargado de realizar la rehabilitación y operatividad:

**CUADRO RESUMEN FINES AGRARIOS**



N°	Código del pozo	Nombre del pozo	BENEFICIARIOS	Caudal Bombeo (l/s)	Vol total (m3) (8 hrs)
1	IRHS-045	La Chimba N°1	C.R. Santa Rosa	15	157680
2	IRHS-007	La Chimba N°2	C.R. Santa Rosa	25	262800
3	IRHS-040	La Chimba N°3	C.R. Santa Rosa	52	546624
4	IRHS-008	INIA -01	C.R. Santa Rosa	5	52560
5	IRHS-009	INIA -02	C.R. Santa Rosa	20	210240
6	IRHS-010	Cruz verde	C.R. Santa Rosa	25	262800
7	IRHS-022	Orno	C.R. Orno	20	210240
8	IRHS-027	Montalvo	C.R. Orno	30	315360
Total					2018304

El total de m3/año a compensar por déficit hídrico es de 2 018 304 m3/año.

Resolución directoral N° 2993-2016 de la Autoridad Nacional del Agua, que aprueba el estudio de aprovechamiento de recursos hídricos para la obtención de la licencia de uso de agua subterránea. (Fuente: Junta de usuarios).



CUT: 155182-2021

**RESOLUCIÓN DIRECTORAL N° 0311-2022-ANA-AAA.CO**

Arequipa, 05 de mayo de 2022

**VISTO:**

El expediente administrativo tramitado ante la Administración Local de Agua Moquegua, e ingresado con CUT N° 155182-2021, presentado por el Proyecto Especial Regional Pasto Grande - PERPG del Gobierno Regional de Moquegua, respecto a la solicitud de Aprobación de estudios de aprovechamiento de recursos hídricos para la obtención de la licencia de uso de agua subterránea (acreditación de disponibilidad hídrica).

Firmado digitalmente por  
CORDOVA PEÑA  
Beatriz FAU  
20520711865 hard  
Motivo: V.B  
Fecha: 06/05/2022

**CONSIDERANDO:**

Que, según lo establecido en el numeral 7) del artículo 15° de la Ley N° 29338 "Ley de los Recursos Hídricos", la Autoridad Nacional del Agua tiene la función de otorgar, modificar y extinguir derechos de uso de agua, previo estudio técnico;

Que el artículo 81° del Decreto Supremo N° 001- 2010-AG, Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos fue modificado por el Decreto Supremo N° 023-2014-MINAGRI y contempla:

Artículo 81.1: La acreditación de la disponibilidad hídrica certifica la existencia de recursos hídricos en cantidad, oportunidad y calidad apropiadas para un determinado proyecto en un punto de interés; se puede obtener alternativamente mediante: a) Resolución de Aprobación de la Disponibilidad Hídrica; u, b) Opinión Técnica Favorable a la Disponibilidad Hídrica contenida en el Instrumento de Gestión Ambiental (IGA).

Artículo 81.2: La acreditación de disponibilidad hídrica tiene un plazo de vigencia de dos (02) años, no faculta a usar el agua ni ejecutar obras y no es exclusiva ni excluyente. Puede ser otorgada a más de un peticionario, respecto de una misma fuente, únicamente en los siguientes casos: a) Se demuestre disponibilidad adicional de recursos hídricos para el nuevo proyecto. b) El nuevo proyecto sea de la misma clase y tipo de uso de agua de aquel para el que se otorgó previamente la acreditación de disponibilidad hídrica.

Artículo 81.3: Se puede prescindir de la presentación del estudio hidrológico o hidrogeológico, cuando la disponibilidad del recurso esté debidamente acreditada por la Autoridad Nacional del Agua.

Firmado digitalmente por  
OVIEDO TEJADA  
Marco Antonio FAU  
20520711865 hard  
Motivo: V.B  
Fecha: 06/05/2022

- Se ha determinado que el acuífero actualmente en explotación solo tiene un horizonte; el mismo que en ciertos sectores de Moquegua, principalmente en su tramo superior presenta hasta dos subhorizontes; mientras que en Ilo mayormente uno, pero todos en estado saturado.
- El PERPG plantea mejorar y rehabilitar de 12 pozos tubulares de los cuales 08 se encuentran en el ámbito de la Comisión de Regantes Santa Rosa y Comisión de Regantes Omo, tres corresponde a la EPS ILO (3) y uno a la EPS Moquegua (01). La Ubicación (Datum WGS84 - Z19s) y datos de los pozos evaluados:

Tabla 01: Pozos a rehabilitar

N°	Código INRENA	Nombre de Pozo	Caudal de Bombeo (l/s)	Volumen Total (m3) (8 hrs)	Coordenadas UTM WGS 84 Z19		Beneficiarios	Fines de Uso de Agua
					Este	Norte		
1	IRHS-012	Las Glorietas (CesarTucunaga)	35	367920	253458	8049902	EPS Ilo	Poblacional
2	IRHS-035	La Cara (EPS Ilo-1)			254068	8050336	EPS Ilo	
3	IRHS-009	Las Glorietas (EPS Ilo2)			253289	8049982	EPS Ilo	
4	IRHS-025	Samegua N° 1 (EPS Moquegua)	55	567648	297091	8099953	EPS Moquegua	
5	IRHS-045	La Chimba N° 1	15	157680	292716	8099638	C.U.Santa Rosa	Agrarios
6	IRHS-007	La Chimba N° 2	25	262800	292556	8099328	C.U.Santa Rosa	
7	IRHS-040	La Chimba N° 3	52	546624	291824	8098735	C.U.Santa Rosa	
8	IRHS-008	INIA-01	5	52560	290781	8096846	C.U.Santa Rosa	
9	IRHS-009	INIA-02	20	210240	290600	8096846	C.U.Santa Rosa	
10	IRHS-027	Cruz Verde	25	262800	288521	8091328	C.U. Omo	
11	IRHS-022	Omo	20	210240	288724	8092720	C.U. Omo	
12	IRHS-010	Montalvo	30	315360	290506	8095882	C.U.Santa Rosa	

Firmado digitalmente por CORDOVA PEÑA Beatriz FAU 20520711865 hard Motivo: V.B Fecha: 06/05/2022

Firmado digitalmente por OVIEDO TEJADA Marco Antonio FAU 20520711865 hard Motivo: V.B Fecha: 06/05/2022

✓ **La demanda del proyecto:**

- La demanda del Proyecto para uso poblacional es de 174 l/s (5,487 Hm3) y para uso agrícola de 192 l/s (6,055 Hm3).
- El tipo de aprovechamiento comprende los siguientes usos:
  - Uso poblacional: Corresponde a los pozos Samegua N° 1 ubicado en el valle Moquegua y los pozos N° La Cara (EPS-ILO1), Las Glorietas (Cesar Tucunaga) y las Glorietas (EPS-ILO2) ubicados en el valle de Ilo.

Esta es una copia auténtica imprimible de un documento electrónico archivado de ANA, aplicando lo dispuesto por el Art. 25 de D.S 070-2013-PCM y la Tercera Disposición Complementaria Final del D.S 026-2016-PCM. Su autenticidad e integridad pueden ser contrastadas a través de la siguiente dirección web: <http://sised.ana.gob.pe/consultas> e ingresando la siguiente clave : 4276ACE1

Resolución directoral N° 311-2022 de la Autoridad Nacional del Agua, que aprueba el estudio de aprovechamiento de recursos hídricos para la obtención de la licencia de uso de agua subterránea. (Fuente: Junta de usuarios).

---

**ANEXO ( 6 )**

**RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE LA  
CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA**

---





LABORATORIO DE ENSAYO  
ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO DE  
ACREDITACION INACAL-DA  
CON REGISTRO N° LE - 096



Registro N° LE - 096



## INFORME DE ENSAYO N°: IE-23-17676


N° Id.: 0000061353

### I. DATOS DEL SERVICIO

1.-RAZON SOCIAL	: DISTRIBUCIONES Y SERVICIOS CHEM E.I.R.L.
2.-DIRECCIÓN	: AV. PARRA NRO. 401 AREQUIPA - AREQUIPA - AREQUIPA
3.-PROYECTO	: SERV. Y ANALISIS DE CALIDAD DE AGUA DE LAS ESTACIONES DE BOMBEO DE AGUA SUBTERRANEA DE MOQUEGUA - ILO
4.-PROCEDENCIA	: ESTACIONES DE BOMBEO MOQUEGUA - ILO
5.-SOLICITANTE	: DISTRIBUCIONES Y SERVICIOS CHEM E.I.R.L.
6.-INTERESADO	: BORIS ARANDA HUACAN
7.-PROCEDIMIENTO DE MUESTREO	: P-OPE-1 MUESTREO
8.-MUESTREADO POR	: ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L.
9.-FECHA DE EMISIÓN DE INFORME	: 2023-10-25


### II. DATOS DE ÍTEMS DE ENSAYO

1.-PRODUCTO	: Agua
2.-NÚMERO DE MUESTRAS	: 1
3.-FECHA DE RECEP. DE MUESTRA	: 2023-10-06
4.-PERÍODO DE ENSAYO	: 2023-10-06 al 2023-10-25

  
Liz Quispe Quispe  
Jefe de Laboratorio  
CIP N°211662

Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados. No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory E.I.R. L. Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Su adulteración o su uso indebido constituye delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales en la materia.

  
ALFONSO EDUARDO ROMCEROS ANTAY  
INGENIERO QUÍMICO  
Reg. CIP. N° 153434



LABORATORIO DE ENSAYO  
ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO DE  
ACREDITACION INACAL-DA  
CON REGISTRO N° LE - 096



Registro N° LE - 096



**INFORME DE ENSAYO N°: IE-23-17676**

N° Id.: 0000061353

**III. MÉTODOS Y REFERENCIAS**

TIPO DE ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA	TÍTULO
Coliformes Fecales (Termotolerantes) (NMP) <sup>2</sup>	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 F.2, 23rd Ed. 2017.	Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Escherichia coli Procedure Using Fluorogenic Substrate. Simultaneous Determination of Termotolerant Coliforms and E.coli.
Escherichia coli (NMP) <sup>2</sup>	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 F.2, 23rd Ed. 2017.	Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Escherichia coli Procedure Using Fluorogenic Substrate. Simultaneous Determination of Termotolerant Coliforms and E.coli.
Huevos de Helminthos <sup>2</sup>	MVAL-LAB-24, Validado, 2018.	Cuantificación e Identificación de Huevos de Helminthos en Agua.
Cianuro WAD <sup>(1)</sup>	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-CN <sup>-</sup> , F, 23 rd Ed. 2017	Weak Acid Dissociable Cyanide. Cyanide-Selective Electrode Method
Conductividad <sup>2</sup>	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2510 B 23rd Ed. 2017	Conductivity. Laboratory Method.
Demanda Bioquímica de Oxígeno <sup>(1)</sup>	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23 rd Ed. 2017	Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test
Oxígeno Disuelto <sup>2</sup>	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-O G. 23rd Ed. 2017	Oxygen (Dissolved). Membrana Electrode Method
pH <sup>2</sup>	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+ B, 23 rd Ed. 2017	pH Value Electrometric Method
Temperatura <sup>2</sup>	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2550 B. 23rd Ed. 2017	Temperature. Laboratory and Field Methods
Aceites y Grasas <sup>(1)</sup>	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5520 B, 23 rd Ed 2017	Oil and Grease. Liquid-Liquid, Partition-Gravimetric Method
Alcalinidad por Bicarbonatos <sup>(1)</sup>	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2320 B, 23 rd Ed. 2017	Alkalinity. Titration Method
Color <sup>(1)</sup>	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2120 C, 23 rd Ed. 2017	Color. Spectrophotometric - Single - Wavelength Method
Demanda Química de Oxígeno <sup>(1)</sup>	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23 rd Ed. 2017	Chemical Oxygen Demand, Closed Reflux, Colorimetric Method
Detergentes <sup>(1)</sup>	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5540 C, 23 rd Ed. 2017	Surfactants. Anionic Surfactants as MBAS
Fenol <sup>(1)</sup>	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5530 B, C, 23 rd Ed. 2017	Phenols. Cleanup Procedure. Chloroform Extraction Method

<sup>1</sup> "SMEWW" : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater

<sup>(1)</sup> Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

<sup>2</sup> Ensayo acreditado por el IAS

  
ALFONSO EDUARDO RONCEROS ANTAY  
INGENIERO QUÍMICO  
Reg. CIP. N° 153434

Metodología (2/2) del análisis de laboratorio (calidad del agua subterránea en estación de bombeo POZO IRHS – 045 (La Chimba N°1)).



LABORATORIO DE ENSAYO  
ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO DE  
ACREDITACION INACAL-DA  
CON REGISTRO N° LE - 096



Registro N° LE - 096



INFORME DE ENSAYO N°: IE-23-17676

N° Id.: 000061353

TIPO DE ENSAYO	NORMAL REFERENCIA	TÍTULO
Aldicarb <sup>2</sup>	EPA 8270E Rev.6, 2018. VALIDATED (Applied out of reach), 2019.	Semivolatile Organic Compounds by Gas Chromatography/Mass Spectrometry.
Aniones <sup>(*)</sup>	EPA Method 300.0 Rev.2.1, 1993	Determination of inorganic anions by ion chromatography.
Pesticidas Organoclorados <sup>(*)</sup>	EPA Method 8081 B, Rev 2. 2007.	Organochlorine Pesticides by Gas Chromatography.
Metales Totales ICP-MS <sup>(*)</sup>	Method 200.8, Revision 5.4 1994. (VALIDADO - Aplicado fuera del alcance: Bi, B, Ca, Ce, Cs, Fe, Ga, Ge, Hf, K, La, Li, Lu, Mg, Na, Nb, P, Rb, Si, Sn, Sr, Ta, Te, Ti, W, Yb, Zr), 2021.	Determination of Trace Elements in Waters and Wastes by Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry.
Bifenilos Policlorados PCBs (Como Arocloros) <sup>(*)</sup>	EPA Method 8082 A Rev. 01. 2007.	Polychlorinated Biphenyls (PCBs) by Gas Chromatography.
Pesticidas Organofosforados <sup>(*)</sup>	EPA Method 8270E / Rev.6 2018.	Semivolatile Organic Compounds by Gas Chromatography /Mass Spectrometry.

\*EPA": U. S. Environmental Protection Agency. Methods for Chemicals Analysis

(\*) Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

<sup>2</sup> Ensayo acreditado por el IAS



ALFONSO EDUARDO ROMCEROS ANTAY  
INGENIERO QUÍMICO  
Reg. CIP. N° 153434

Resultados (1/4) del análisis de la calidad del agua subterránea en estación de bombeo POZO IRHS – 045 (La Chimba N°1).



LABORATORIO DE ENSAYO  
ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO DE  
ACREDITACION INACAL-DA  
CON REGISTRO N° LE - 096



Registro N° LE - 096



INFORME DE ENSAYO N°: IE-23-17676

N° Id.: 0000061353

IV. RESULTADOS

ITEM				1
CÓDIGO DE LABORATORIO:				M-23-53799
CÓDIGO DEL CLIENTE:				POZO IRHS 045 LA CHIMBA N°1
COORDENADAS:				E:0292722
UTM WGS 84:				N:8099636
PRODUCTO:				Agua Natural
SUB PRODUCTO:				Agua Subterránea
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:				I-OPE-1.8 MUESTREO DE AGUA SUBTERRÁNEA
FECHA y HORA DE MUESTREO:				05-10-2023 11:15
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS
Coliformes Fecales (Termotolerantes) (NMP) <sup>2</sup>	NMP/100mL	NA	1,8	27,0
Escherichia coli (NMP) <sup>2</sup>	NMP/100mL	NA	1,8	<1,8
Huevos de Helminthos <sup>2</sup>	Huevo/L	NA	1,0	<1,0
Cianuro WAD (*)	mg/L	0,0015	0,0030	<0,0030
Conductividad <sup>2</sup>	µS/cm	NA	0,01	1 203,00
Demanda Bioquímica de Oxígeno (*)	mg/L	0,4	2,0	<2,0
Oxígeno Disuelto <sup>2</sup>	mg/L	NA	0,10	4,16
pH <sup>2</sup>	Unidad de pH	NA	0,01	6,33
Temperatura <sup>2</sup>	(°C)	NA	0,1	22,0
Aceites y Grasas (*)	mg/L	0,30	0,50	<0,50
Alcalinidad por Bicarbonatos (*)	mg CaCO3/L	2,00	5,00	279,82
Color (*)	(UC)	2,0	5,0	<5,0
Demanda Química de Oxígeno (*)	mg/L	2,0	5,0	<5,0
Detergentes (*)	mg/L	0,007	0,020	<0,020
Fenol (*)	mg/L	0,000	0,001	<0,001
Aldicarb <sup>2</sup>	mg/L	0,00003	0,00010	<0,00010
<b>Aniones</b>				
Cloruro (*)	mg/L	0,4	1,0	105,7
Fluoruro (*)	mg/L	0,08	0,20	<0,20

(<sup>1</sup>) Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

<sup>2</sup> Ensayo acreditado por el IAS

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<"= Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, "<"= Menor que el L.D.M.



ALFONSO EDUARDO ROMCEROS ANTAY  
INGENIERO QUÍMICO  
Reg. CIP. N° 153434

Resultados (2/4) del análisis de la calidad del agua subterránea en estación de bombeo POZO IRHS – 045 (La Chimba N°1).



LABORATORIO DE ENSAYO  
ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO DE  
ACREDITACION INACAL-DA  
CON REGISTRO N° LE - 096



Registro N° LE - 096



**INFORME DE ENSAYO N°: IE-23-17676**

N° Id.: 0000061353

ITEM	1
CÓDIGO DE LABORATORIO:	M-23-53799
CÓDIGO DEL CLIENTE:	POZO IRHS 045 LA CHIMBA N°1
COORDENADAS:	E:0292722
UTM WGS 84:	N:8099636
PRODUCTO:	Agua Natural
SUB PRODUCTO:	Agua Subterránea
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:	I-OPE-1.8 MUESTREO DE AGUA SUBTERRÁNEA
FECHA y HORA DE MUESTREO:	05-10-2023 11:15

ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS
Nitrato (*)	mg/L	0,02	0,05	14,57
Nitrito (*)	mg/L	0,02	0,05	<0,05
Sulfato (*)	mg/L	0,2	0,5	251,6
<b>Pesticidas Organoclorados</b>				
4,4 -DDT (*)	mg/L	0,000003	0,000010	<0,000010
Aldrin (*)	mg/L	0,000003	0,000010	<0,000010
Clordano (Total de Isómeros) (*)	mg/L	0,000003	0,000010	<0,000010
Dieldrin (*)	mg/L	0,000003	0,000010	<0,000010
Endosulfan I (*)	mg/L	0,000003	0,000010	<0,000010
Endosulfan II (*)	mg/L	0,000003	0,000010	<0,000010
Endrin (*)	mg/L	0,000003	0,000010	<0,000010
Heptacloro + Heptacloro Epóxido (*)	mg/L	0,000003	0,000010	<0,000010
Lindano (*)	mg/L	0,000003	0,000010	<0,000010
<b>Metales Totales ICP-MS</b>				
Aluminio (*)	mg/L	0,001	0,003	0,045
Arsénico (*)	mg/L	0,0002	0,0010	<0,0010
Bario (*)	mg/L	0,00008	0,00030	0,13310
Berilio (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003
Boro (*)	mg/L	0,0003	0,0010	1,2654

(\*) Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

<sup>2</sup> Ensayo acreditado por el IAS

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<"= Menor que el L.C.M.  
L.D.M.: Límite de detección del método, "<"= Menor que el L.D.M.



ALFONSO EDUARDO ROMCEROS ANTAY  
INGENIERO QUÍMICO  
Reg. CIP. N° 153434

Resultados (3/4) del análisis de la calidad del agua subterránea en estación de bombeo POZO IRHS – 045 (La Chimba N°1).



LABORATORIO DE ENSAYO  
ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO DE  
ACREDITACION INACAL-DA  
CON REGISTRO N° LE - 096



Registro N° LE - 096



INFORME DE ENSAYO N°: IE-23-17676

N° Id.: 000061353

ITEM				1
CÓDIGO DE LABORATORIO:				M-23-53799
CÓDIGO DEL CLIENTE:				POZO IRHS 045 LA CHIMBA N°1
COORDENADAS:				E:0292722
UTM WGS 84:				N:8099636
PRODUCTO:				Agua Natural
SUB PRODUCTO:				Agua Subterránea
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:				I-OPE-1.8 MUESTREO DE AGUA SUBTERRÁNEA
FECHA y HORA DE MUESTREO:				05-10-2023 11:15
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS
Cadmio (*)	mg/L	0,0001	0,0002	<0,0002
Cobalto (*)	mg/L	0,0005	0,0020	<0,0020
Cobre (*)	mg/L	0,0001	0,0002	0,0560
Cromo (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003
Hierro (*)	mg/L	0,001	0,002	0,135
Litio (*)	mg/L	0,00003	0,00010	0,13170
Magnesio (*)	mg/L	0,0006	0,0020	12,6357
Manganeso (*)	mg/L	0,00002	0,00005	0,00860
Mercurio (*)	mg/L	0,000033	0,000100	<0,000100
Niquel (*)	mg/L	0,0001	0,0004	<0,0004
Plomo (*)	mg/L	0,0008	0,0010	<0,0010
Selenio (*)	mg/L	0,001	0,002	<0,002
Zinc (*)	mg/L	0,0001	0,0002	0,0574
<b>Bifenilos Policlorados PCBs</b>				
<b>(Como Arocloros)</b>				
Aroclor 1016 (*)	mg/L	0,000002	0,000005	<0,000002
Aroclor 1221 (*)	mg/L	0,000002	0,000005	<0,000002
Aroclor 1232 (*)	mg/L	0,000002	0,000005	<0,000002
Aroclor 1242 (*)	mg/L	0,000002	0,000005	<0,000002
Aroclor 1248 (*)	mg/L	0,000002	0,000005	<0,000002

(\*) Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

<sup>2</sup> Ensayo acreditado por el IAS

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<"= Menor que el L.C.M.  
L.D.M.: Límite de detección del método, "<"= Menor que el L.D.M.



ALFONSO EDUARDO ROMCEROS ANTAY  
INGENIERO QUÍMICO  
Reg. CIP. N° 153434

Resultados (4/4) del análisis de la calidad del agua subterránea en estación de bombeo POZO IRHS – 045 (La Chimba N°1).



LABORATORIO DE ENSAYO  
ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO DE  
ACREDITACION INACAL-DA  
CON REGISTRO N° LE - 096



Registro N° LE - 096



**INFORME DE ENSAYO N°: IE-23-17676**

N° Id.: 000061353

<b>ITEM</b>				<b>1</b>
CÓDIGO DE LABORATORIO:				M-23-53799
CÓDIGO DEL CLIENTE:				POZO IRHS 045 LA CHIMBA N°1
COORDENADAS:				E:0292722
UTM WGS 84:				N:8099636
PRODUCTO:				Agua Natural
SUB PRODUCTO:				Agua Subterránea
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:				I-OPE-1.8 MUESTREO DE AGUA SUBTERRÁNEA
FECHA y HORA DE MUESTREO:				05-10-2023 11:15
<b>ENSAYO</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>L.D.M.</b>	<b>L.C.M.</b>	<b>RESULTADOS</b>
Aroclor 1254 (*)	mg/L	0,000002	0,000005	<0,000002
Aroclor 1260 (*)	mg/L	0,000002	0,000005	<0,000002
<b>Pesticidas Organofosforados</b>				
Paratión (*)	mg/L	0,000001	0,000002	<0,000002

(\*) Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

<sup>2</sup> Ensayo acreditado por el IAS

L.C.M.: Limite de cuantificación del método, "<"= Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Limite de detección del método, "<"= Menor que el L.D.M.

"FIN DE DOCUMENTO"



ALFONSO EDUARDO RONCEROS ANTAY  
INGENIERO QUÍMICO  
Reg. CIP. N° 153434



LABORATORIO DE ENSAYO  
ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO DE  
ACREDITACION INACAL-DA  
CON REGISTRO N° LE - 096



Registro N° LE - 096



## INFORME DE ENSAYO N°: IE-23-17742


N° Id.: 0000061419

### I. DATOS DEL SERVICIO

1.-RAZON SOCIAL	: DISTRIBUCIONES Y SERVICIOS CHEM E.I.R.L.
2.-DIRECCIÓN	: AV. PARRA NRO. 401 AREQUIPA - AREQUIPA - AREQUIPA
3.-PROYECTO	: SERV. Y ANALISIS DE CALIDAD DE AGUA DE LAS ESTACIONES DE BOMBEO DE AGUA SUBTERRANEA DE MOQUEGUA - ILO
4.-PROCEDENCIA	: ESTACIONES DE BOMBEO DE MOQUEGUA - ILO
5.-SOLICITANTE	: DISTRIBUCIONES Y SERVICIOS CHEM E.I.R.L.
6.-INTERESADO	: BORIS ARANDA HUACAN
7.-PROCEDIMIENTO DE MUESTREO	: P-OPE-1 MUESTREO
8.-MUESTREADO POR	: ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L.
9.-FECHA DE EMISIÓN DE INFORME	: 2023-10-25

### II. DATOS DE ÍTEMS DE ENSAYO

1.-PRODUCTO	: Agua
2.-NÚMERO DE MUESTRAS	: 1
3.-FECHA DE RECEP. DE MUESTRA	: 2023-10-07
4.-PERÍODO DE ENSAYO	: 2023-10-07 al 2023-10-25

  
Liz Quispe Quispe  
Jefe de Laboratorio  
CIP N°211662

Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados. No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory E.I.R. L. Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Su adulteración o su uso indebido constituye delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales en la materia.

  
ALFONSO EDUARDO ROMCEROS ANTAY  
INGENIERO QUÍMICO  
Reg. CIP. N° 153434





LABORATORIO DE ENSAYO  
ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO DE  
ACREDITACION INACAL-DA  
CON REGISTRO N° LE - 096



Registro N° LE - 096



**INFORME DE ENSAYO N°: IE-23-17742**

N° Id.: 0000061419

**III. MÉTODOS Y REFERENCIAS**

TIPO DE ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA	TÍTULO
Coliformes Fecales (Termotolerantes) (NMP) <sup>2</sup>	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 F.2, 23rd Ed. 2017.	Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Escherichia coli Procedure Using Fluorogenic Substrate. Simultaneous Determination of Termotolerant Coliforms and E.coli.
Escherichia coli (NMP) <sup>2</sup>	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 F.2, 23rd Ed. 2017.	Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Escherichia coli Procedure Using Fluorogenic Substrate. Simultaneous Determination of Termotolerant Coliforms and E.coli.
Huevos de Helmintos <sup>2</sup>	MVAL-LAB-24, Validado, 2018.	Cuantificación e Identificación de Huevos de Helmintos en Agua.
Cianuro WAD <sup>(1)</sup>	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-CN <sup>-</sup> I, F, 23 rd Ed. 2017	Weak Acid Dissociable Cyanide. Cyanide-Selective Electrode Method
Conductividad <sup>2</sup>	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2510 B 23rd Ed. 2017	Conductivity. Laboratory Method.
Demanda Bioquímica de Oxígeno <sup>(1)</sup>	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23 rd Ed. 2017	Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test
Oxígeno Disuelto <sup>2</sup>	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-O G. 23rd Ed. 2017	Oxygen (Dissolved). Membrana Electrode Method
pH <sup>2</sup>	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+ B, 23 rd Ed. 2017	pH Value Electrometric Method
Temperatura <sup>2 (e)</sup>	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2550 B. 23rd Ed. 2017	Temperature. Laboratory and Field Methods
Aceites y Grasas <sup>(1)</sup>	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5520 B, 23 rd Ed 2017	Oil and Grease. Liquid-Liquid, Partition-Gravimetric Method
Alcalinidad por Bicarbonatos <sup>(1)</sup>	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2320 B, 23 rd Ed. 2017	Alkalinity. Titration Method
Color <sup>(1)</sup>	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2120 C, 23 rd Ed. 2017	Color. Spectrophotometric - Single - Wavelength Method
Demanda Química de Oxígeno <sup>(1)</sup>	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23 rd Ed. 2017	Chemical Oxygen Demand, Closed Reflux, Colorimetric Method
Detergentes <sup>(1)</sup>	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5540 C, 23 rd Ed. 2017	Surfactants. Anionic Surfactants as MBAS
Fenol <sup>(1)</sup>	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5530 B, C, 23 rd Ed. 2017	Phenols. Cleanup Procedure. Chloroform Extraction Method

<sup>(1)</sup>SMEWW" : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater

<sup>(2)</sup> Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

<sup>2</sup> Ensayo acreditado por el IAS

ALFONSO EDUARDO ROMCEROS ANTAY  
INGENIERO QUÍMICO  
Reg. CIP. N° 153434



LABORATORIO DE ENSAYO  
ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO DE  
ACREDITACION INACAL-DA  
CON REGISTRO N° LE - 096



Registro N° LE - 096



INFORME DE ENSAYO N°: IE-23-17742

N° Id.: 0000061419

TIPO DE ENSAYO	NORMAL REFERENCIA	TÍTULO
Aldicarb <sup>2</sup>	EPA 8270E Rev.6, 2018. VALIDATED (Applied out of reach), 2019.	Semivolatile Organic Compounds by Gas Chromatography/Mass Spectrometry.
Aniones <sup>(1)</sup>	EPA Method 300.0 Rev.2.1, 1993	Determination of inorganic anions by ion chromatography.
Pesticidas Organoclorados <sup>(1)</sup>	EPA Method 8081 B, Rev 2. 2007.	Organochlorine Pesticides by Gas Chromatography.
Metales Totales ICP-MS <sup>(1)</sup>	Method 200.8, Revision 5.4 1994. (VALIDADO - Aplicado fuera del alcance: Bi, B, Ca, Ce, Cs, Fe, Ga, Ge, Hf, K, La, Li, Lu, Mg, Na, Nb, P, Rb, Si, Sn, Sr, Ta, Te, Ti, W, Yb, Zr), 2021.	Determination of Trace Elements in Waters and Wastes by Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry.
Bifenilos Policlorados PCBs (Como Arocloros) <sup>(1)</sup>	EPA Method 8082 A Rev. 01. 2007.	Polychlorinated Biphenyls (PCBs) by Gas Chromatography.
Pesticidas Organofosforados <sup>(1)</sup>	EPA Method 8270E / Rev.6 2018.	Semivolatile Organic Compounds by Gas Chromatography /Mass Spectrometry.

<sup>(1)</sup>EPA\* : U. S. Environmental Protection Agency. Methods for Chemicals Analysis

<sup>(1)</sup> Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

<sup>2</sup> Ensayo acreditado por el IAS



ALFONSO EDUARDO ROMCEROS ANTAY  
INGENIERO QUÍMICO  
Reg. CIP. N° 153434



LABORATORIO DE ENSAYO  
ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO DE  
ACREDITACION INACAL-DA  
CON REGISTRO N° LE - 096



Registro N° LE - 096



INFORME DE ENSAYO N°: IE-23-17742

N° Id.: 0000061419

IV. RESULTADOS

ITEM				1
CÓDIGO DE LABORATORIO:				M-23-54045
CÓDIGO DEL CLIENTE:				POZO IRHS - 008 INIA N°01
COORDENADAS:				E:0290784
UTM WGS 84:				N:8096850
PRODUCTO:				Agua Natural
SUB PRODUCTO:				Agua Subterránea
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:				I-OPE-1.8 MUESTREO DE AGUA SUBTERRÁNEA
FECHA y HORA DE MUESTREO :				06-10-2023 08:35
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS
Coliformes Fecales (Termotolerantes) (NMP) <sup>2</sup>	NMP/100mL	NA	1,8	17,0
Escherichia coli (NMP) <sup>2</sup>	NMP/100mL	NA	1,8	14,0
Huevos de Helminthos <sup>2</sup>	Huevo/L	NA	1,0	<1,0
Cianuro WAD (*)	mg/L	0,0015	0,0030	<0,0030
Conductividad <sup>2</sup>	µS/cm	NA	0,01	1 046,00
Demanda Bioquímica de Oxígeno (*)	mg/L	0,4	2,0	<2,0
Oxígeno Disuelto <sup>2</sup>	mg/L	NA	0,10	4,13
pH <sup>2</sup>	Unidad de pH	NA	0,01	6,14
Temperatura <sup>2</sup>	(°C)	NA	0,1	20,6
Aceites y Grasas (*)	mg/L	0,30	0,50	<0,50
Alcalinidad por Bicarbonatos (*)	mg CaCO3/L	2,00	5,00	185,94
Color (*)	(UC)	2,0	5,0	<5,0
Demanda Química de Oxígeno (*)	mg/L	2,0	5,0	<5,0
Detergentes (*)	mg/L	0,007	0,020	<0,020
Fenol (*)	mg/L	0,000	0,001	<0,001
Aldicarb <sup>2</sup>	mg/L	0,00003	0,00010	<0,00010
<b>Aniones</b>				
Cloruro (*)	mg/L	0,4	1,0	84,5
Fluoruro (*)	mg/L	0,08	0,20	<0,20

(<sup>1</sup>) Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

<sup>2</sup> Ensayo acreditado por el IAS

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<"= Menor que el L.C.M.  
L.D.M.: Límite de detección del método, "<"= Menor que el L.D.M.

  
ALFONSO EDUARDO RONCEROS ANTAY  
INGENIERO QUÍMICO  
Reg. CIP. N° 153434

Resultados (2/4) del análisis de la calidad del agua subterránea en estación de bombeo POZO IRHS – 008 INIA N°1.



LABORATORIO DE ENSAYO  
ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO DE  
ACREDITACION INACAL-DA  
CON REGISTRO N° LE - 096



Registro N° LE - 096



INFORME DE ENSAYO N°: IE-23-17742

N° Id.: 000061419

ITEM				1
CÓDIGO DE LABORATORIO:				M-23-54045
CÓDIGO DEL CLIENTE:				POZO IRHS - 008 INIA N°01
COORDENADAS:				E:0290784
UTM WGS 84:				N:8096850
PRODUCTO:				Agua Natural
SUB PRODUCTO:				Agua Subterránea
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:				I-OPE-1.8 MUESTREO DE AGUA SUBTERRÁNEA
FECHA y HORA DE MUESTREO:				06-10-2023 08:35
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS
Nitrato (*)	mg/L	0,02	0,05	26,16
Nitrito (*)	mg/L	0,02	0,05	<0,05
Sulfato (*)	mg/L	0,2	0,5	233,1
<b>Pesticidas Organoclorados</b>				
4,4 - DDT (*)	mg/L	0,000003	0,000010	<0,000010
Aldrin (*)	mg/L	0,000003	0,000010	<0,000010
Clordano (Total de Isómeros) (*)	mg/L	0,000003	0,000010	<0,000010
Dieldrin (*)	mg/L	0,000003	0,000010	<0,000010
Endosulfan I (*)	mg/L	0,000003	0,000010	<0,000010
Endosulfan II (*)	mg/L	0,000003	0,000010	<0,000010
Endrin (*)	mg/L	0,000003	0,000010	<0,000010
Heptacloro + Heptacloro Epóxido (*)	mg/L	0,000003	0,000010	<0,000010
Lindano (*)	mg/L	0,000003	0,000010	<0,000010
<b>Metales Totales ICP-MS</b>				
Aluminio (*)	mg/L	0,001	0,003	0,043
Arsénico (*)	mg/L	0,0002	0,0010	<0,0010
Bario (*)	mg/L	0,00008	0,00030	0,12020
Berilio (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003
Boro (*)	mg/L	0,0003	0,0010	0,9546

(\*) Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

<sup>2</sup> Ensayo acreditado por el IAS

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<=" Menor que el L.C.M.  
L.D.M.: Límite de detección del método, "<=" Menor que el L.D.M.

  
ALFONSO EDUARDO RONCEROS ANTAY  
INGENIERO QUÍMICO  
Reg. CIP. N° 153434

Resultados (3/4) del análisis de la calidad del agua subterránea en estación de bombeo POZO IRHS – 008 INIA N°1.



LABORATORIO DE ENSAYO  
ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO DE  
ACREDITACION INACAL-DA  
CON REGISTRO N° LE - 096



Registro N° LE - 096



INFORME DE ENSAYO N°: IE-23-17742

N° Id.: 000061419

ITEM				1
CÓDIGO DE LABORATORIO:				M-23-54045
CÓDIGO DEL CLIENTE:				POZO IRHS - 008 INIA N°01
COORDENADAS:				E:0290784
UTM WGS 84:				N:8096850
PRODUCTO:				Agua Natural
SUB PRODUCTO:				Agua Subterránea
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:				I-OPE-1.8 MUESTREO DE AGUA SUBTERRÁNEA
FECHA y HORA DE MUESTREO:				06-10-2023 08:35
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS
Cadmio (*)	mg/L	0,0001	0,0002	<0,0002
Cobalto (*)	mg/L	0,0005	0,0020	<0,0020
Cobre (*)	mg/L	0,0001	0,0002	0,0663
Cromo (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003
Hierro (*)	mg/L	0,001	0,002	0,394
Litio (*)	mg/L	0,00003	0,00010	0,07610
Magnesio (*)	mg/L	0,0006	0,0020	16,1015
Manganeso (*)	mg/L	0,00002	0,00005	0,01760
Mercurio (*)	mg/L	0,000033	0,000100	<0,000100
Níquel (*)	mg/L	0,0001	0,0004	<0,0004
Plomo (*)	mg/L	0,0008	0,0010	<0,0010
Selenio (*)	mg/L	0,001	0,002	<0,002
Zinc (*)	mg/L	0,0001	0,0002	0,0559
<b>Bifenilos Policlorados PCBs (Como Arocloros)</b>				
Aroclor 1016 (*)	mg/L	0,000002	0,000005	<0,000002
Aroclor 1221 (*)	mg/L	0,000002	0,000005	<0,000002
Aroclor 1232 (*)	mg/L	0,000002	0,000005	<0,000002
Aroclor 1242 (*)	mg/L	0,000002	0,000005	<0,000002
Aroclor 1248 (*)	mg/L	0,000002	0,000005	<0,000002

(\*) Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

<sup>2</sup> Ensayo acreditado por el IAS

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, \*<= Menor que el L.C.M.  
L.D.M.: Límite de detección del método, \*<= Menor que el L.D.M.

  
ALFONSO EDUARDO RONCEROS ANTAY  
INGENIERO QUÍMICO  
Reg. CIP. N° 153434

Resultados (4/4) del análisis de la calidad del agua subterránea en estación de bombeo POZO IRHS – 008 INIA N°1.



LABORATORIO DE ENSAYO  
ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO DE  
ACREDITACION INACAL-DA  
CON REGISTRO N° LE - 096



Registro N° LE - 096



INFORME DE ENSAYO N°: IE-23-17742

N° Id.: 000061419

ITEM				1
CÓDIGO DE LABORATORIO:				M-23-54045
CÓDIGO DEL CLIENTE:				POZO IRHS - 008 INIA N°01
COORDENADAS:				E:0290784
UTM WGS 84:				N:8096850
PRODUCTO:				Agua Natural
SUB PRODUCTO:				Agua Subterránea
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:				I-OPE-1.8 MUESTREO DE AGUA SUBTERRÁNEA
FECHA y HORA DE MUESTREO:				06-10-2023 08:35
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS
Aroclor 1254 (*)	mg/L	0,000002	0,000005	<0,000002
Aroclor 1260 (*)	mg/L	0,000002	0,000005	<0,000002
<b>Pesticidas Organofosforados</b>				
Paratión (*)	mg/L	0,000001	0,000002	<0,000002

(\*) Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

<sup>2</sup> Ensayo acreditado por el IAS

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, \*<= Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, \*<= Menor que el L.D.M.

"FIN DE DOCUMENTO"



ALFONSO EDUARDO RONCEROS ANTAY  
INGENIERO QUÍMICO  
Reg. CIP. N° 153434



LABORATORIO DE ENSAYO  
ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO DE  
ACREDITACION INACAL-DA  
CON REGISTRO N° LE - 096



Registro N° LE - 096



## INFORME DE ENSAYO N°: IE-23-17669


N° Id.: 0000061346

### I. DATOS DEL SERVICIO

1.-RAZON SOCIAL : DISTRIBUCIONES Y SERVICIOS CHEM E.I.R.L.  
2.-DIRECCIÓN : AV. PARRA NRO. 401 AREQUIPA - AREQUIPA - AREQUIPA  
3.-PROYECTO : SERV. Y ANALISIS DE CALIDAD DE AGUA DE LAS ESTACIONES DE BOMBEO DE AGUA SUBTERRANEA DE MOQUEGUA - ILO  
4.-PROCEDENCIA : ESTACIONES DE BOMBEO MOQUEGUA - ILO  
5.-SOLICITANTE : DISTRIBUCIONES Y SERVICIOS CHEM E.I.R.L.  
6.-INTERESADO : BORIS ARANDA HUACAN  
7.-PROCEDIMIENTO DE MUESTREO : P-OPE-1 MUESTREO  
8.-MUESTREADO POR : ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L.  
9.-FECHA DE EMISIÓN DE INFORME : 2023-10-25

### II. DATOS DE ÍTEMS DE ENSAYO

1.-PRODUCTO : Agua  
2.-NÚMERO DE MUESTRAS : 1  
3.-FECHA DE RECEP. DE MUESTRA : 2023-10-06  
4.-PERÍODO DE ENSAYO : 2023-10-06 al 2023-10-25

  
Liz Quispe Quispe  
Jefe de Laboratorio  
CIP N°211662

Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados. No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory E.I.R. L. Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.  
Su adulteración o su uso indebido constituye delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales en la materia.

  
ALFONSO EDUARDO RONCEROS ANTAY  
INGENIERO QUÍMICO  
Reg. CIP. N° 153434



LABORATORIO DE ENSAYO  
ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO DE  
ACREDITACION INACAL-DA  
CON REGISTRO N° LE - 096



Registro N° LE - 096



INFORME DE ENSAYO N°: IE-23-17669

N° Id.: 000061346

III. MÉTODOS Y REFERENCIAS

TIPO DE ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA	TÍTULO
Coliformes Fecales (Termotolerantes) (NMP) <sup>2</sup>	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 F.2, 23rd Ed. 2017.	Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Escherichia coli Procedure Using Fluorogenic Substrate. Simultaneous Determination of Termotolerant Coliforms and E.coli.
Escherichia coli (NMP) <sup>2</sup>	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 F.2, 23rd Ed. 2017.	Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Escherichia coli Procedure Using Fluorogenic Substrate. Simultaneous Determination of Termotolerant Coliforms and E.coli.
Huevos de Helmintos <sup>2</sup>	MVAL-LAB-24, Validado, 2018.	Cuantificación e Identificación de Huevos de Helmintos en Agua.
Cianuro WAD <sup>(1)</sup>	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-CN <sup>-</sup> 1, F, 23 rd Ed. 2017	Weak Acid Dissociable Cyanide. Cyanide-Selective Electrode Method
Conductividad <sup>2</sup>	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2510 B 23rd Ed. 2017	Conductivity. Laboratory Method.
Demanda Bioquímica de Oxígeno <sup>(1)</sup>	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23 rd Ed. 2017	Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test
Oxígeno Disuelto <sup>2</sup>	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-O G. 23rd Ed. 2017	Oxygen (Dissolved). Membrana Electrode Method
pH <sup>2</sup>	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+ B, 23 rd Ed. 2017	pH Value Electrometric Method
Temperatura <sup>2</sup>	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2550 B. 23rd Ed. 2017	Temperature. Laboratory and Field Methods
Aceites y Grasas <sup>(1)</sup>	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5520 B, 23 rd Ed 2017	Oil and Grease. Liquid-Liquid, Partition-Gravimetric Method
Alcalinidad por Bicarbonatos <sup>(1)</sup>	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2320 B, 23 rd Ed. 2017	Alkalinity. Titration Method
Color <sup>(1)</sup>	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2120 C, 23 rd Ed. 2017	Color. Spectrophotometric - Single - Wavelength Method
Demanda Química de Oxígeno <sup>(1)</sup>	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23 rd Ed. 2017	Chemical Oxygen Demand, Closed Reflux, Colorimetric Method
Detergentes <sup>(1)</sup>	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5540 C, 23 rd Ed. 2017	Surfactants. Anionic Surfactants as MBAS
Fenol <sup>(1)</sup>	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5530 B, C, 23 rd Ed. 2017	Phenols. Cleanup Procedure. Chloroform Extraction Method

<sup>1</sup>"SMEWW" : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater

<sup>(1)</sup> Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

<sup>2</sup> Ensayo acreditado por el IAS



ALFONSO EDUARDO RONCEROS ANÍA  
INGENIERO QUÍMICO  
Reg. CIP. N° 153434



Metodología (2/2) del análisis de laboratorio (calidad del agua subterránea en estación de bombeo POZO IRHS – 009 INIA N°2.



LABORATORIO DE ENSAYO  
ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO DE  
ACREDITACION INACAL-DA  
CON REGISTRO N° LE - 096



Registro N° LE - 096



INFORME DE ENSAYO N°: IE-23-17669

N° Id.: 000061346

TIPO DE ENSAYO	NORMAL REFERENCIA	TÍTULO
Aldicarb <sup>2</sup>	EPA 8270E Rev.6, 2018. VALIDATED (Applied out of reach), 2019.	Semivolatile Organic Compounds by Gas Chromatography/Mass Spectrometry.
Aniones <sup>(1)</sup>	EPA Method 300.0 Rev.2.1, 1993	Determination of Inorganic anions by ion chromatography.
Pesticidas Organoclorados <sup>(1)</sup>	EPA Method 8081 B, Rev 2. 2007.	Organochlorine Pesticides by Gas Chromatography.
Metales Totales ICP-MS <sup>(1)</sup>	Method 200.8, Revision 5.4 1994. (VALIDADO - Aplicado fuera del alcance: Bi, B, Ca, Ce, Cs, Fe, Ga, Ge, Hf, K, La, Li, Lu, Mg, Na, Nb, P, Rb, Si, Sn, Sr, Ta, Te, Ti, W, Yb, Zr), 2021.	Determination of Trace Elements in Waters and Wastes by Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry.
Bifenilos Policlorados PCBs (Como Arocloros) <sup>(1)</sup>	EPA Method 8082 A Rev. 01. 2007.	Polychlorinated Biphenyls (PCBs) by Gas Chromatography.
Pesticidas Organofosforados <sup>(1)</sup>	EPA Method 8270E / Rev.6 2018.	Semivolatile Organic Compounds by Gas Chromatography /Mass Spectrometry.

\*EPA\*: U. S. Environmental Protection Agency. Methods for Chemicals Analysis

<sup>(1)</sup> Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

<sup>2</sup> Ensayo acreditado por el IAS



ALFONSO EDUARDO RÓNCEROS ANTAY  
INGENIERO QUÍMICO  
Reg. CIP. N° 153434



LABORATORIO DE ENSAYO  
ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO DE  
ACREDITACION INACAL-DA  
CON REGISTRO N° LE - 096



Registro N° LE - 096



INFORME DE ENSAYO N°: IE-23-17669

N° Id.: 000061346

IV. RESULTADOS

ITEM				1
CÓDIGO DE LABORATORIO:				M-23-53785
CÓDIGO DEL CLIENTE:				POZO IRHS - 09 INIA N°02
COORDENADAS:				E:0290596
UTM WGS 84:				N:8096401
PRODUCTO:				Agua Natural
SUB PRODUCTO:				Agua Subterránea
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:				I-OPE-1.8 MUESTREO DE AGUA SUBTERRÁNEA
FECHA y HORA DE MUESTREO :				05-10-2023 15:15
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS
Coliformes Fecales (Termotolerantes) (NMP) <sup>2</sup>	NMP/100mL	NA	1,8	9 200,0
Escherichia coli (NMP) <sup>2</sup>	NMP/100mL	NA	1,8	3 500,0
Huevos de Helminthos <sup>2</sup>	Huevo/L	NA	1,0	<1,0
Cianuro WAD (*)	mg/L	0,0015	0,0030	<0,0030
Conductividad <sup>2</sup>	µS/cm	NA	0,01	1 031,00
Demanda Bioquímica de Oxígeno (*)	mg/L	0,4	2,0	<2,0
Oxígeno Disuelto <sup>2</sup>	mg/L	NA	0,10	3,20
pH <sup>2</sup>	Unidad de pH	NA	0,01	6,23
Temperatura <sup>2</sup>	(°C)	NA	0,1	23,4
Aceites y Grasas (*)	mg/L	0,30	0,50	<0,50
Alcalinidad por Bicarbonatos (*)	mg CaCO3/L	2,00	5,00	192,33
Color (*)	(UC)	2,0	5,0	<5,0
Demanda Química de Oxígeno (*)	mg/L	2,0	5,0	<5,0
Detergentes (*)	mg/L	0,007	0,020	<0,020
Fenol (*)	mg/L	0,000	0,001	<0,001
Aldicarb <sup>2</sup>	mg/L	0,00003	0,00010	<0,00010
<b>Aniones</b>				
Cloruro (*)	mg/L	0,4	1,0	88,0
Fluoruro (*)	mg/L	0,08	0,20	<0,20

(<sup>1</sup>) Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

<sup>2</sup> Ensayo acreditado por el IAS

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<"= Menor que el L.C.M.  
L.D.M.: Límite de detección del método, "<"= Menor que el L.D.M.



ALFONSO EDUARDO RONCEROS ANTAY  
INGENIERO QUÍMICO  
Reg. CIP. N° 153434

Resultados (2/4) del análisis de la calidad del agua subterránea en estación de bombeo POZO IRHS – 009 INIA N°2.



LABORATORIO DE ENSAYO  
ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO DE  
ACREDITACION INACAL-DA  
CON REGISTRO N° LE - 096



Registro N° LE - 096



**INFORME DE ENSAYO N°: IE-23-17669**

N° Id.: 0000061346

ITEM				1
CÓDIGO DE LABORATORIO:				M-23-53785
CÓDIGO DEL CLIENTE:				POZO IRHS - 09 INIA N°02
COORDENADAS:				E:0290596
UTM WGS 84:				N:8096401
PRODUCTO:				Agua Natural
SUB PRODUCTO:				Agua Subterránea
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:				I-OPE-1.8 MUESTREO DE AGUA SUBTERRÁNEA
FECHA y HORA DE MUESTREO:				05-10-2023 15:15
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS
Nitrato (*)	mg/L	0,02	0,05	21,90
Nitrato (*)	mg/L	0,02	0,05	<0,05
Sulfato (*)	mg/L	0,2	0,5	240,5
<b>Pesticidas Organoclorados</b>				
4,4 -DDT (*)	mg/L	0,000003	0,000010	<0,000010
Aldrin (*)	mg/L	0,000003	0,000010	<0,000010
Clordano (Total de Isómeros) (*)	mg/L	0,000003	0,000010	<0,000010
Dieldrin (*)	mg/L	0,000003	0,000010	<0,000010
Endosulfan I (*)	mg/L	0,000003	0,000010	<0,000010
Endosulfan II (*)	mg/L	0,000003	0,000010	<0,000010
Endrin (*)	mg/L	0,000003	0,000010	<0,000010
Heptacloro + Heptacloro Epóxido (*)	mg/L	0,000003	0,000010	<0,000010
Lindano (*)	mg/L	0,000003	0,000010	<0,000010
<b>Metales Totales ICP-MS</b>				
Aluminio (*)	mg/L	0,001	0,003	0,031
Arsénico (*)	mg/L	0,0002	0,0010	<0,0010
Bario (*)	mg/L	0,00008	0,00030	0,08490
Berilio (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003
Boro (*)	mg/L	0,0003	0,0010	0,8706

<sup>1)</sup> Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

<sup>2)</sup> Ensayo acreditado por el IAS

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<"= Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, "<"= Menor que el L.D.M.

  
ALFONSO EDUARDO RONCEROS ANTAY  
INGENIERO QUÍMICO  
Reg. CIP. N° 153434



LABORATORIO DE ENSAYO  
ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO DE  
ACREDITACION INACAL-DA  
CON REGISTRO N° LE - 096



Registro N° LE - 096



TL - 833



IAS TL-1007

INFORME DE ENSAYO N°: IE-23-17669

N° Id.: 000061346

ITEM				1
CÓDIGO DE LABORATORIO:				M-23-53785
CÓDIGO DEL CLIENTE:				POZO IRHS - 09 INIA N°02
COORDENADAS:				E:0290596
UTM WGS 84:				N:8096401
PRODUCTO:				Agua Natural
SUB PRODUCTO:				Agua Subterránea
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:				I-OPE-1.8 MUESTREO DE AGUA SUBTERRÁNEA
FECHA y HORA DE MUESTREO:				05-10-2023 15:15
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS
Cadmio (*)	mg/L	0,0001	0,0002	<0,0002
Cobalto (*)	mg/L	0,0005	0,0020	<0,0020
Cobre (*)	mg/L	0,0001	0,0002	0,0399
Cromo (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003
Hierro (*)	mg/L	0,001	0,002	0,128
Litio (*)	mg/L	0,00003	0,00010	0,07450
Magnesio (*)	mg/L	0,0006	0,0020	15,1244
Manganeso (*)	mg/L	0,00002	0,00005	0,00770
Mercurio (*)	mg/L	0,000033	0,000100	<0,000100
Niquel (*)	mg/L	0,0001	0,0004	<0,0004
Plomo (*)	mg/L	0,0008	0,0010	<0,0010
Selenio (*)	mg/L	0,001	0,002	<0,002
Zinc (*)	mg/L	0,0001	0,0002	0,0506
<b>Bifenilos Policlorados PCBs (Como Arocloros)</b>				
Aroclor 1016 (*)	mg/L	0,000002	0,000005	<0,000002
Aroclor 1221 (*)	mg/L	0,000002	0,000005	<0,000002
Aroclor 1232 (*)	mg/L	0,000002	0,000005	<0,000002
Aroclor 1242 (*)	mg/L	0,000002	0,000005	<0,000002
Aroclor 1248 (*)	mg/L	0,000002	0,000005	<0,000002

(\*) Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

<sup>2</sup> Ensayo acreditado por el IAS

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<"= Menor que el L.C.M.  
L.D.M.: Límite de detección del método, "<"= Menor que el L.D.M.

ALFONSO EDUARDO RONCEROS ANTAY  
INGENIERO QUÍMICO  
Reg. CIP. N° 153434

Resultados (4/4) del análisis de la calidad del agua subterránea en estación de bombeo POZO IRHS – 009 INIA N°2.



LABORATORIO DE ENSAYO  
ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO DE  
ACREDITACION INACAL-DA  
CON REGISTRO N° LE - 096



Registro N° LE - 096



ACCREDITED  
Testing Laboratory  
TL - 833



ACCREDITED  
Testing Laboratory  
IAS TL-1007

**INFORME DE ENSAYO N°: IE-23-17669**

N° Id.: 0000061346

<b>ITEM</b>				<b>1</b>
CÓDIGO DE LABORATORIO:				M-23-53785
CÓDIGO DEL CLIENTE:				POZO IRHS - 09 INIA N°02
COORDENADAS:				E:0290596
UTM WGS 84:				N:8096401
PRODUCTO:				Agua Natural
SUB PRODUCTO:				Agua Subterránea
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:				I-OPE-1.8 MUESTREO DE AGUA SUBTERRÁNEA
FECHA y HORA DE MUESTREO:				05-10-2023 15:15
<b>ENSAYO</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>L.D.M.</b>	<b>L.C.M.</b>	<b>RESULTADOS</b>
Aroclor 1254 (*)	mg/L	0,000002	0,000005	<0,000002
Aroclor 1260 (*)	mg/L	0,000002	0,000005	<0,000002
<b>Pesticidas Organofosforados</b>				
Paratión (*)	mg/L	0,000001	0,000002	<0,000002

(\*) Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

<sup>2</sup> Ensayo acreditado por el IAS

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<"= Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, "<"= Menor que el L.D.M.

"FIN DE DOCUMENTO"



ALFONSO EDUARDO ROMCEROS ANTAY  
INGENIERO QUÍMICO  
Reg. CIP. N° 153434



LABORATORIO DE ENSAYO  
ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO DE  
ACREDITACION INACAL-DA  
CON REGISTRO N° LE - 096



Registro N° LE - 096



## INFORME DE ENSAYO N°: IE-23-17746


N° Id.: 0000061423

### I. DATOS DEL SERVICIO

1.-RAZON SOCIAL : DISTRIBUCIONES Y SERVICIOS CHEM E.I.R.L.  
2.-DIRECCIÓN : AV. PARRA NRO. 401 AREQUIPA - AREQUIPA - AREQUIPA  
3.-PROYECTO : SERV. Y ANALISIS DE CALIDAD DE AGUA DE LAS ESTACIONES DE BOMBEO DE AGUA SUBTERRANEA DE MOQUEGUA - ILO  
4.-PROCEDENCIA : ESTACIONES DE BOMBEO MOQUEGUA - ILO  
5.-SOLICITANTE : DISTRIBUCIONES Y SERVICIOS CHEM E.I.R.L.  
6.-INTERESADO : BORIS ARANDA HUACAN  
7.-PROCEDIMIENTO DE MUESTREO : P-OPE-1 MUESTREO  
8.-MUESTREO POR : ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L.  
9.-FECHA DE EMISIÓN DE INFORME : 2023-10-25

### II. DATOS DE ÍTEMS DE ENSAYO

1.-PRODUCTO : Agua  
2.-NÚMERO DE MUESTRAS : 1  
3.-FECHA DE RECEP. DE MUESTRA : 2023-10-07  
4.-PERÍODO DE ENSAYO : 2023-10-07 al 2023-10-25

  
Liz Quispe Quispe  
Jefe de Laboratorio  
CIP N°211662

Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados. No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory E.I.R. L. Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Su adulteración o su uso indebido constituye delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales en la materia.

  
ALFONSO EDUARDO RONCEROS ANTAY  
INGENIERO QUÍMICO  
Reg. CIP. N° 153434



LABORATORIO DE ENSAYO  
ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO DE  
ACREDITACION INACAL-DA  
CON REGISTRO N° LE - 096



Registro N° LE - 096



**INFORME DE ENSAYO N°: IE-23-17746**

N° Id.: 0000061423

**III. MÉTODOS Y REFERENCIAS**

TIPO DE ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA	TÍTULO
Coliformes Fecales (Termotolerantes) (NMP) <sup>2</sup>	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 F.2, 23rd Ed. 2017.	Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Escherichia coli Procedure Using Fluorogenic Substrate. Simultaneous Determination of Termotolerant Coliforms and E.coli.
Escherichia coli (NMP) <sup>2</sup>	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 F.2, 23rd Ed. 2017.	Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Escherichia coli Procedure Using Fluorogenic Substrate. Simultaneous Determination of Termotolerant Coliforms and E.coli.
Huevos de Helmintos <sup>2</sup>	MVAL-LAB-24, Validado, 2018.	Cuantificación e Identificación de Huevos de Helmintos en Agua.
Cianuro WAD <sup>(1)</sup>	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-CN <sup>-</sup> 1, F, 23 rd Ed. 2017	Weak Acid Dissociable Cyanide. Cyanide-Selective Electrode Method
Conductividad <sup>2</sup>	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2510 B 23rd Ed. 2017	Conductivity. Laboratory Method.
Demanda Bioquímica de Oxígeno <sup>(1)</sup>	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23 rd Ed. 2017	Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test
Oxígeno Disuelto <sup>2</sup>	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-O G. 23rd Ed. 2017	Oxygen (Dissolved). Membrana Electrode Method
pH <sup>2</sup>	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+ B, 23 rd Ed. 2017	pH Value Electrometric Method
Temperatura <sup>2</sup>	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2550 B. 23rd Ed. 2017	Temperature. Laboratory and Field Methods
Aceites y Grasas <sup>(1)</sup>	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5520 B, 23 rd Ed 2017	Oil and Grease. Liquid-Liquid, Partition-Gravimetric Method
Alcalinidad por Bicarbonatos <sup>(1)</sup>	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2320 B, 23 rd Ed. 2017	Alkalinity. Titration Method
Color <sup>(1)</sup>	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2120 C, 23 rd Ed. 2017	Color. Spectrophotometric - Single - Wavelength Method
Demanda Química de Oxígeno <sup>(1)</sup>	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23 rd Ed. 2017	Chemical Oxygen Demand, Closed Reflux, Colorimetric Method
Detergentes <sup>(1)</sup>	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5540 C, 23 rd Ed. 2017	Surfactants. Anionic Surfactants as MBAS
Fenol <sup>(1)</sup>	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5530 B, C, 23 rd Ed. 2017	Phenols. Cleanup Procedure. Chloroform Extraction Method

"SMEWW" : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater

<sup>(1)</sup> Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

<sup>2</sup> Ensayo acreditado por el IAS



ALFONSO EDUARDO ROMCEROS ANTAY  
INGENIERO QUÍMICO  
Reg. CIP. N° 153434



LABORATORIO DE ENSAYO  
ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO DE  
ACREDITACION INACAL-DA  
CON REGISTRO N° LE - 096



Registro N° LE - 096



**INFORME DE ENSAYO N°: IE-23-17746**

N° Id.: 0000061423

TIPO DE ENSAYO	NORMAL REFERENCIA	TÍTULO
Aldicarb <sup>2</sup>	EPA 8270E Rev.6, 2018. VALIDATED (Applied out of reach), 2019.	Semivolatile Organic Compounds by Gas Chromatography/Mass Spectrometry.
Aniones <sup>(1)</sup>	EPA Method 300.0 Rev.2.1, 1993	Determination of inorganic anions by ion chromatography.
Pesticidas Organoclorados <sup>(1)</sup>	EPA Method 8081 B, Rev 2. 2007.	Organochlorine Pesticides by Gas Chromatography.
Metales Totales ICP-MS <sup>(1)</sup>	Method 200.8, Revision 5.4 1994. (VALIDADO - Aplicado fuera del alcance: Bi, B, Ca, Ce, Cs, Fe, Ga, Ge, Hf, K, La, Li, Lu, Mg, Na, Nb, P, Rb, Si, Sn, Sr, Ta, Te, Ti, W, Yb, Zr), 2021.	Determination of Trace Elements in Waters and Wastes by Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry.
Bifenilos Policlorados PCBs (Como Arocloros) <sup>(1)</sup>	EPA Method 8082 A Rev. 01. 2007.	Polychlorinated Biphenyls (PCBs) by Gas Chromatography.
Pesticidas Organofosforados <sup>(1)</sup>	EPA Method 8270E / Rev.6 2018.	Semivolatile Organic Compounds by Gas Chromatography /Mass Spectrometry.

"EPA" : U. S. Environmental Protection Agency. Methods for Chemicals Analysis

<sup>(1)</sup> Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

<sup>2</sup> Ensayo acreditado por el IAS



ALFONSO EDUARDO RONCEROS ANTAY  
INGENIERO QUÍMICO  
Reg. CIP. N° 153434



Resultados (1/4) del análisis de la calidad del agua subterránea en estación de bombeo POZO IRHS-035 – La Cara.



LABORATORIO DE ENSAYO  
ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO DE  
ACREDITACION INACAL-DA  
CON REGISTRO N° LE - 096



Registro N° LE - 096



INFORME DE ENSAYO N°: IE-23-17746

N° Id.: 0000061423

IV. RESULTADOS

ITEM				1
CÓDIGO DE LABORATORIO:				M-23-54057
CÓDIGO DEL CLIENTE:				POZO IRHS - 035 LA CARA
COORDENADAS:				E:0254065
UTM WGS 84:				N:8060334
PRODUCTO:				Agua Natural
SUB PRODUCTO:				Agua Subterránea
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:				I-OPE-1.8 MUESTREO DE AGUA SUBTERRÁNEA
FECHA y HORA DE MUESTREO :				06-10-2023 14:00
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS
Coliformes Fecales (Termotolerantes) (NMP) <sup>2</sup>	NMP/100mL	NA	1,8	11,0
Escherichia coli (NMP) <sup>2</sup>	NMP/100mL	NA	1,8	4,5
Huevos de Helminthos <sup>2</sup>	Huevo/L	NA	1,0	<1,0
Cianuro WAD (*)	mg/L	0,0015	0,0030	<0,0030
Conductividad <sup>2</sup>	µS/cm	NA	0,01	3 026,00
Demanda Bioquímica de Oxígeno (*)	mg/L	0,4	2,0	3,8
Oxígeno Disuelto <sup>2</sup>	mg/L	NA	0,10	2,45
pH <sup>2</sup>	Unidad de pH	NA	0,01	7,80
Temperatura <sup>2</sup>	(°C)	NA	0,1	22,2
Aceites y Grasas (*)	mg/L	0,30	0,50	<0,50
Alcalinidad por Bicarbonatos (*)	mg CaCO3/L	2,00	5,00	116,20
Color (*)	(UC)	2,0	5,0	6,9
Demanda Química de Oxígeno (*)	mg/L	2,0	5,0	9,2
Detergentes (*)	mg/L	0,007	0,020	<0,020
Fenol (*)	mg/L	0,000	0,001	<0,001
Aldicarb <sup>2</sup>	mg/L	0,00003	0,00010	<0,00010
<b>Aniones</b>				
Cloruro (*)	mg/L	0,4	1,0	675,4
Fluoruro (*)	mg/L	0,08	0,20	<0,20

(\*) Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

<sup>2</sup> Ensayo acreditado por el IAS

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<"= Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, "<"= Menor que el L.D.M.

  
ALFONSO EDUARDO RONCEROS ANTAY  
INGENIERO QUÍMICO  
Reg. CIP. N° 153434

Resultados (2/4) del análisis de la calidad del agua subterránea en estación de bombeo POZO IRHS-035 – La Cara.



LABORATORIO DE ENSAYO  
ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO DE  
ACREDITACION INACAL-DA  
CON REGISTRO N° LE - 096



Registro N° LE - 096



INFORME DE ENSAYO N°: IE-23-17746

N° Id.: 000061423

ITEM				1
CÓDIGO DE LABORATORIO:				M-23-54057
CÓDIGO DEL CLIENTE:				POZO IRHS - 035 LA CARA
COORDENADAS:				E:0254065
UTM WGS 84:				N:8050334
PRODUCTO:				Agua Natural
SUB PRODUCTO:				Agua Subterránea
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:				I-OPE-1.8 MUESTREO DE AGUA SUBTERRÁNEA
FECHA y HORA DE MUESTREO:				06-10-2023 14:00
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS
Nitrato (*)	mg/L	0,02	0,05	0,62
Nitrato (*)	mg/L	0,02	0,05	<0,05
Sulfato (*)	mg/L	0,2	0,5	720,9
<b>Pesticidas Organoclorados</b>				
4,4 -DDT (*)	mg/L	0,0000003	0,0000010	<0,0000010
Aldrin (*)	mg/L	0,0000003	0,0000010	<0,0000010
Clordano (Total de Isómeros) (*)	mg/L	0,0000003	0,0000010	<0,0000010
Dieldrin (*)	mg/L	0,0000003	0,0000010	<0,0000010
Endosulfan I (*)	mg/L	0,0000003	0,0000010	<0,0000010
Endosulfan II (*)	mg/L	0,0000003	0,0000010	<0,0000010
Endrin (*)	mg/L	0,0000003	0,0000010	<0,0000010
Heptacloro + Heptacloro Epóxido (*)	mg/L	0,0000003	0,0000010	<0,0000010
Lindano (*)	mg/L	0,0000003	0,0000010	<0,0000010
<b>Metales Totales ICP-MS</b>				
Aluminio (*)	mg/L	0,001	0,003	0,013
Arsénico (*)	mg/L	0,0002	0,0010	<0,0010
Bario (*)	mg/L	0,00008	0,00030	0,02650
Berilio (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003
Boro (*)	mg/L	0,0003	0,0010	1,2677

(\*) Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

<sup>2</sup> Ensayo acreditado por el IAS

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<"= Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, "<"= Menor que el L.D.M.



ALFONSO EDUARDO RONCEROS ANTAY  
INGENIERO QUÍMICO  
Reg. CIP. N° 153434

Resultados (3/4) del análisis de la calidad del agua subterránea en estación de bombeo POZO IRHS-035 – La Cara.



LABORATORIO DE ENSAYO  
ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO DE  
ACREDITACION INACAL-DA  
CON REGISTRO N° LE - 096



Registro N° LE - 096



INFORME DE ENSAYO N°: IE-23-17746

N° Id.: 000061423

ITEM				1
CÓDIGO DE LABORATORIO:				M-23-54057
CÓDIGO DEL CLIENTE:				POZO IRHS - 035 LA CARA
COORDENADAS:				E:0254065
UTM WGS 84:				N:8050334
PRODUCTO:				Agua Natural
SUB PRODUCTO:				Agua Subterránea
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:				I-OPE-1.8 MUESTREO DE AGUA SUBTERRÁNEA
FECHA y HORA DE MUESTREO:				06-10-2023 14:00
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS
Cadmio (*)	mg/L	0,0001	0,0002	<0,0002
Cobalto (*)	mg/L	0,0005	0,0020	<0,0020
Cobre (*)	mg/L	0,0001	0,0002	0,0539
Cromo (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003
Hierro (*)	mg/L	0,001	0,002	0,292
Litio (*)	mg/L	0,00003	0,00010	0,06560
Magnesio (*)	mg/L	0,0006	0,0020	7,7344
Manganeso (*)	mg/L	0,00002	0,00005	0,08460
Mercurio (*)	mg/L	0,000033	0,000100	<0,000100
Niquel (*)	mg/L	0,0001	0,0004	<0,0004
Plomo (*)	mg/L	0,0008	0,0010	<0,0010
Selenio (*)	mg/L	0,001	0,002	<0,002
Zinc (*)	mg/L	0,0001	0,0002	0,0471
<b>Bifenilos Policlorados PCBs (Como Arocloros)</b>				
Aroclor 1016 (*)	mg/L	0,000002	0,000005	<0,000002
Aroclor 1221 (*)	mg/L	0,000002	0,000005	<0,000002
Aroclor 1232 (*)	mg/L	0,000002	0,000005	<0,000002
Aroclor 1242 (*)	mg/L	0,000002	0,000005	<0,000002
Aroclor 1248 (*)	mg/L	0,000002	0,000005	<0,000002

(\*) Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

<sup>2</sup> Ensayo acreditado por el IAS

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<"= Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, "<"= Menor que el L.D.M.



ALFONSO EDUARDO RONCEROS ANTAY  
INGENIERO QUÍMICO  
Reg. CIP. N° 153434

Resultados (4/4) del análisis de la calidad del agua subterránea en estación de bombeo POZO IRHS-035 – La Cara.



LABORATORIO DE ENSAYO  
ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO DE  
ACREDITACION INACAL-DA  
CON REGISTRO N° LE - 096



Registro N° LE - 096



**INFORME DE ENSAYO N°: IE-23-17746**

N° Id.: 000061423

<b>ITEM</b>				<b>1</b>
CÓDIGO DE LABORATORIO:				M-23-54057
CÓDIGO DEL CLIENTE:				POZO IRHS - 035 LA CARA
COORDENADAS:				E:0254065
UTM WGS 84:				N:8050334
PRODUCTO:				Agua Natural
SUB PRODUCTO:				Agua Subterránea
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:				I-OPE-1.8 MUESTREO DE AGUA SUBTERRÁNEA
FECHA y HORA DE MUESTREO:				06-10-2023 14:00
<b>ENSAYO</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>L.D.M.</b>	<b>L.C.M.</b>	<b>RESULTADOS</b>
Aroclor 1254 (*)	mg/L	0,000002	0,000005	<0,000002
Aroclor 1260 (*)	mg/L	0,000002	0,000005	<0,000002
<b>Pesticidas Organofosforados</b>				
Paratión (*)	mg/L	0,000001	0,000002	<0,000002

(\*) Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

<sup>2</sup> Ensayo acreditado por el IAS

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<=" Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, "<=" Menor que el L.D.M.

"FIN DE DOCUMENTO"



ALFONSO EDUARDO RONCEROS ANTAY  
INGENIERO QUÍMICO  
Reg. CIP. N° 153434

# Certificado



La Dirección de Acreditación del Instituto Nacional de Calidad - INACAL, en el marco de la Ley N° 30224, **OTORGA** el presente certificado de Renovación de la Acreditación al:

## **ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L.**

**Laboratorio de Ensayo**

Prolongación Zarumilla, Mz D2 Lt 3, Asociación Daniel Alcides Carrión, distrito de Bellavista, provincia constitucional del Callao, departamento de Lima

Con base en la norma

**NTP-ISO/IEC 17025:2017 Requisitos Generales para la Competencia de los Laboratorios de Ensayo y Calibración**

Facultándolo a emitir Informes de Ensayo con Símbolo de Acreditación. En el alcance de la acreditación otorgada que se detalla en el DA-acr-06P-21F que forma parte integral del presente certificado llevando el mismo número del registro indicado líneas abajo.

Fecha de Renovación: 26 de julio de 2019

Fecha de Vencimiento: 25 de julio de 2024

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Estela Contreras Jugo', is written over a horizontal line.

ESTELA CONTRERAS JUGO  
Directora, Dirección de Acreditación - INACAL

Cédula N° : 0547-2019/INACAL-DA  
Contrato N° : Adenda al Contrato de Acreditación  
N°025-16/INACAL-DA  
Registro N° : LE-096

Fecha de emisión: 24 de julio de 2019

*El presente certificado tiene validez con su correspondiente Alcance de Acreditación y cédula de notificación dado que el alcance puede estar sujeto a ampliaciones, reducciones, actualizaciones y suspensiones temporales. El alcance y vigencia debe confirmarse en la página web [www.inacal.gob.pe/acreditacion/categoria/creditados](http://www.inacal.gob.pe/acreditacion/categoria/creditados) al momento de hacer uso del presente certificado.*

*La Dirección de Acreditación del INACAL es firmante del Acuerdo de Reconocimiento Multilateral (MLA) del Inter American Accreditation Cooperation (IAAC) e International Accreditation Forum (IAF) y del Acuerdo de Reconocimiento Mutuo con la International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC)*



# CERTIFICATE OF ACCREDITATION

*This is to attest that*

## **ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L**

OFFICE: PROLONGACION ZARUMILLA MZ D2 LOTE3 - BELLAVISTA-PROV. CONSTITUCIONAL DEL CALLAO-LIMA, PERU

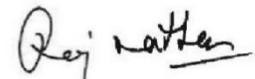
LABORATORY: AV. GUARDIA CHALACA NO 1877 BELLAVISTA - PROV. CONSTITUCIONAL DEL CALLAO, LIMA, 07001, REPUBLIC OF PERU

**Testing Laboratory TL-833**

has met the requirements of AC89, *IAS Accreditation Criteria for Testing Laboratories*, and has demonstrated compliance with ISO/IEC Standard 17025:2017, *General requirements for the competence of testing and calibration laboratories*. This organization is accredited to provide the services specified in the scope of accreditation.

Effective Date December 9, 2021



  
President

IAS is an ILAC MRA Signatory

Visit [www.iasonline.org](http://www.iasonline.org) for current accreditation information.

DE-LAB-56-1



# CERTIFICATE OF ACCREDITATION

*This is to attest that*

**ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L**  
URBANIZACIÓN TAHUAYCANI MZ C, LT 27, DISTRITO DE SACHACA  
AREQUIPA, REPUBLIC OF PERÚ

**Testing Laboratory TL-1007**

has met the requirements of AC89, *IAS Accreditation Criteria for Testing Laboratories*, and has demonstrated compliance with ISO/IEC Standard 17025:2017, *General requirements for the competence of testing and calibration laboratories*. This organization is accredited to provide the services specified in the scope of accreditation.

Effective Date August 24, 2021



A handwritten signature in black ink, appearing to read "Raj Nathan".

**President**

### CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LFQA-0106-2023

Expediente : 001085

Página 1 de 2

Fecha de emisión : 2023-09-10

- 1. Solicitante** : Analytical Laboratory E.I.R.L.
- 2. Dirección** : Av. Guardia Chalaca 1877 - Bellavista - Callao - Callao
- 3. Instrumento** : Medidor de pH (Multiparámetro)
- Marca : HACH
- Modelo : HQ40d
- Número de serie : 200600037943
- Serie del electrodo : 170872568034
- Identificación : EM-OPE-1238
- Procedencia : U.S.A
- Intervalo de medida : 0 a 14 pH
- Resolución : 0,1 pH / 0,01 pH / 0,001 pH
- 4. Lugar de calibración** : En el Laboratorio de Físico Química de ALAB E.I.R.L.
- 5. Fecha de calibración** : 2023-09-10
- 6. Método de calibración** : La calibración se realizó por comparación con material de referencia certificado según el procedimiento PC-020 "Procedimiento para la calibración de medidores de pH". Segunda Edición. 2017. INACAL.

Los resultados presentados corresponden sólo al ítem calibrado y se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones y no deben utilizarse como certificado de conformidad con normas de producto.

El certificado de calibración es un documento oficial de interés público, su adulteración o uso indebido constituye delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones penales y civiles en la materia. Sin perjuicio de lo señalado, dicho uso puede configurar por sus efectos una infracción a las normas de protección al consumidor y las que regulan la libre competencia.

Al usuario le corresponde disponer en su momento la ejecución de una nueva calibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

ALAB E.I.R.L. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

Este certificado de calibración es trazable a patrones nacionales o internacionales, los cuales realizan las unidades de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades.

Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente, excepto con autorización expresa por escrito de ALAB E.I.R.L.

El certificado de calibración no es válido sin la firma del responsable técnico de ALAB E.I.R.L.

**7. Trazabilidad :**

Se utilizó los siguiente materiales de referencia certificados :

pH	N° Lote	Certificado de Análisis	Incertidumbres (pH)
4,007	CC721421	4280-12172020	0,011
6,995	CC729852	4281-12451546	0,011
10,009	CC720358	4282-12147180	0,011

Un termómetro de código PTT-002 con Certificado de Calibración N° LT - 009 - 2023



Meyler Villalobos Bravo  
Responsable del Laboratorio de Físicoquímica



ALFONSO EDUARDO RONCEROS ANTAY  
INGENIERO QUÍMICO  
Reg. CIP. N° 153434

Certificado de Calibración N° LFQA-0106-2023

Página 2 de 2

**8. Condiciones ambientales :**

	Inicial	Final
Temperatura Ambiental :	25,2 °C	25,3 °C
Humedad Relativa :	63 % h.r.	63 % h.r.

**9. Resultados :**

INDICACIÓN PROMEDIO DEL PHMETRO (pH)	SOLUCIÓN TAMPÓN (BUFFER) PATRÓN (pH)	ERROR PROMEDIO ENCONTRADO (pH)	INCERTIDUMBRE (pH)
4,01	4,007	0,003	0,014
7,01	6,995	0,015	0,012
10,01	10,009	0,001	0,013

Valor de la solución tampón patrón = Indicación promedio del pHmetro - Error promedio encontrado.

Los resultados son emitidos para la temperatura de referencia de 25 °C.

La incertidumbre de la medición se da con un nivel de confianza aproximado del 95 % con un factor de cobertura k = 2.

**10. Observaciones :**

La indicación del pHmetro es el promedio de 3 mediciones.

Antes del ajuste las lecturas del equipo para los patrones 4,007 pH; 6,995 pH y 10,009 pH fueron 3,87 pH ; 6,94 pH y 10,01 pH respectivamente .

Después del ajuste las lecturas del equipo para los patrones 4,007 pH; 6,995 pH y 10,009 pH fueron 4,00 pH ; 7,01 pH y 10,01 pH respectivamente .

El Coeficiente de correlación obtenido es (0,999) y se encuentra dentro de los límites establecidos "mayor a 0,995 y menor a 1,005" según el procedimiento de calibración.

Se colocó una etiqueta autoadhesiva en el instrumento con la indicación "CALIBRADO" y N° 023180 .

FIN DEL DOCUMENTO



ALFONSO EDUARDO RONCEROS ANTAY  
INGENIERO QUÍMICO  
Reg. CIP. N° 153434



---

---

**ANEXO ( 7 )**

**PANEL FOTOGRAFICO**

---

---



sept. 12, 2023 10:12:07 AM



sept. 12, 2023 09:45:12 AM



sept. 12, 2023 10:12:39 AM



sept. 12, 2023 04:49:22 PM



sept. 12, 2023 04:54:13 PM

P.I. - Análisis hidrográfico y dise-  
ño hidrónico complementado por os-  
tios y construcción, en pozos fo-  
sforados, para fines agrícolas en  
Moguesua, 2023.  
**REREFERENCIACIÓN**  
**UBICACIÓN - LOCALIZACIÓN**  
**POZO-IRHS-045**  
Lugar: Moguesua - La Chirca N° 01  
Elev: 1m - 247.22 Cota: 47.50 msnnm  
Nota: 8099636





sept. 14, 2023 03:48:24 PM



sept. 14, 2023 03:51:19 PM



sept. 15, 2023 10:48:19 AM





sept. 18, 2023 10:13:45 AM



sept. 18, 2023 10:15:53 AM



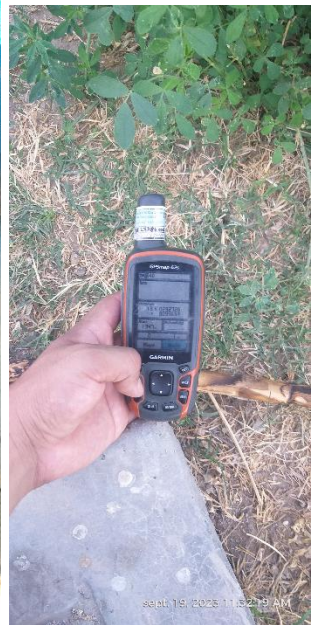
sept. 18, 2023 10:19:41 AM



sept. 18, 2023 09:42:08 AM



sept. 19, 2023 11:33:29 AM



sept. 19, 2023 11:32:19 AM



sept. 19, 2023 11:14:04 AM



sept. 19, 2023 11:15:37 AM



sept. 19, 2023 09:05:08 AM



sept. 19, 2023 09:05:21 AM



sept. 18. 2023 08:47:26 AM



sept. 21. 2023 10:17:54 AM



sept. 21. 2023 10:18:23 AM



Toma de muestras de agua subterránea, en estación de bombeo POZO IRHS-035 – La Cara, para análisis físico químico.



Prospecciones geofísicas, en POZO IRHS-035 – La Cara.



Prospecciones geofísicas, en POZO IRHS-035 – La Cara.



El análisis geofísico y diagnóstico de la calidad del agua subterránea en pozos para fines agrícolas en POZO IRHS-035.  
PROSPECCIÓN GEOFÍSICA de resistividad eléctrica  
Lugar: Muzpa - E. Alvaro del - La Cara  
COTA 31 M.S.N.M.  
Fecha: 07/10/2023  
Teléfono: 8057334

Prospecciones geofísicas, en POZO IRHS – 045 (La Chimba N°1).





*Prueba de bombeo o desempeño del acuífero, en estación de bombeo POZO IRHS-035.*



*Prueba de bombeo o desempeño del acuífero, en estación de bombeo POZO IRHS-035.*



*Prospecciones geofísicas, en POZO IRHS – 008 INIA N°1.*







sept. 27, 2023 09:58:10 AM



sept. 27, 2023 10:21:04 AM



sept. 27, 2023 03:39:54 PM





---

**ANEXO ( 8 )**

**ACTAS DE AUTORIZACIÓN PARA INGRESO  
EN PROPIEDAD PRIVADA**

---



## UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

### ACTA DE CONSENTIMIENTO

**AUTORIZACIÓN DE INGRESO EN PROPIEDAD PRIVADA PARA EJECUTAR ACTIVIDADES MERAMENTE CON FINES DE ESTUDIO EN EL POZO SUBTERRÁNEO IRHS-045, A FAVOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN “ANÁLISIS HIDROGEOLÓGICO Y DISEÑO HIDRÁULICO COMPARATIVO POR COLAPSO Y COMPRESIÓN, EN POZOS PROFUNDOS, PARA FINES AGRÍCOLAS EN MOQUEGUA, 2023”.**

#### DESCRIPCIÓN DEL POZO SUBTERRÁNEO:

**Código** : POZO IRHS – 045 (La Chimba N°1).  
**Ubicación** : Este UTM: 292722, Norte UTM: 8099636  
**Cota** : 1350 m.s.n.m.  
**Propósito** : Estudio y análisis hidrogeológico con fines meramente académicos.

#### TÉRMINOS Y CONDICIONES:

**PRIMERO.** - Conste por el presente documento el “ACUERDO Y AUTORIZACIÓN DE INGRESO EN PROPIEDAD PRIVADA, PARA EFECTUAR ESTUDIOS CON FINES MERAMENTE ACADÉMICOS” que celebran, de una parte, el Bach. Aranda Huacan Boris Leonardo, identificado con DNI N° 70615488 y código universitario N° 7003130196, con domicilio en calle Manuel Ubalde N° 732, del distrito de Moquegua, Provincia de Mariscal Nieto, departamento de Moquegua, al que en adelante se le denominara el “**INVESTIGADOR**”; y de la otra parte doña Estefanía Diolinda Laura Mamani Aguilar de Flores, identificada con DNI N° 04414887, agricultora propietaria del predio catastral 024813, donde se ubica el pozo tubular con Código IRHS-045, señala domicilio real, en el mismo Fundo denominado **La Chimba N°1, en el sector Santa Rosa**, ubicado en el valle de Moquegua, a quienes en adelante se le denominará “**EL PROPIETARIO**”, en los términos y condiciones siguientes:

**SEGUNDO.** – **EL PROPIETARIO**, concede al **INVESTIGADOR** el derecho de acceso a la propiedad privada mencionada anteriormente con el propósito de realizar actividades de estudio en el pozo subterráneo descrito. Este acceso está limitado únicamente para fines de estudio y análisis hidrogeológico y no implica la transferencia de ningún otro derecho sobre la propiedad.

**TERCERA.** – La **AUTORIZACIÓN** que por el presente se entrega, tiene vigencia desde la suscripción y firma del presente, culminando una vez terminadas las acciones de estudio y análisis del pozo subterráneo.

**CUARTA.** – El **INVESTIGADOR** se compromete a tomar todas las precauciones necesarias para evitar daños a la propiedad y al pozo subterráneo durante el período de acceso. Cualquier daño causado será responsabilidad del **INVESTIGADOR** y deberá ser reparado a su costo.

**QUINTA.** – El **INVESTIGADOR** se compromete a mantener la confidencialidad de cualquier información sensible o privada a la que tenga acceso durante el estudio en el pozo subterráneo.

#### FIRMA DE LAS PARTES:

Ambas partes, **EL PROPIETARIO** y el **INVESTIGADOR**, declaran haber leído y entendido los términos y condiciones de esta autorización y están de acuerdo en cumplir con ellos voluntariamente. Firmando en señal de conformidad, hoy 11 de setiembre del 2023.

  
.....  
**INVESTIGADOR**  
DNI: 70615488

  
.....  
**PROPIETARIO**  
DNI: 04414887



## UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

### ACTA DE CONSENTIMIENTO

**AUTORIZACIÓN DE INGRESO EN PROPIEDAD PRIVADA PARA EJECUTAR ACTIVIDADES MERAMENTE CON FINES DE ESTUDIO EN EL POZO SUBTERRÁNEO IRHS-008, A FAVOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN “ANÁLISIS HIDROGEOLÓGICO Y DISEÑO HIDRÁULICO COMPARATIVO POR COLAPSO Y COMPRESIÓN, EN POZOS PROFUNDOS, PARA FINES AGRÍCOLAS EN MOQUEGUA, 2023”.**

#### DESCRIPCIÓN DEL POZO SUBTERRÁNEO:

**Código** : POZO IRHS – 008 (INIA - 01)  
**Ubicación** : Este UTM: 290784, Norte UTM: 8096850  
**Cota** : 1261 m.s.n.m.  
**Propósito** : Estudio y análisis hidrogeológico con fines meramente académicos.

#### TÉRMINOS Y CONDICIONES:

**PRIMERO.** – Conste por el presente documento el “ACUERDO Y AUTORIZACIÓN DE INGRESO EN PROPIEDAD PRIVADA, PARA EFECTUAR ESTUDIOS CON FINES MERAMENTE ACADÉMICOS” que celebran, de una parte, el Bach. Aranda Huacan Boris Leonardo, identificado con DNI N° 70615488 y código universitario N° 7003130196, con domicilio en calle Manuel Ubalde N° 732, del distrito de Moquegua, Provincia de Mariscal Nieto, departamento de Moquegua, al que en adelante se le denominará el “**INVESTIGADOR**”; y de la otra parte el Instituto Nacional de Innovación Agraria – INIA, organismo público descentralizado ejecutor adscrito al Ministerio de Agricultura y Riego – MINAGRI, representado para efectos de la presente autorización por el director de la estación experimental agraria “Moquegua” (Órgano desconcertado del INIA) Ingeniero Alembert Alberto Mendoza Ticona, designado con resolución jefatural N° 0158-2023-INIA, identificado con DNI N° 29604320, entidad estatal propietaria del predio catastral 032598, donde se ubica el pozo tubular con Código IRHS-008, señala domicilio real, en carretera Panamericana Sur Km 4.5 en el sector Montalvo - Moquegua, ubicado en el valle de Moquegua, a quienes en adelante se le denominará “**EL PROPIETARIO**”, en los términos y condiciones siguientes:



**SEGUNDO.** – **EL PROPIETARIO**, concede al **INVESTIGADOR** el derecho de acceso a la propiedad privada mencionada anteriormente con el propósito de realizar actividades de estudio en el pozo subterráneo descrito. Este acceso está limitado únicamente para fines de estudio y análisis hidrogeológico y no implica la transferencia de ningún otro derecho sobre la propiedad.

**TERCERA.** – La **AUTORIZACIÓN** que por el presente se entrega, tiene vigencia desde la suscripción y firma del presente, culminando una vez terminadas las acciones de estudio y análisis del pozo subterráneo.

**CUARTA.** – El **INVESTIGADOR** se compromete a tomar todas las precauciones necesarias para evitar daños a la propiedad y al pozo subterráneo durante el período de acceso. Cualquier daño causado será responsabilidad del **INVESTIGADOR** y deberá ser reparado a su costo.

**QUINTA.** – El **INVESTIGADOR** se compromete a mantener la confidencialidad de cualquier información sensible o privada a la que tenga acceso durante el estudio en el pozo subterráneo.

#### FIRMA DE LAS PARTES:

Ambas partes, **EL PROPIETARIO** y el **INVESTIGADOR**, declaran haber leído y entendido los términos y condiciones de esta autorización y están de acuerdo en cumplir con ellos voluntariamente. Firmando en señal de conformidad, hoy 15 de setiembre del 2023.

  
.....  
**INVESTIGADOR**  
DNI: 70615488

  
.....  
**PROPIETARIO**  
DNI: 29604320

DNI: 70615488 Calle Manuel Ubalde N° 732 Moquegua – Mariscal Nieto Moquegua – Perú; Teléfonos: 983-123472 - MOQUEGUA



## UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

### ACTA DE CONSENTIMIENTO

**AUTORIZACIÓN DE INGRESO EN PROPIEDAD PRIVADA PARA EJECUTAR ACTIVIDADES MERAMENTE CON FINES DE ESTUDIO EN EL POZO SUBTERRÁNEO IRHS-009, A FAVOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN “ANÁLISIS HIDROGEOLÓGICO Y DISEÑO HIDRÁULICO COMPARATIVO POR COLAPSO Y COMPRESIÓN, EN POZOS PROFUNDOS, PARA FINES AGRÍCOLAS EN MOQUEGUA, 2023”.**

#### DESCRIPCIÓN DEL POZO SUBTERRÁNEO:

**Código** : POZO IRHS – 009 (INIA - 02)  
**Ubicación** : Este UTM: 290596, Norte UTM: 8096401  
**Cota** : 1250 m.s.n.m.  
**Propósito** : Estudio y análisis hidrogeológico con fines meramente académicos.

#### TÉRMINOS Y CONDICIONES:

**PRIMERO.** – Conste por el presente documento el “ACUERDO Y AUTORIZACIÓN DE INGRESO EN PROPIEDAD PRIVADA, PARA EFECTUAR ESTUDIOS CON FINES MERAMENTE ACADÉMICOS” que celebran, de una parte, el Bach. Aranda Huacan Boris Leonardo, identificado con DNI N° 70615488 y código universitario N° 7003130196, con domicilio en calle Manuel Ubalde N° 732, del distrito de Moquegua, Provincia de Mariscal Nieto, departamento de Moquegua, al que en adelante se le denominará el “**INVESTIGADOR**”; y de la otra parte el Instituto Nacional de Innovación Agraria – INIA, organismo público descentralizado ejecutor adscrito al Ministerio de Agricultura y Riego – MINAGRI, representado para efectos de la presente autorización por el director de la estación experimental agraria “Moquegua” (Órgano desconcertado del INIA) Ingeniero Alembert Alberto Mendoza Ticona, designado con resolución jefatural N° 0158-2023-INIA, identificado con DNI N° 29604320, entidad estatal propietaria del predio catastral 032571, donde se ubica el pozo tubular con Código IRHS-009, señala domicilio real, en carretera Panamericana Sur Km 4.5 en el sector Montalvo - Moquegua, ubicado en el valle de Moquegua, a quienes en adelante se le denominará “**EL PROPIETARIO**”, en los términos y condiciones siguientes:

**SEGUNDO.** – **EL PROPIETARIO**, concede al **INVESTIGADOR** el derecho de acceso a la propiedad privada mencionada anteriormente con el propósito de realizar actividades de estudio en el pozo subterráneo descrito. Este acceso está limitado únicamente para fines de estudio y análisis hidrogeológico y no implica la transferencia de ningún otro derecho sobre la propiedad.

**TERCERA.** – La **AUTORIZACIÓN** que por el presente se entrega, tiene vigencia desde la suscripción y firma del presente, culminando una vez terminadas las acciones de estudio y análisis del pozo subterráneo.

**CUARTA.** – El **INVESTIGADOR** se compromete a tomar todas las precauciones necesarias para evitar daños a la propiedad y al pozo subterráneo durante el período de acceso. Cualquier daño causado será responsabilidad del **INVESTIGADOR** y deberá ser reparado a su costo.

**QUINTA.** – El **INVESTIGADOR** se compromete a mantener la confidencialidad de cualquier información sensible o privada a la que tenga acceso durante el estudio en el pozo subterráneo.

#### FIRMA DE LAS PARTES:

Ambas partes, **EL PROPIETARIO** y el **INVESTIGADOR**, declaran haber leído y entendido los términos y condiciones de esta autorización y están de acuerdo en cumplir con ellos voluntariamente. Firmando en señal de conformidad, hoy 15 de setiembre del 2023.

  
.....  
**INVESTIGADOR**  
DNI: 70615488



  
.....  
**PROPIETARIO**  
DNI: 29604320

DNI: 70615488 Calle Manuel Ubalde N° 732 Moquegua – Mariscal Nieto Moquegua – Perú; Teléfonos: 983-123472 - MOQUEGUA



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**ACTA DE CONSENTIMIENTO**

**AUTORIZACIÓN DE INGRESO EN PROPIEDAD PRIVADA PARA EJECUTAR ACTIVIDADES MERAMENTE CON FINES DE ESTUDIO EN EL POZO SUBTERRÁNEO IRHS-035, A FAVOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN “ANÁLISIS HIDROGEOLOGICO Y DISEÑO HIDRAULICO COMPARATIVO POR COLAPSO Y COMPRESIÓN, EN POZOS PROFUNDOS, PARA FINES AGRÍCOLAS EN MOQUEGUA, 2023”.**

**DESCRIPCIÓN DEL POZO SUBTERRÁNEO:**

**Código** : POZO IRHS – 035 (La Cara).  
**Ubicación** : Este UTM: 254065, Norte UTM: 8050334  
**Cota** : 31 m.s.n.m.  
**Propósito** : Estudio y análisis hidrogeológico con fines meramente académicos.

**TÉRMINOS Y CONDICIONES:**

**PRIMERO.** – Conste por el presente documento el “ACUERDO Y AUTORIZACIÓN DE INGRESO EN PROPIEDAD PRIVADA, PARA EFECTUAR ESTUDIOS CON FINES MERAMENTE ACADÉMICOS” que celebran, de una parte, el Bach. Aranda Huacan Boris Leonardo, identificado con DNI N° 70615488 y código universitario N° 7003130196, con domicilio en calle Manuel Ubalde N° 732, del distrito de Moquegua, Provincia de Mariscal Nieto, departamento de Moquegua, al que en adelante se le denominara el “INVESTIGADOR”; y de la otra parte doña María Teresa Dávila de Alva, identificada con DNI N° 04628489, doña Manuela Eny Dávila de Melgar, identificada con DNI N° 04627758 y doña Carmen Rosa Dávila Alvarado, identificada con DNI N° 04642710, agricultoras propietarias del predio catastral 024251, donde se ubica el pozo tubular con Código IRHS-035, señala domicilio real, en el mismo Fundo denominado La Cara, en el distrito del Algarrobal, provincia de Ilo, departamento de Moquegua, a quienes en adelante se le denominará “LOS PROPIETARIOS”, en los términos y condiciones siguientes:

**SEGUNDO.** – LOS PROPIETARIOS”, conceden al INVESTIGADOR el derecho de acceso a la propiedad privada mencionada anteriormente con el propósito de realizar actividades de estudio en el pozo subterráneo descrito. Este acceso está limitado únicamente para fines de estudio y análisis hidrogeológico y no implica la transferencia de ningún otro derecho sobre la propiedad.

**TERCERA.** – La AUTORIZACIÓN que por el presente se entrega, tiene vigencia desde la suscripción y firma del presente, culminando una vez terminadas las acciones de estudio y análisis del pozo subterráneo.

**CUARTA.** – El INVESTIGADOR se compromete a tomar todas las precauciones necesarias para evitar daños a la propiedad y al pozo subterráneo durante el período de acceso. Cualquier daño causado será responsabilidad del INVESTIGADOR y deberá ser reparado a su costo.

**QUINTA.** – El INVESTIGADOR se compromete a mantener la confidencialidad de cualquier información sensible o privada a la que tenga acceso durante el estudio en el pozo subterráneo.

**FIRMA DE LAS PARTES:**

Ambas partes, LOS PROPIETARIOS y el INVESTIGADOR, declaran haber leído y entendido los términos y condiciones de esta autorización y están de acuerdo en cumplir con ellos voluntariamente. Firmando en señal de conformidad, hoy 20 de setiembre del 2023.

  
.....  
**INVESTIGADOR**  
DNI: 70615488

  
.....  
**Carmen R. Dávila Alvarado**  
DNI: 04642710

  
.....  
**María T. Dávila de Alva**  
DNI: 04628489

  
.....  
**Manuela E. Dávila de Melgar**  
DNI: 04627758

DNI: 70615488 Calle Manuel Ubalde N° 732 Moquegua – Mariscal Nieto Moquegua – Perú; Teléfonos: 983-123472 - MOQUEGUA

---

---

**ANEXO ( 9 )**

**PLANOS FINALES**

---

---

**“Análisis hidrogeológico y diseño hidráulico comparativo por colapso y compresión, en pozos profundos, para fines agrícolas en Moquegua, 2023”**

**AUTOR:**  
BACH. ARANDA HUACAN, BORIS LEONARDO

**I. INTRODUCCIÓN**

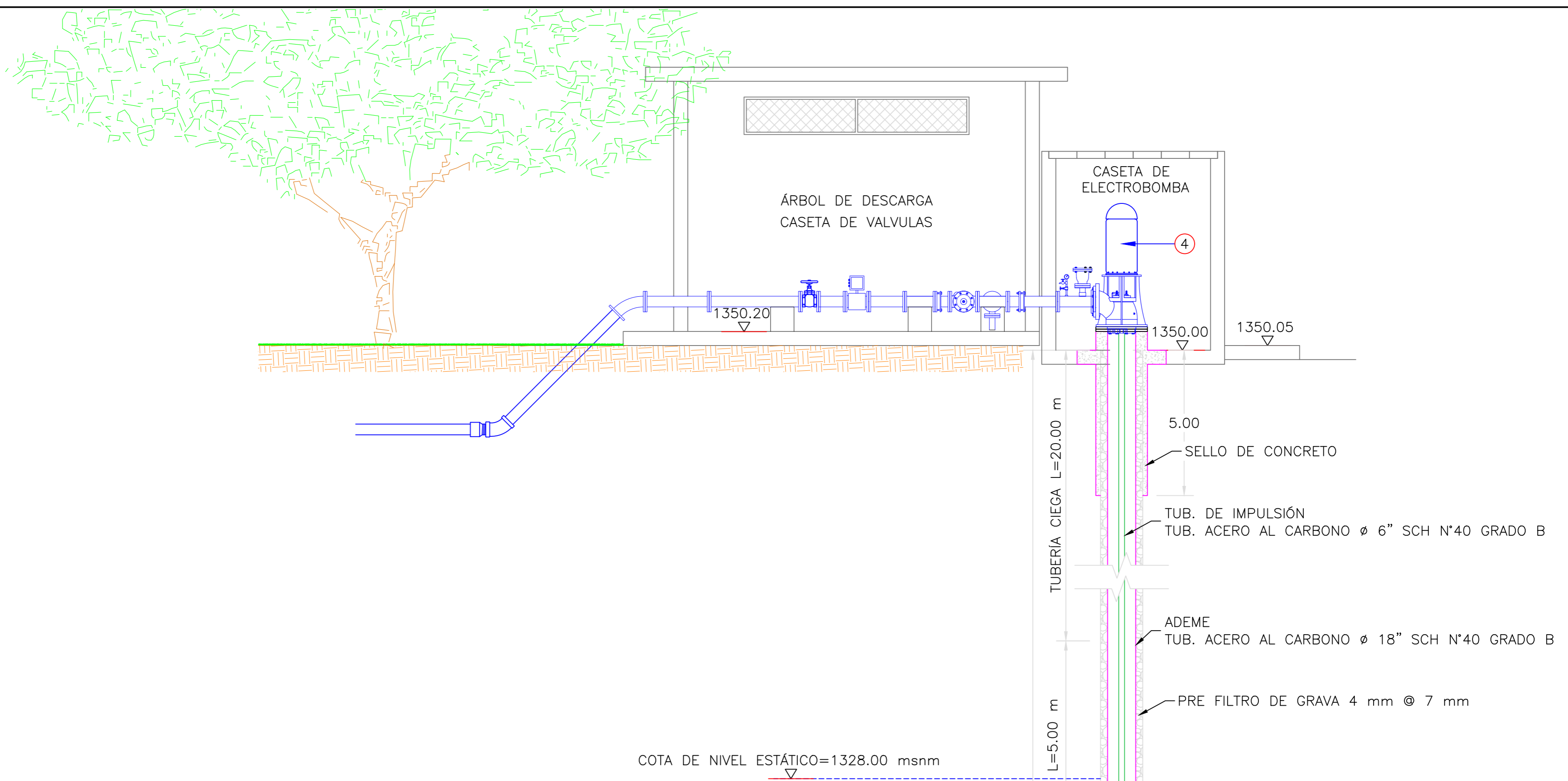
Para el actual proyecto de investigación se efectuó el análisis hidrogeológico y el diseño hidráulico por colapso y compresión de pozos profundos, los cuales extraen recursos hídricos subterráneos, para contrarrestar el déficit hídrico y mejorar los niveles de producción agrícola en el valle de Moquegua e Ilo; Los pozos profundos se ubican en la región sur de la república del Perú, departamento de Moquegua,

**Resumen de coincidencias** X

11 %

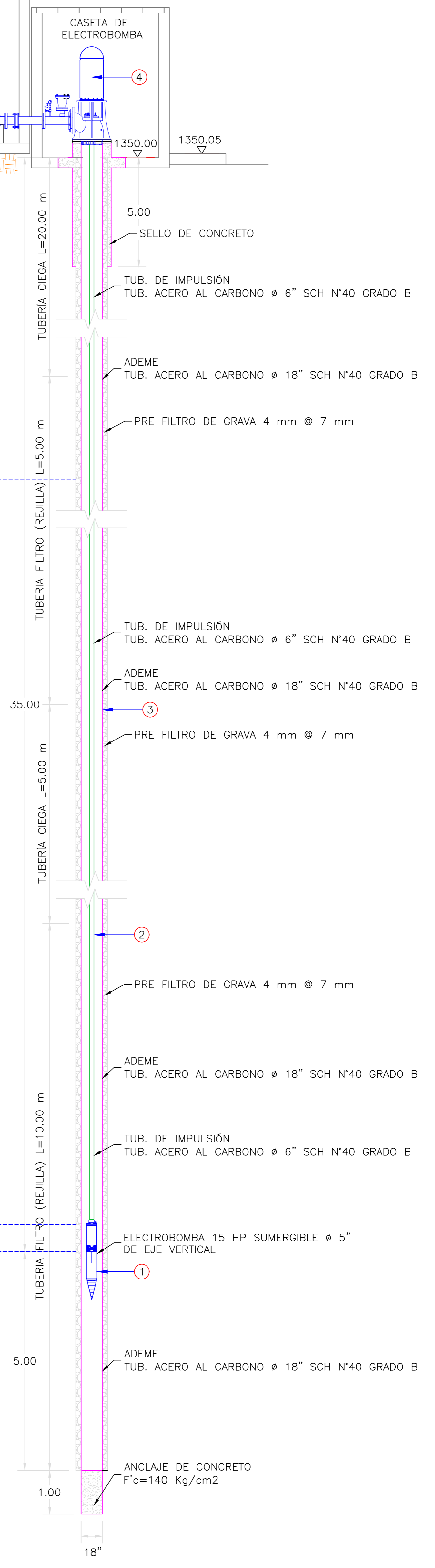
1	hdl.handle.net	2 % >
2	www.minem.gob.pe	1 % >
3	repositorio.ingemmet.g...	1 % >
4	scielo.lica.una.py	1 % >
5	link.springer.com	1 % >
6	minas.medellin.unal.ed...	1 % >
7	repositorio.ucv.edu.pe	<1 % >
8	aguasubterraneasonor...	<1 % >
9	ea.scribd.com	<1 % >
10	www.researchgate.net	<1 % >
11	hydrogeologistswithou...	<1 % >
12	www.coursehero.com	<1 % >





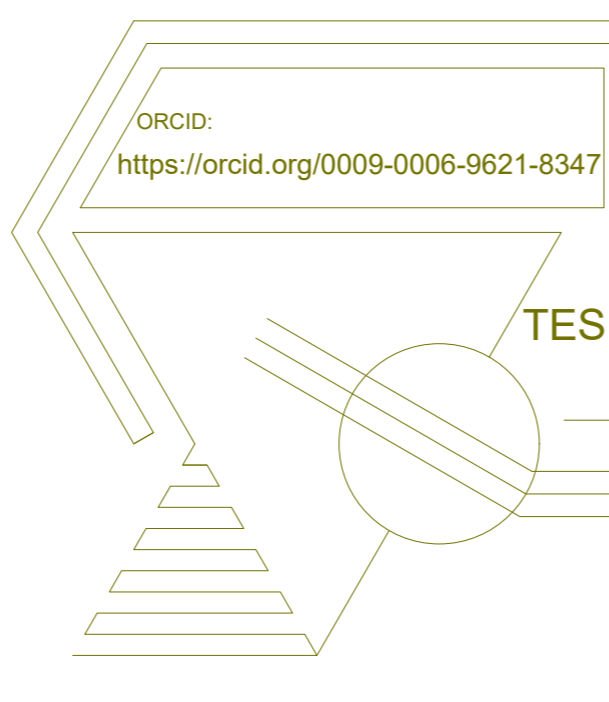
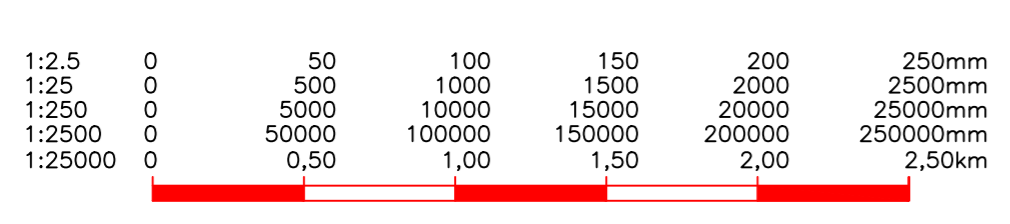
ACCESORIOS DE LÍNEA DE IMPULSIÓN		
ITEM	DESCRIPCIÓN	CANT.
1	ELECTROBOMBA SUMERGIBLE 15 HP DE EJE VERTICAL	1 und
2	TUBERÍA DE ACERO AL CARBONO Ø 6"	35 m
3	TUBERÍA DE ACERO AL CARBONO Ø 18"	40 m
4	MOTOR DE ELECTROBOMBA DE 15 HP	1 und

COTA DE NIVEL ESTÁTICO=1328.00 msnm



NIVEL DINÁMICO=1315.78 msnm  
 NIVEL DE SUCCIÓN=1315.00 msnm

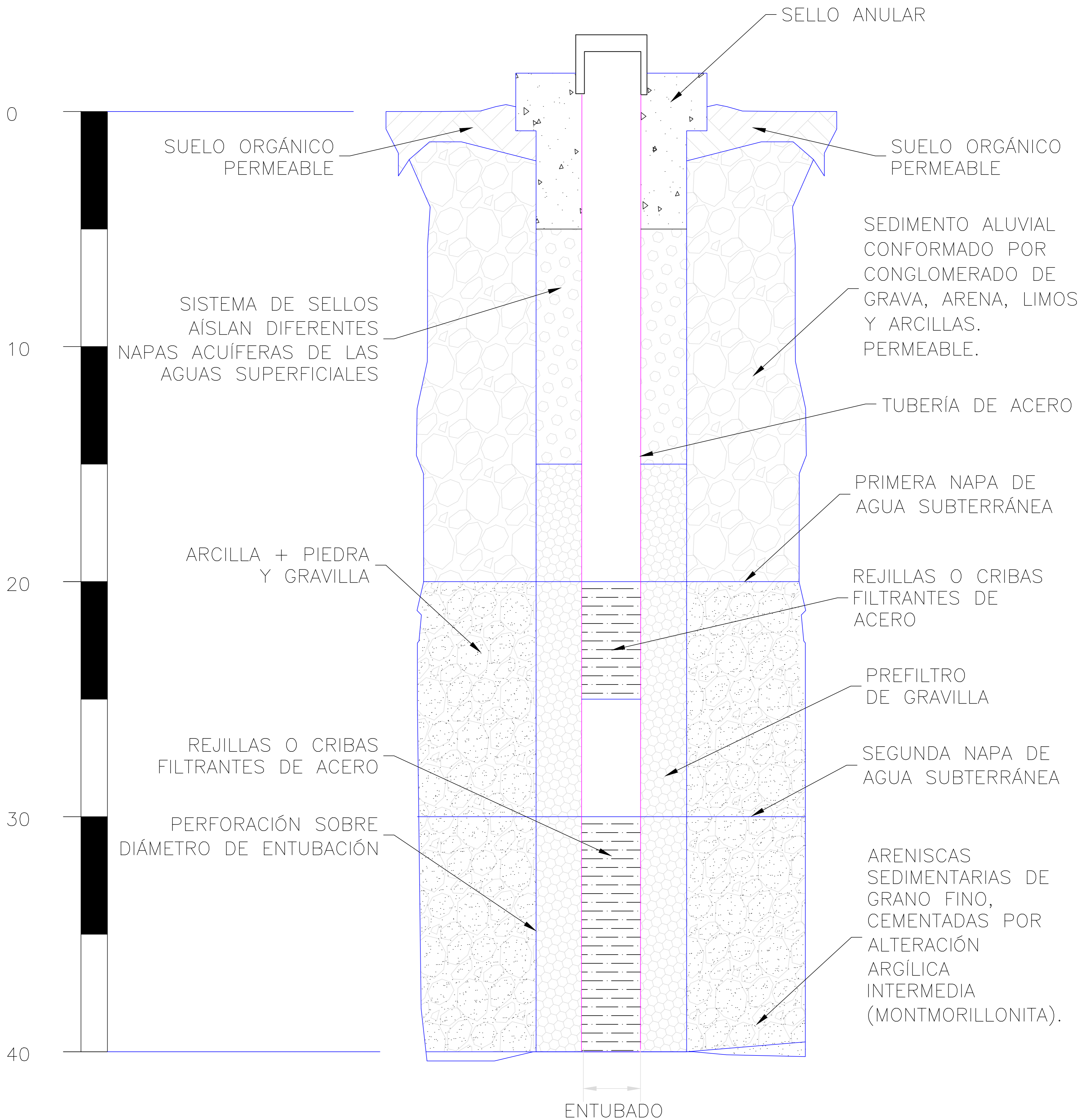
**POZO TUBULAR**  
 ESC. S/E



**"UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO"**  
 FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

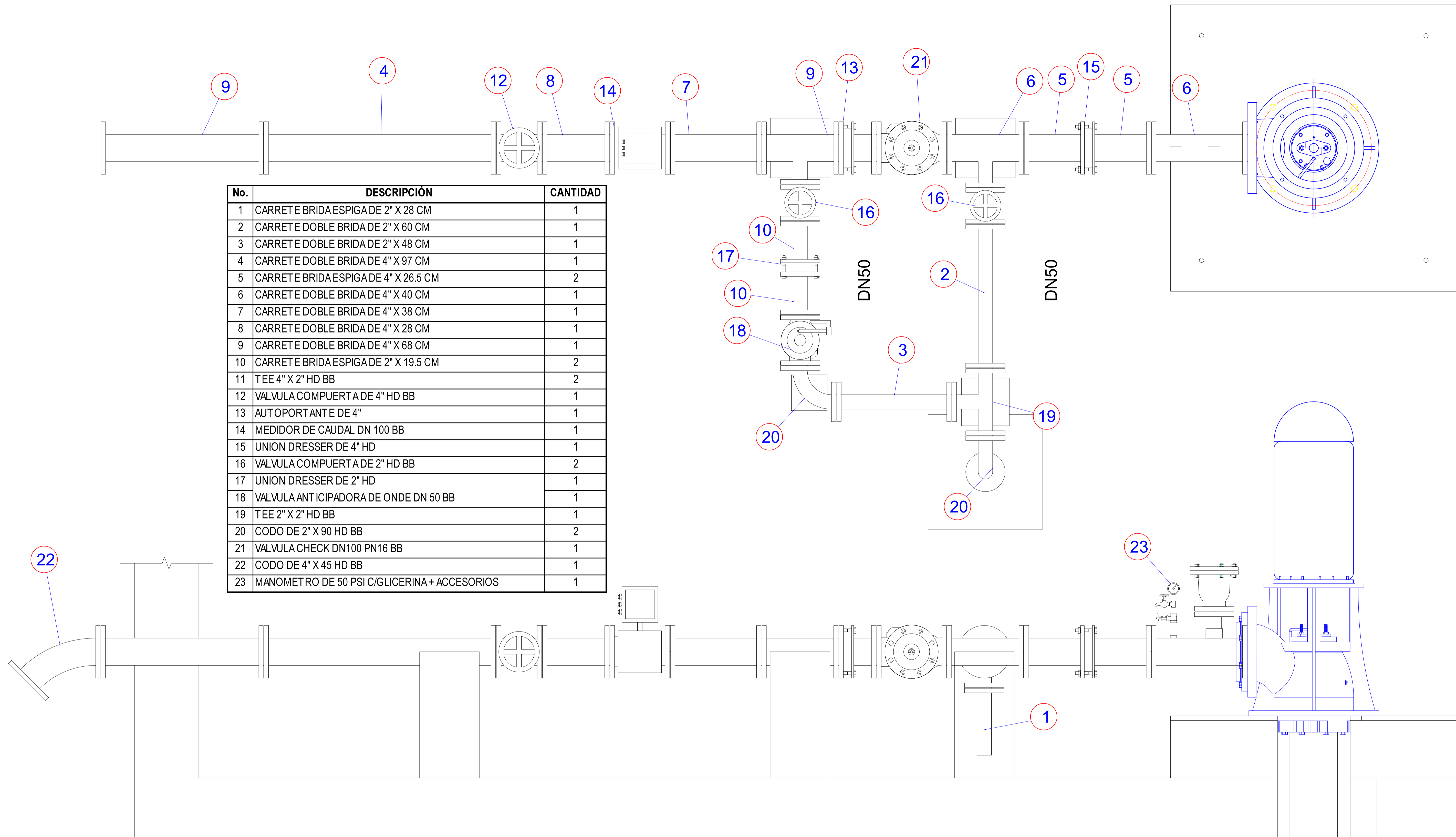
TESIS: "ANÁLISIS HIDROGEOLÓGICO Y DISEÑO HIDRÁULICO COMPARATIVO POR COLAPSO Y COMPRESIÓN, EN POZOS PROFUNDOS, PARA FINES AGRÍCOLAS EN MOQUEGUA, 2023"

AUTOR: BACH. ARANDA HUACAN, BORIS LEONARDO	PLANO: DISEÑO HIDRÁULICO - ESTACIÓN DE BOMBEO IRHS-045	LAMINA: OH-01
ASESOR: MAG. ENRIQUE EDUARDO HUAROTO CASQUILLAS	DIBUJO: B.L.A.H.	ESCALA: INDICADA
	FECHA: 2024	



**PERFIL ESTRATIGRÁFICO**  
ESC. S/E

	<b>"UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO"</b> FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL			<b>LAMINA:</b> <b>OH-02</b>
	TESIS: "ANÁLISIS HIDROGEOLÓGICO Y DISEÑO HIDRÁULICO COMPARATIVO POR COLAPSO Y COMPRESIÓN, EN POZOS PROFUNDOS, PARA FINES AGRÍCOLAS EN MOQUEGUA, 2023"			
ORCID: <a href="https://orcid.org/0009-0006-9621-8347">https://orcid.org/0009-0006-9621-8347</a>	AUTOR: BACH. ARANDA HUACAN, BORIS LEONARDO	PLANO: DISEÑO HIDRÁULICO - ESTACIÓN DE BOMBEO IRHS-045	ESCALA: INDICADA	FECHA: 2024
ASESOR: MAG. ENRIQUE EDUARDO HUAROTO CASQUILLAS	DIBUJO: B.L.A.H.			



No.	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	CARRETE BRIDA ESPIGA DE 2" X 28 CM	1
2	CARRETE DOBLE BRIDA DE 2" X 60 CM	1
3	CARRETE DOBLE BRIDA DE 2" X 48 CM	1
4	CARRETE DOBLE BRIDA DE 4" X 97 CM	1
5	CARRETE BRIDA ESPIGA DE 4" X 26.5 CM	2
6	CARRETE DOBLE BRIDA DE 4" X 40 CM	1
7	CARRETE DOBLE BRIDA DE 4" X 38 CM	1
8	CARRETE DOBLE BRIDA DE 4" X 28 CM	1
9	CARRETE DOBLE BRIDA DE 4" X 68 CM	1
10	CARRETE BRIDA ESPIGA DE 2" X 19.5 CM	2
11	TEE 4" X 2" HD BB	2
12	VALVULA COMPUERTA DE 4" HD BB	1
13	AUTOPORTANTE DE 4"	1
14	MEDIDOR DE CAUDAL DN 100 BB	1
15	UNION DRESSER DE 4" HD	1
16	VALVULA COMPUERTA DE 2" HD BB	2
17	UNION DRESSER DE 2" HD	1
18	VALVULA ANTICIPADORA DE ONDE DN 50 BB	1
19	TEE 2" X 2" HD BB	1
20	CODO DE 2" X 90 HD BB	2
21	VALVULA CHECK DN100 PN16 BB	1
22	CODO DE 4" X 45 HD BB	1
23	MANOMETRO DE 50 PSI C/GLICERINA + ACCESORIOS	1

**Nota:**

- Las bridas serán ISO7005-1
- La placa base se encuentra anclada al dado de concreto con un agujero interior de 300mm, se deberá agrandar al estándar de 400mm.
- La placa base de 3/4" anclada al dado de concreto, deberá ser perforada con agujeros roscados para el anclaje del cabezal de descarga.
- El espesor de los empaques fueron considerados de 1/8" o 3mm.
- La fabricación de los carretes con uniones dresser será completo (las modificaciones dimensionales se realizarán en campo durante la instalación).
- Durante la instalación, verificar las longitudes de los carretes para que su instalación quede dentro de la caseta y no interfiera con la puerta de ingreso.

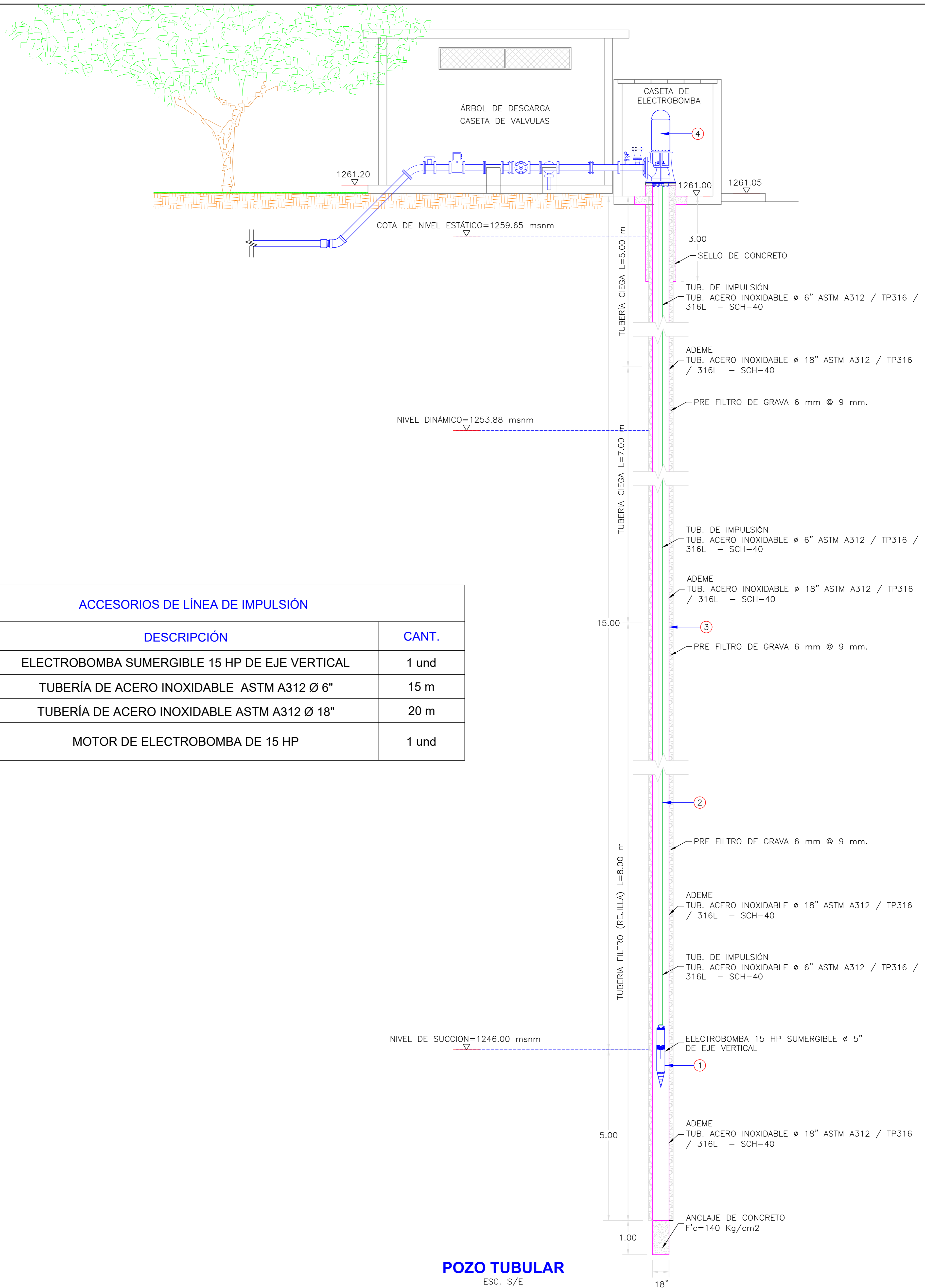
**"UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO"**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: "ANÁLISIS HIDROGEOLÓGICO Y DISEÑO HIDRÁULICO COMPARATIVO POR COLAPSO Y COMPRESIÓN, EN POZOS PROFUNDOS, PARA FINES AGRÍCOLAS EN MOQUEGUA, 2023"

AUTOR: BACH. ARANDA HUACAN, BORIS LEONARDO  
 ASESOR: MAG. ENRIQUE EDUARDO HUAROTO CASQUILLAS

PLANO: DISEÑO HIDRÁULICO - ESTACIÓN DE BOMBEO IRHS-045  
 DIBUJO: B.L.A.H. ESCALA: INDICADA FECHA: 2024

LAMINA: OH-03



ACCESORIOS DE LÍNEA DE IMPULSIÓN		
ITEM	DESCRIPCIÓN	CANT.
1	ELECTROBOMBA SUMERGIBLE 15 HP DE EJE VERTICAL	1 und
2	TUBERÍA DE ACERO INOXIDABLE ASTM A312 Ø 6"	15 m
3	TUBERÍA DE ACERO INOXIDABLE ASTM A312 Ø 18"	20 m
4	MOTOR DE ELECTROBOMBA DE 15 HP	1 und

**POZO TUBULAR**  
ESC. S/E

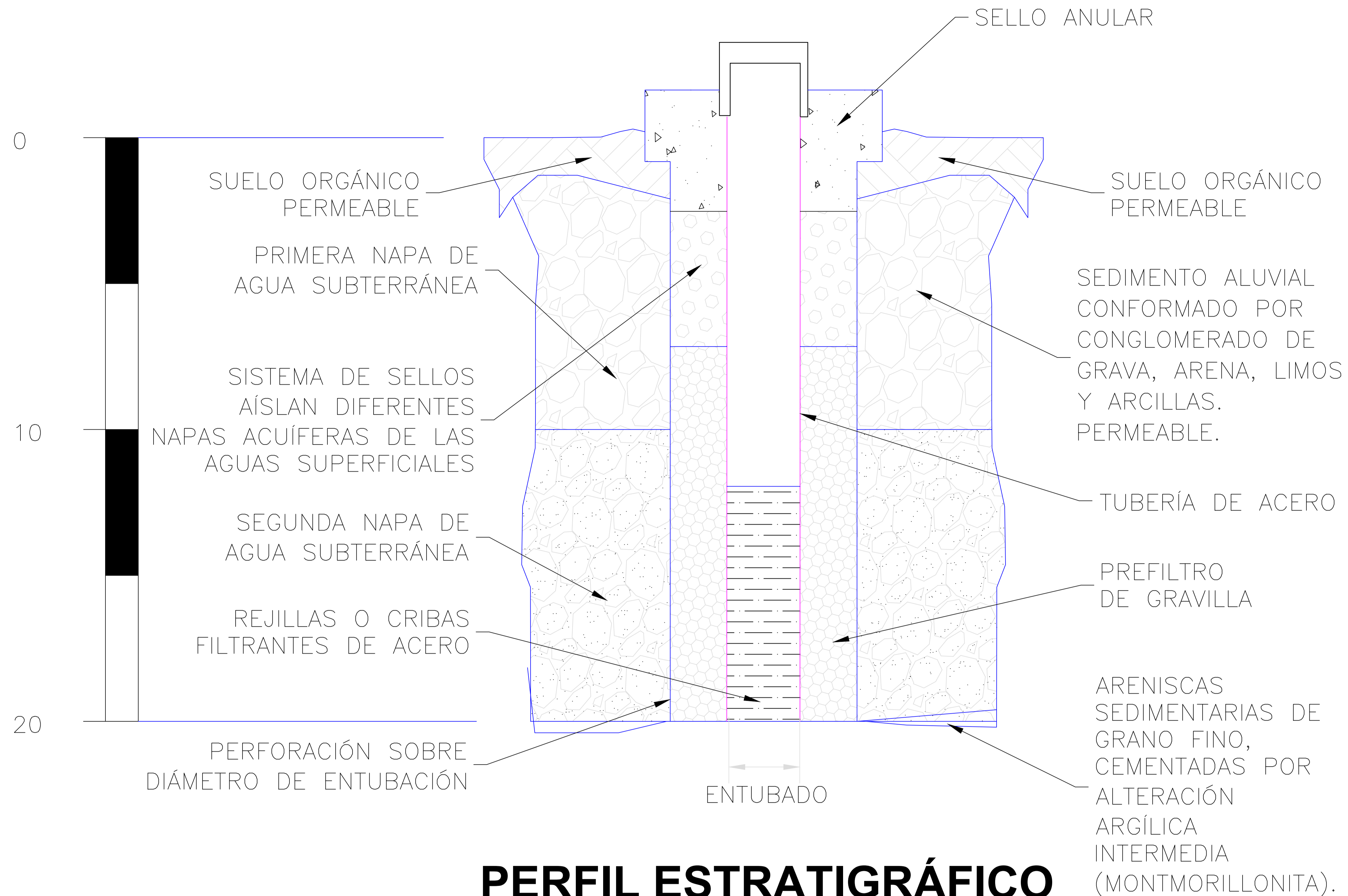
1:2,5	0	50	100	150	200	250mm
1:25	0	500	1000	1500	2000	2500mm
1:250	0	5000	10000	15000	20000	25000mm
1:2500	0	50000	100000	150000	200000	250000mm
1:25000	0	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50km

**"UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO"**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-9621-8347>

**TESIS: "ANÁLISIS HIDROGEOLÓGICO Y DISEÑO HIDRÁULICO COMPARATIVO POR COLAPSO Y COMPRESIÓN, EN POZOS PROFUNDOS, PARA FINES AGRÍCOLAS EN MOQUEGUA, 2023"**

AUTOR: BACH. ARANDA HUACAN, BORIS LEONARDO		PLANO: <b>DISEÑO HIDRÁULICO - ESTACIÓN DE BOMBEO IRHS-008</b>		LAMINA: <b>OH-01</b>
ASESOR: MAG. ENRIQUE EDUARDO HUAROTO CASQUILLAS	DIBUJO: B.L.A.H.	ESCALA: INDICADA	FECHA: 2024	



# PERFIL ESTRATIGRÁFICO

ESC. S/E

ORCID:  
<https://orcid.org/0009-0006-9621-8347>

**"UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO"**  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: "ANÁLISIS HIDROGEOLÓGICO Y DISEÑO HIDRÁULICO COMPARATIVO POR COLAPSO Y COMPRESIÓN, EN POZOS PROFUNDOS, PARA FINES AGRÍCOLAS EN MOQUEGUA, 2023"

AUTOR:  
BACH. ARANDA HUACAN, BORIS LEONARDO

ASESOR:  
MAG. ENRIQUE EDUARDO HUAROTO CASQUILLAS

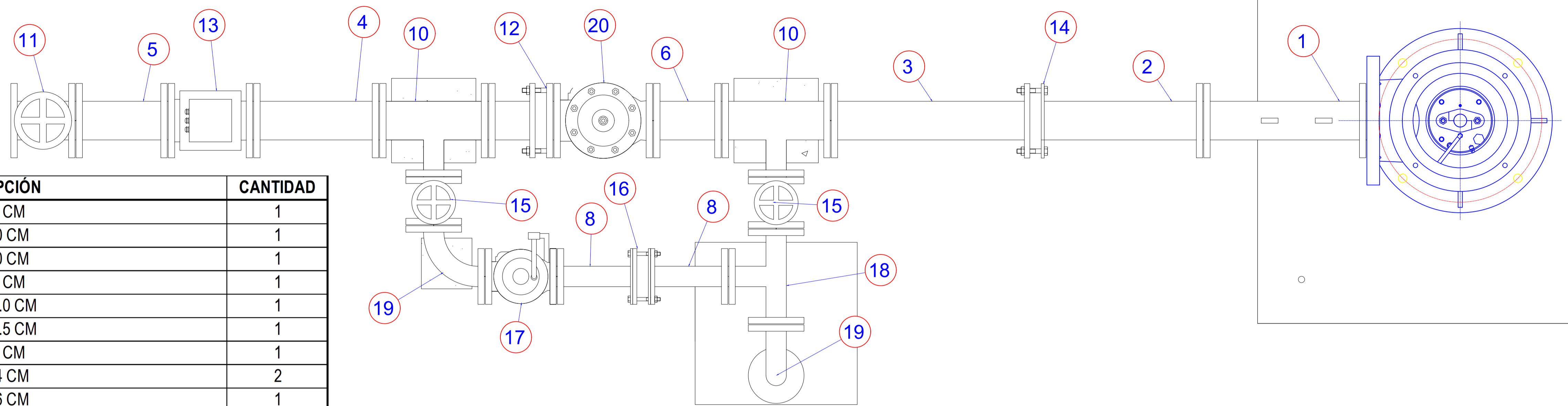
PLANO:  
DISEÑO HIDRÁULICO - ESTACIÓN DE BOMBEO IRHS-008

LAMINA:  
OH-02

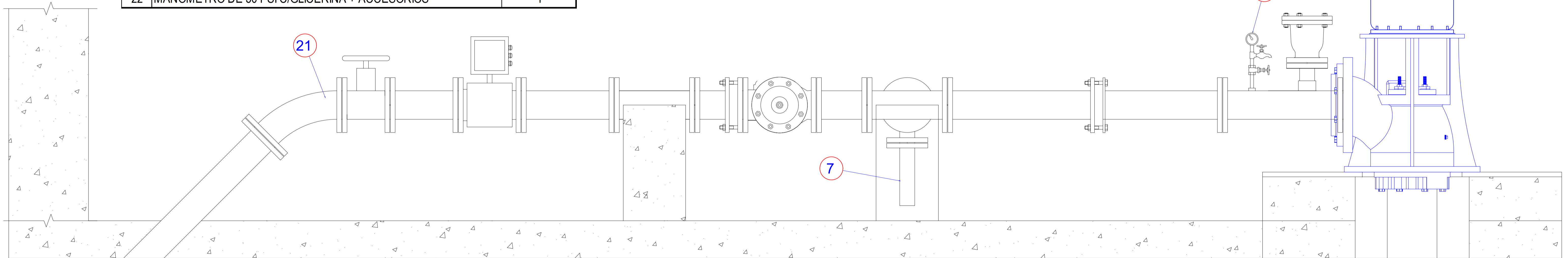
DIBUJO:  
B.L.A.H.

ESCALA:  
INDICADA

FECHA:  
2024



No.	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	CARRETE DOBLE BRIDA DE 2" X 48 CM	1
2	CARRETE BRIDA ESPIGA DE 4" X 50 CM	1
3	CARRETE BRIDA ESPIGA DE 4" X 60 CM	1
4	CARRETE DOBLE BRIDA DE 4" X 37 CM	1
5	CARRETE DOBLE BRIDA DE 4" X 27.0 CM	1
6	CARRETE DOBLE BRIDA DE 4" X 17.5 CM	1
7	CARRETE DOBLE BRIDA DE 4" X 50 CM	1
8	CARRETE BRIDA ESPIGA DE 2" X 24 CM	2
9	CARRETE BRIDA ESPIGA DE 2" X 36 CM	1
10	TEE 4" X 2" HD BB	2
11	VALVULA COMPUERTA DE 4" HD BB	1
12	AUTOPORTANTE DE 4"	1
13	MEDIDOR DE CAUDAL DN 100 BB	1
14	UNION DRESSER DE 4" HD	1
15	VALVULA COMPUERTA DE 2" HD BB	2
16	UNION DRESSER DE 2" HD	1
17	VALVULA ANTICIPADORA DE ONDE DN 50 BB	1
18	TEE 2" X 2" HD BB	1
19	CODO DE 2" X 90 HD BB	2
20	VALVULA CHECK DN100 PN16 BB	1
21	CODO DE 4" X 45 HD BB	1
22	MANOMETRO DE 50 PSI C/GLICERINA + ACCESORIOS	1



**Nota:**

- Las bridas serán ISO7005-1
- La placa base de 3/4" anclada al dado de concreto, deberá ser perforada con agujeros roscados para el anclaje del cabezal de descarga.
- El espesor de los empaques fueron considerados de 1/8" o 3mm.
- La fabricación de los carretes con uniones dresser será completo (las modificaciones dimensionales se realizarán en campo durante la instalación).
- Durante la instalación, verificar las longitudes de los carretes para que su instalación quede dentro de la caseta y no interfiera con la puerta de ingreso.

**"UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO"**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: "ANÁLISIS HIDROGEOLÓGICO Y DISEÑO HIDRÁULICO COMPARATIVO POR COLAPSO Y COMPRESIÓN, EN POZOS PROFUNDOS, PARA FINES AGRÍCOLAS EN MOQUEGUA, 2023"

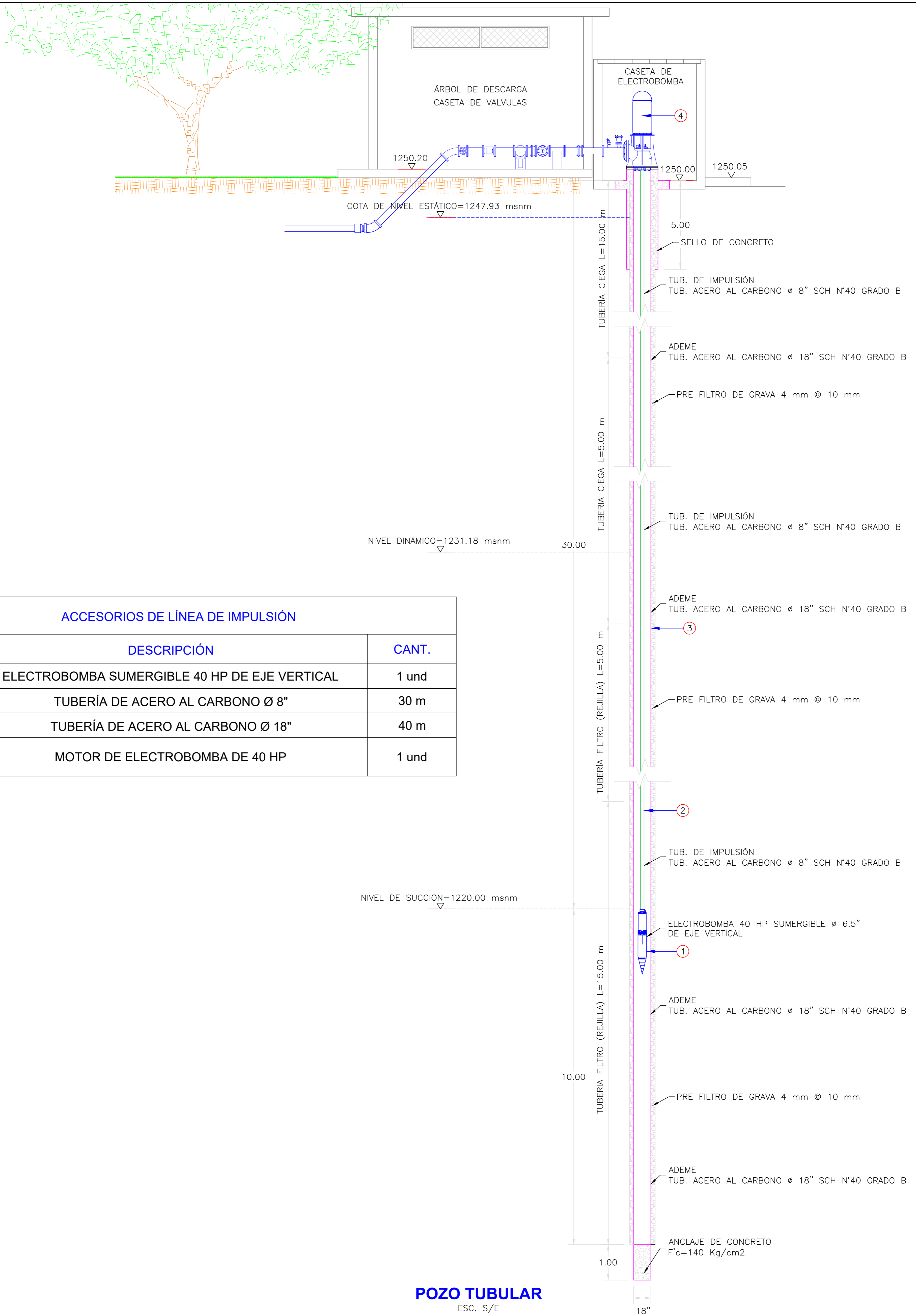
ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-9621-8347>

AUTOR: BACH. ARANDA HUACAN, BORIS LEONARDO  
 ASESOR: MAG. ENRIQUE EDUARDO HUAROTO CASQUILLAS

PLANO: **DISEÑO HIDRÁULICO - ESTACIÓN DE BOMBEO IRHS-008**

DIBUJO: B.L.A.H.      ESCALA: INDICADA      FECHA: 2024

LAMINA: **OH-03**



ACCESORIOS DE LÍNEA DE IMPULSIÓN		
ITEM	DESCRIPCIÓN	CANT.
1	ELECTROBOMBA SUMERGIBLE 40 HP DE EJE VERTICAL	1 und
2	TUBERÍA DE ACERO AL CARBONO Ø 8"	30 m
3	TUBERÍA DE ACERO AL CARBONO Ø 18"	40 m
4	MOTOR DE ELECTROBOMBA DE 40 HP	1 und

**POZO TUBULAR**  
ESC. S/E

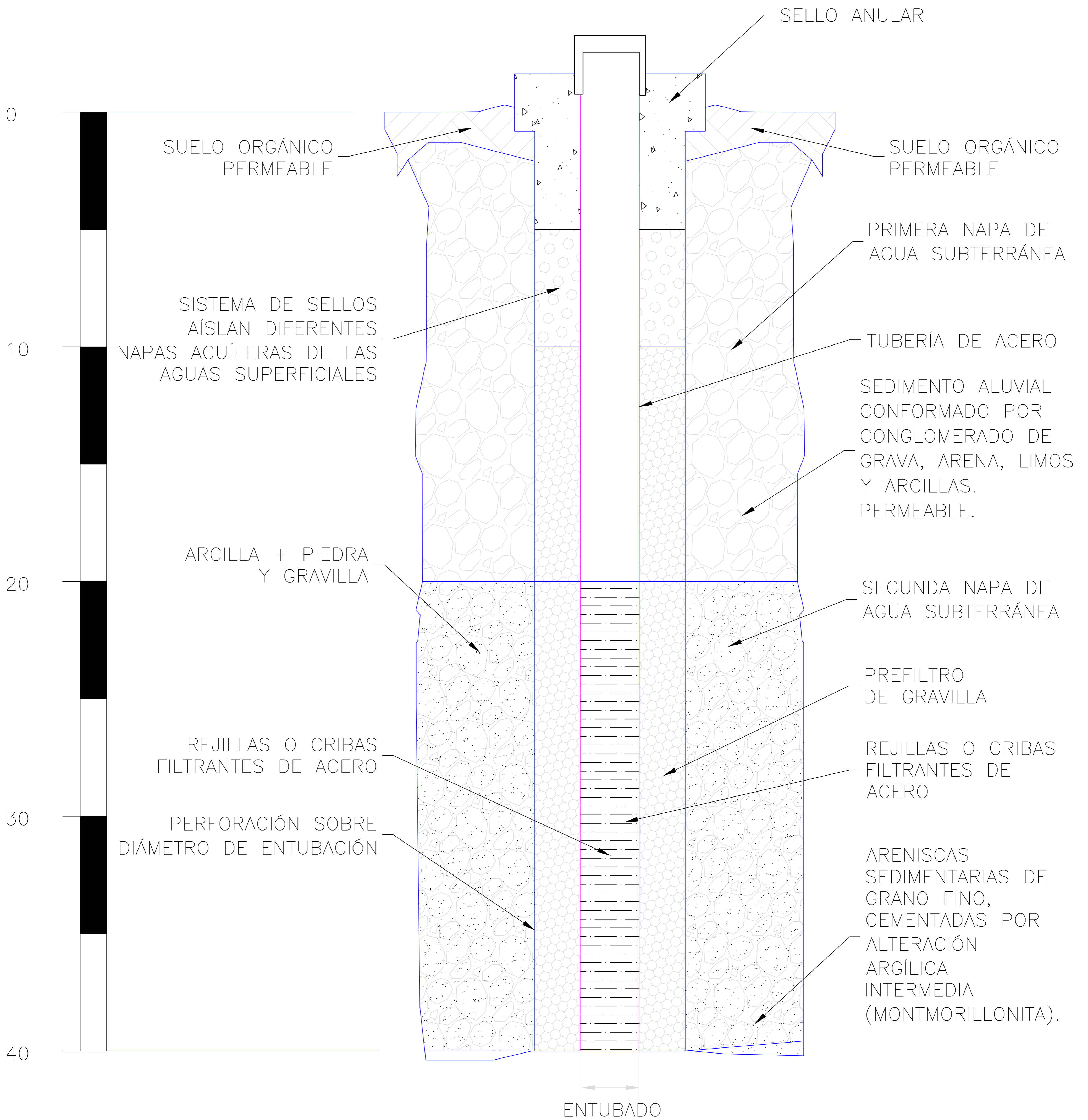
1:2,5	0	50	100	150	200	250mm
1:25	0	500	1000	1500	2000	2500mm
1:250	0	5000	10000	15000	20000	25000mm
1:2500	0	50000	100000	150000	200000	250000mm
1:25000	0	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50km

ORCID:  
<https://orcid.org/0009-0006-9621-8347>

**"UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO"**  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: "ANÁLISIS HIDROGEOLÓGICO Y DISEÑO HIDRÁULICO COMPARATIVO POR COLAPSO Y COMPRESIÓN, EN POZOS PROFUNDOS, PARA FINES AGRÍCOLAS EN MOQUEGUA, 2023"

PLANO: <b>DISEÑO HIDRÁULICO - ESTACIÓN DE BOMBEO IRHS-009</b>			LAMINA: <b>OH-01</b>
AUTOR: BACH. ARANDA HUACAN, BORIS LEONARDO	DIBUJO: <b>B.L.A.H.</b>	ESCALA: INDICADA	FECHA: <b>2024</b>
ASESOR: MAG. ENRIQUE EDUARDO HUAROTO CASQUILLAS			



**PERFIL ESTRATIGRÁFICO**  
ESC. S/E

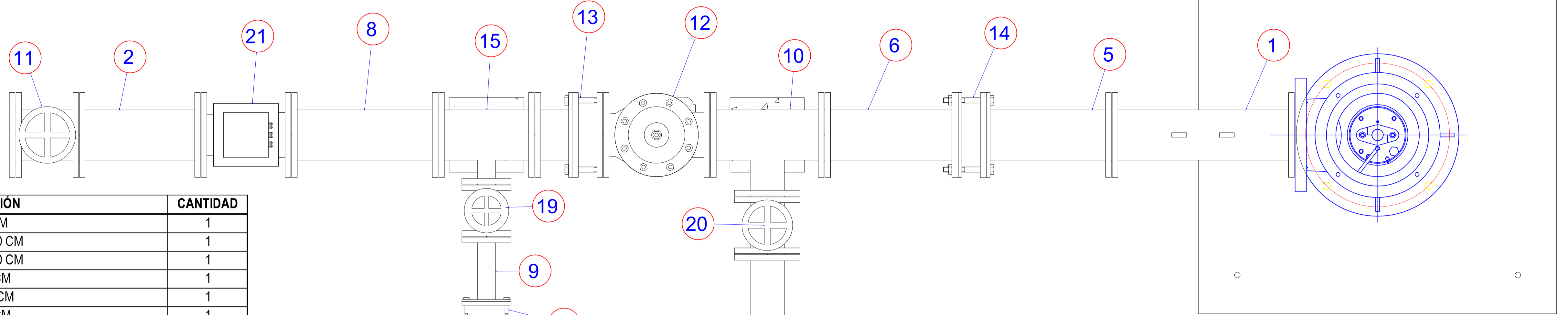
ORCID:  
<https://orcid.org/0009-0006-9621-8347>

**"UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO"**  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

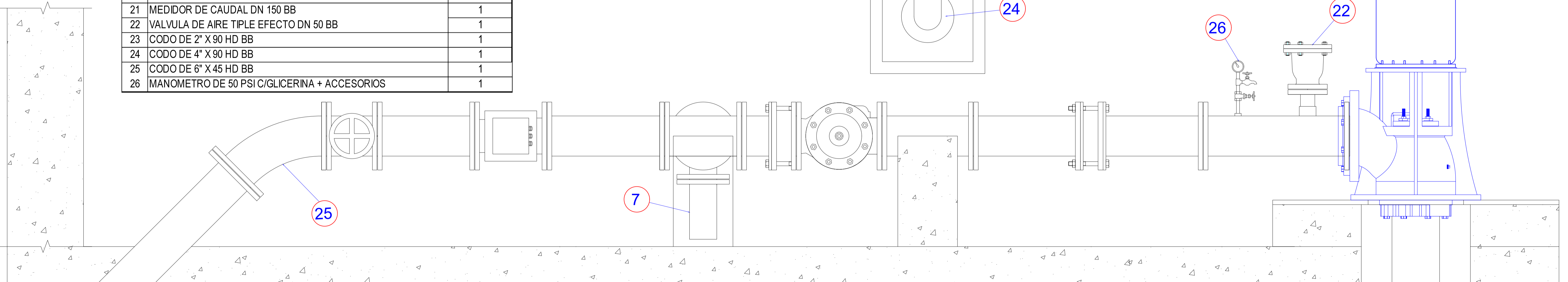
TESIS: "ANÁLISIS HIDROGEOLÓGICO Y DISEÑO HIDRÁULICO COMPARATIVO POR COLAPSO Y COMPRESIÓN, EN POZOS PROFUNDOS, PARA FINES AGRÍCOLAS EN MOQUEGUA, 2023"

AUTOR: BACH. ARANDA HUACAN, BORIS LEONARDO	PLANO: DISEÑO HIDRÁULICO - ESTACIÓN DE BOMBEO IRHS-009	LAMINA: OH-02
ASESOR: MAG. ENRIQUE EDUARDO HUAROTO CASQUILLAS	DIBUJO: B.L.A.H.	ESCALA: INDICADA
	FECHA: 2024	





No.	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	CARRETE DOBLE BRIDA DE 6" X 61 CM	1
2	CARRETE DOBLE BRIDA DE 6" X 40.50 CM	1
3	CARRETE DOBLE BRIDA DE 4" X 65.50 CM	1
4	CARRETE DOBLE BRIDA DE 2" X 62 CM	1
5	CARRETE BRIDA ESPIGA DE 6" X 47 CM	1
6	CARRETE BRIDA ESPIGA DE 6" X 49 CM	1
7	CARRETE BRIDA ESPIGA DE 4" X 25 CM	1
8	CARRETE DOBLE BRIDA DE 6" X 49 CM	1
9	CARRETE BRIDA ESPIGA DE 2" X 25.5 CM	2
10	TEE 6" X 4" HD BB	1
11	VALVULA COMPUERTA DE 6" HD BB	1
12	VALVULA CHECK 6" HD BB	1
13	AUTOPORTANTE DE 6"	1
14	UNION DRESSER DE 6" HD	1
15	TEE 6" X 2" HD BB	1
16	UNION DRESSER DE 2" HD	1
17	TEE 4" X 2" HD BB	1
18	VALVULA ANTICIPADORA DE ONDA DN 50 BB	1
19	VALVULA COMPUERTA DE 2" HD BB	2
20	VALVULA COMPUERTA DE 4" HD BB	1
21	MEDIDOR DE CAUDAL DN 150 BB	1
22	VALVULA DE AIRE TIPLE EFECTO DN 50 BB	1
23	CODO DE 2" X 90 HD BB	1
24	CODO DE 4" X 90 HD BB	1
25	CODO DE 6" X 45 HD BB	1
26	MANOMETRO DE 50 PSI C/GLICERINA + ACCESORIOS	1



**Nota:**

- Las bridas serán ISO7005-1
- La placa base de 3/4" anclada al dado de concreto, deberá ser perforada con agujeros roscados para el anclaje del cabezal de descarga.
- El espesor de los empaques fueron considerados de 1/8" o 3mm.
- La fabricación de los carretes con uniones dresser será completo (las modificaciones dimensionales se realizarán en campo durante la instalación).
- Durante la instalación, verificar las longitudes de los carretes para que su instalación quede dentro de la caseta y no interfiera con la puerta de ingreso.

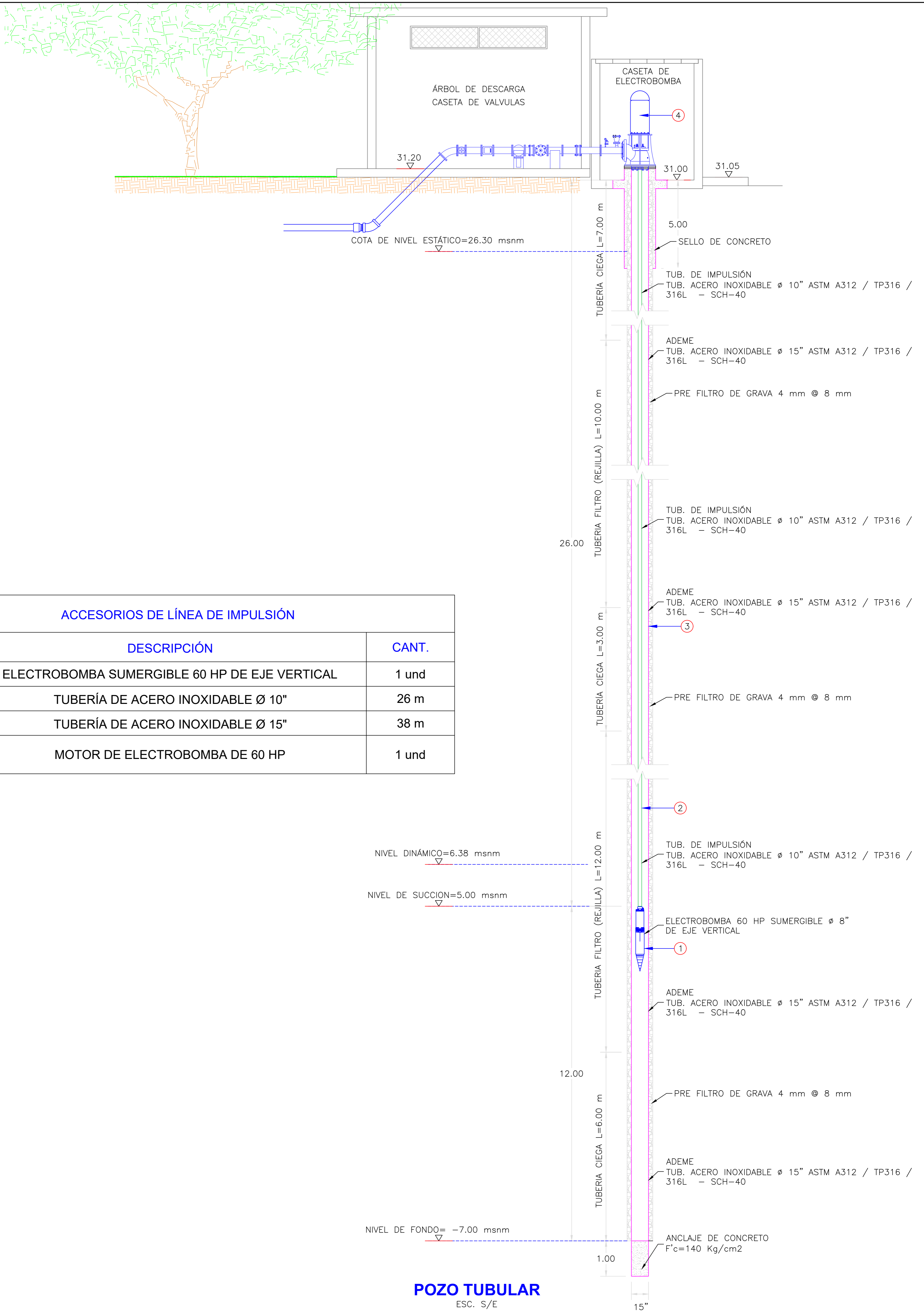
**"UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO"**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: "ANÁLISIS HIDROGEOLÓGICO Y DISEÑO HIDRÁULICO COMPARATIVO POR COLAPSO Y COMPRESIÓN, EN POZOS PROFUNDOS, PARA FINES AGRÍCOLAS EN MOQUEGUA, 2023"

AUTOR: BACH. ARANDA HUACAN, BORIS LEONARDO  
 ASESOR: MAG. ENRIQUE EDUARDO HUAROTO CASQUILLAS

PLANO: DISEÑO HIDRÁULICO - ESTACIÓN DE BOMBEO IRHS-009  
 DIBUJO: B.L.A.H. ESCALA: INDICADA FECHA: 2024

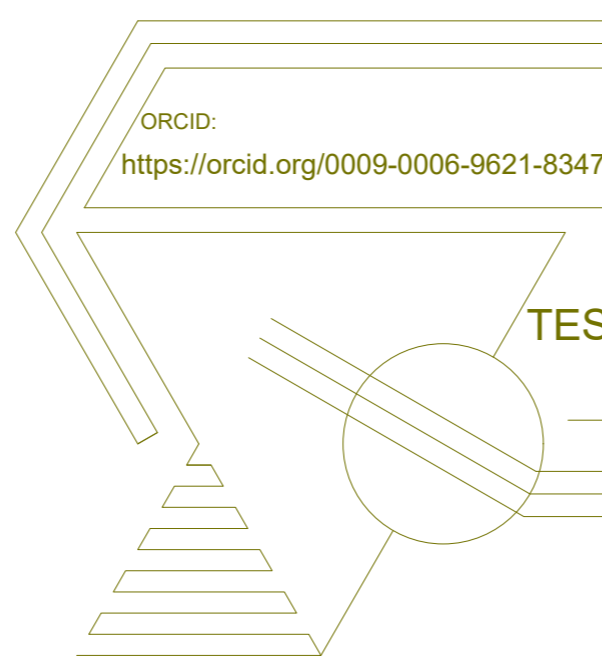
LAMINA: OH-03



ACCESORIOS DE LÍNEA DE IMPULSIÓN

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANT.
1	ELECTROBOMBA SUMERGIBLE 60 HP DE EJE VERTICAL	1 und
2	TUBERÍA DE ACERO INOXIDABLE Ø 10"	26 m
3	TUBERÍA DE ACERO INOXIDABLE Ø 15"	38 m
4	MOTOR DE ELECTROBOMBA DE 60 HP	1 und

**POZO TUBULAR**  
ESC. S/E



ORCID:  
<https://orcid.org/0009-0006-9621-8347>

**"UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO"**  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: "ANÁLISIS HIDROGEOLÓGICO Y DISEÑO HIDRÁULICO COMPARATIVO POR COLAPSO Y COMPRESIÓN, EN POZOS PROFUNDOS, PARA FINES AGRÍCOLAS EN MOQUEGUA, 2023"

1:2,5	0	50	100	150	200	250mm
1:25	0	500	1000	1500	2000	2500mm
1:250	0	5000	10000	15000	20000	25000mm
1:2500	0	50000	100000	150000	200000	250000mm
1:25000	0	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50km

PLANO:  
DISEÑO HIDRÁULICO - ESTACIÓN DE BOMBEO IRHS-035

LAMINA:

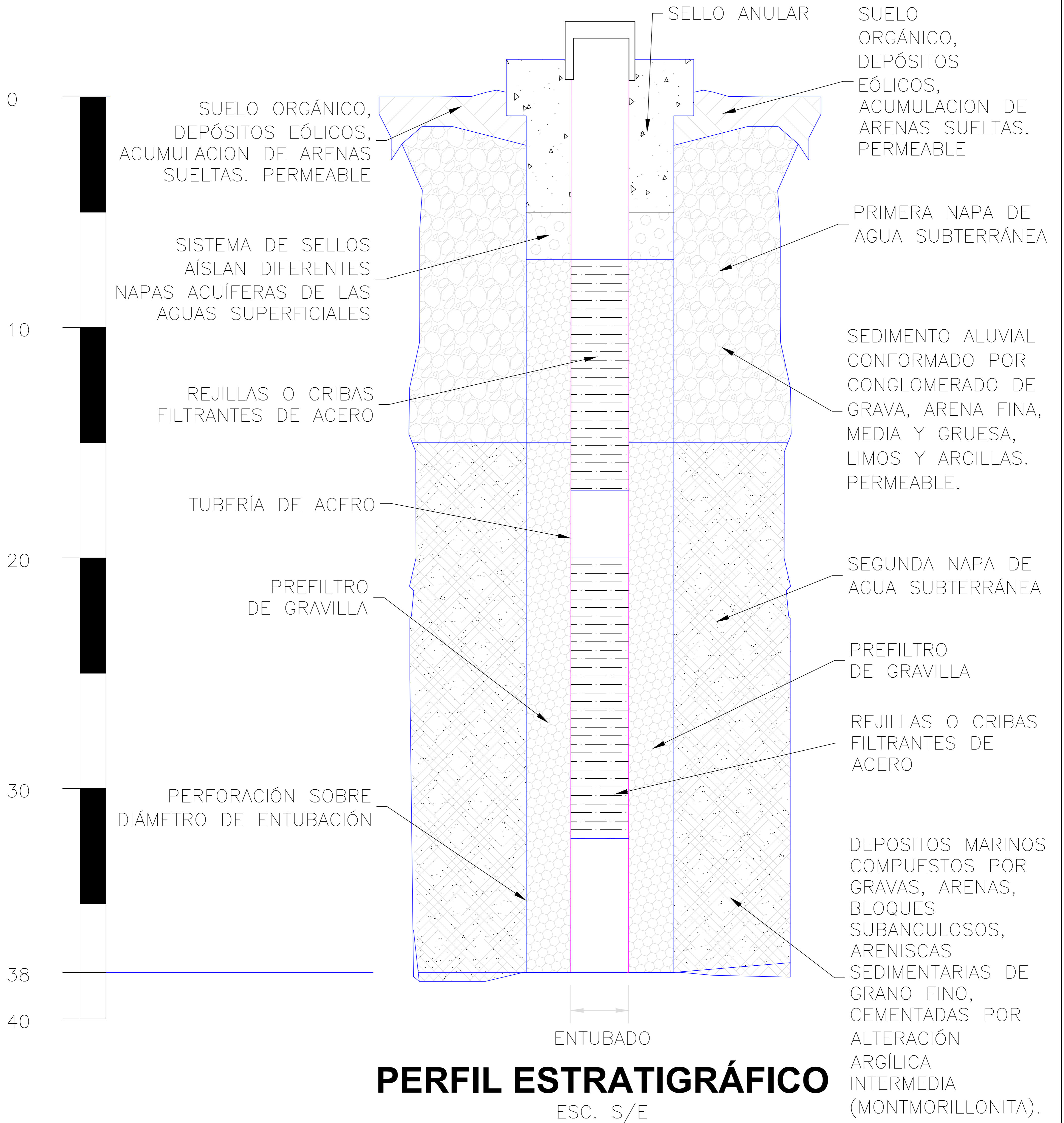
OH-01

AUTOR:  
BACH. ARANDA HUACAN, BORIS LEONARDO  
ASESOR:  
MAG. ENRIQUE EDUARDO HUAROTO CASQUILLAS

DIBUJO:  
B.L.A.H.

ESCALA:  
INDICADA

FECHA:  
2024



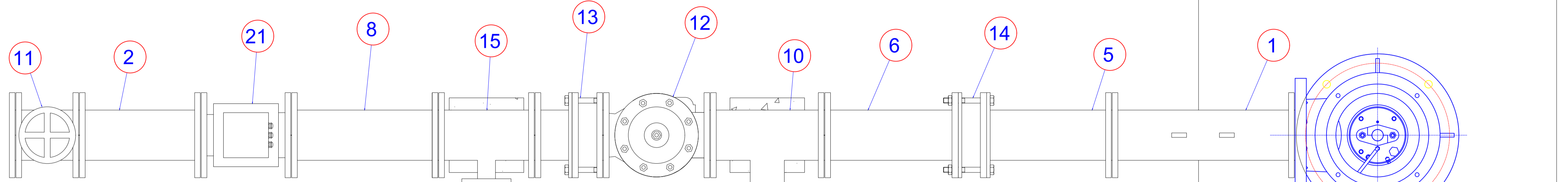
ORCID:  
<https://orcid.org/0009-0006-9621-8347>

**"UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO"**  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

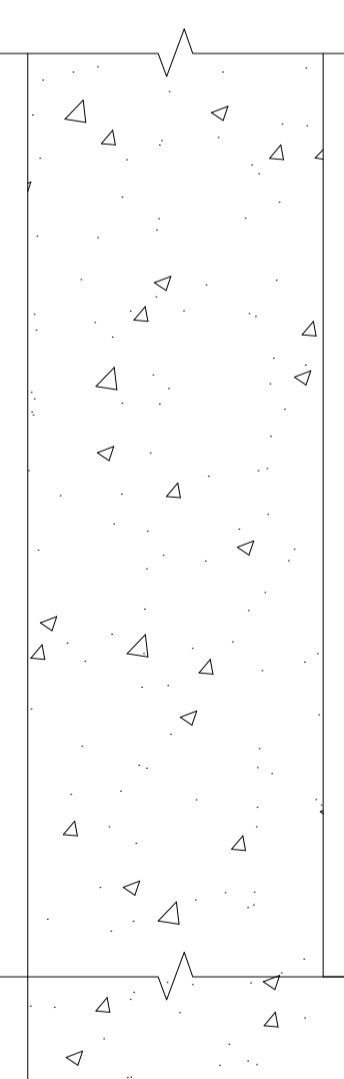
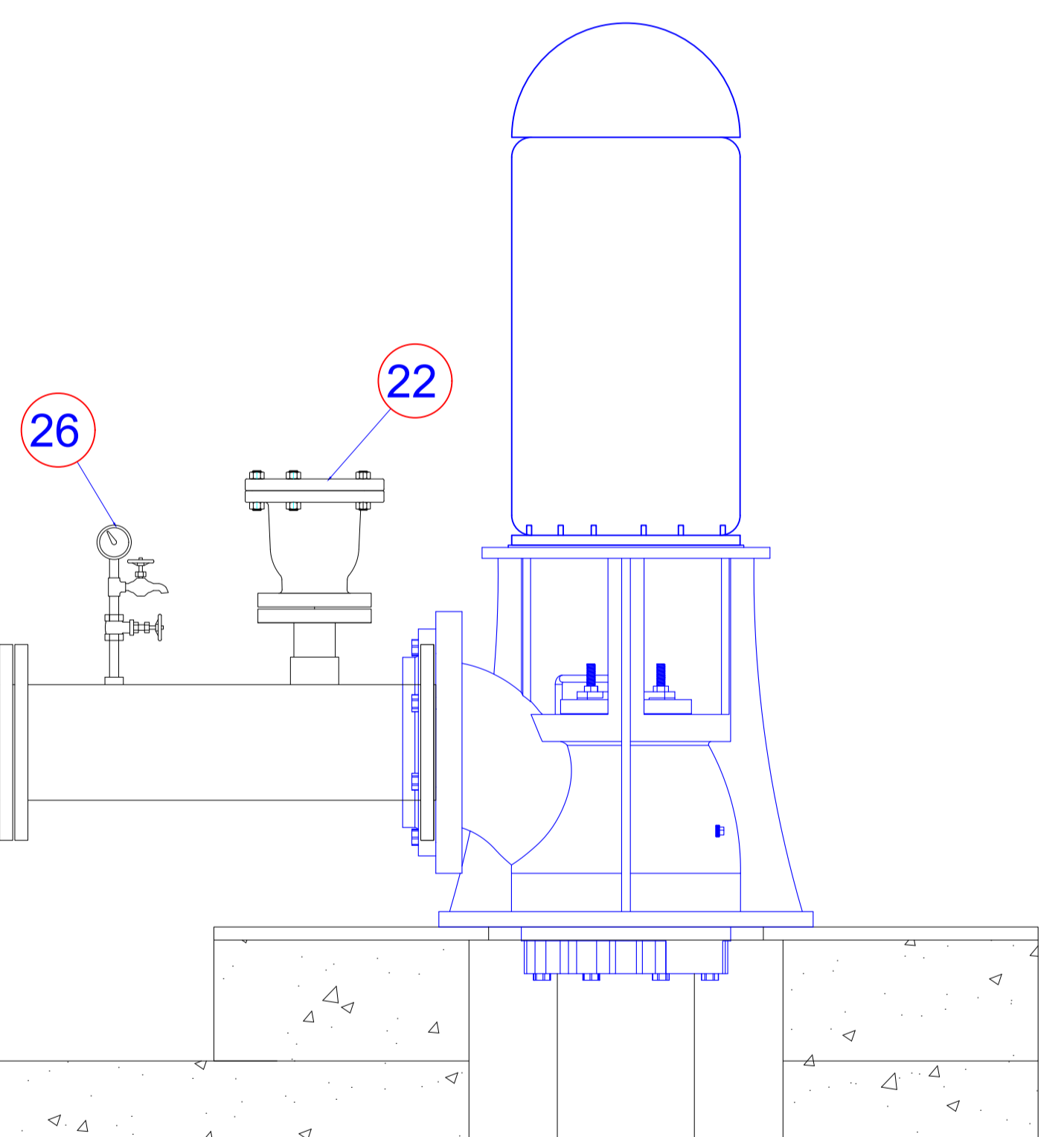
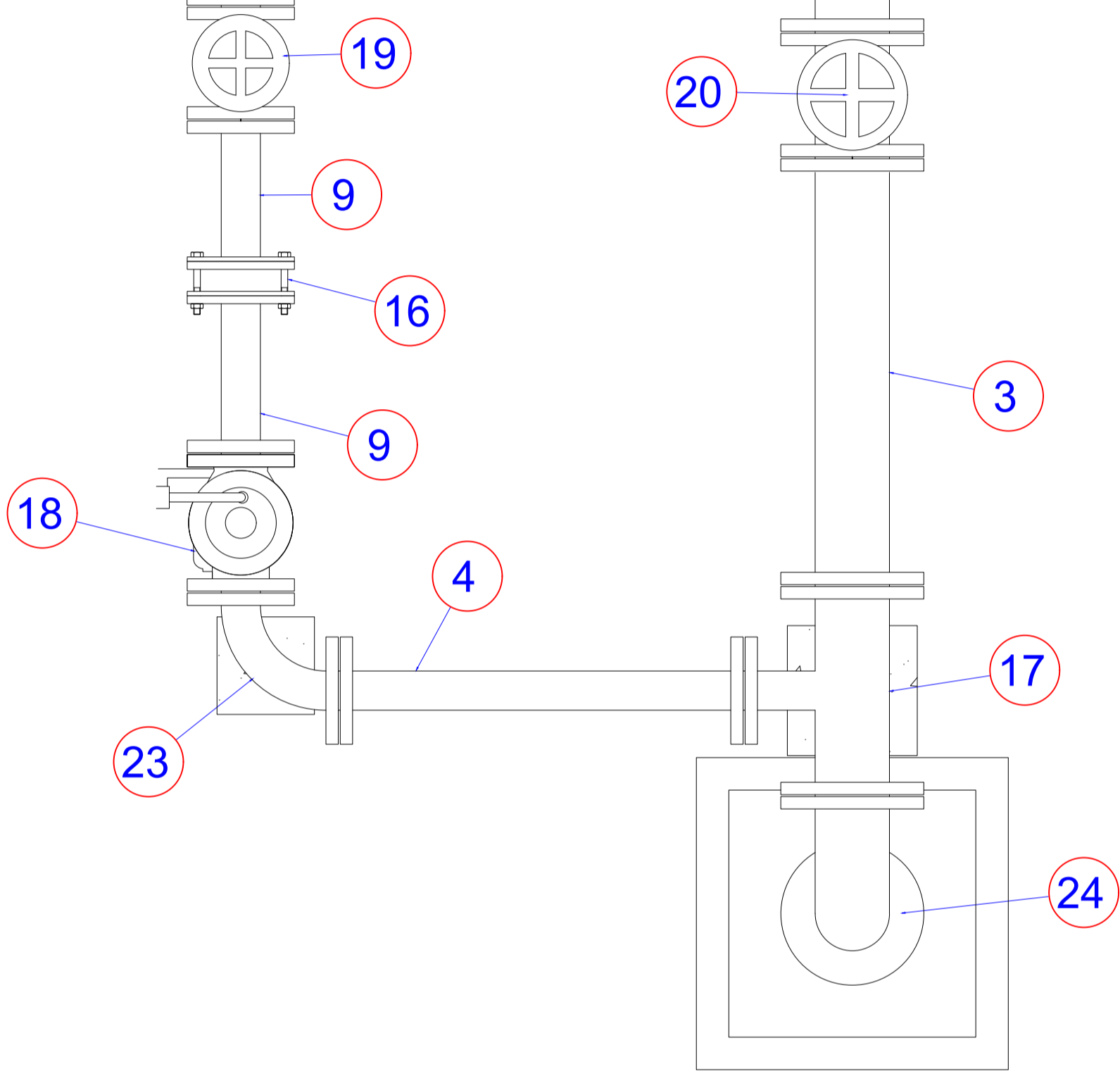
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: "ANÁLISIS HIDROGEOLÓGICO Y DISEÑO HIDRÁULICO COMPARATIVO POR COLAPSO Y COMPRESIÓN, EN POZOS PROFUNDOS, PARA FINES AGRÍCOLAS EN MOQUEGUA, 2023"

AUTOR: BACH. ARANDA HUACAN, BORIS LEONARDO	PLANO: DISEÑO HIDRÁULICO - ESTACIÓN DE BOMBEO IRHS-035	LAMINA: OH-02
ASESOR: MAG. ENRIQUE EDUARDO HUAROTO CASQUILLAS	DIBUJO: B.L.A.H.	ESCALA: INDICADA
	FECHA: 2024	



No.	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	CARRETE DOBLE BRIDA DE 6" X 61 CM	1
2	CARRETE DOBLE BRIDA DE 6" X 40.50 CM	1
3	CARRETE DOBLE BRIDA DE 4" X 65.50 CM	1
4	CARRETE DOBLE BRIDA DE 2" X 62 CM	1
5	CARRETE BRIDA ESPIGA DE 6" X 47 CM	1
6	CARRETE BRIDA ESPIGA DE 6" X 49 CM	1
7	CARRETE BRIDA ESPIGA DE 4" X 25 CM	1
8	CARRETE DOBLE BRIDA DE 6" X 49 CM	1
9	CARRETE BRIDA ESPIGA DE 2" X 25.5 CM	2
10	TEE 6" X 4" HD BB	1
11	VALVULA COMPUERTA DE 6" HD BB	1
12	VALVULA CHECK 6" HD BB	1
13	AUTOPORTANTE DE 6"	1
14	UNION DRESSER DE 6" HD	1
15	TEE 6" X 2" HD BB	1
16	UNION DRESSER DE 2" HD	1
17	TEE 4" X 2" HD BB	1
18	VALVULA ANTICIPADORA DE ONDA DN 50 BB	1
19	VALVULA COMPUERTA DE 2" HD BB	2
20	VALVULA COMPUERTA DE 4" HD BB	1
21	MEDIDOR DE CAUDAL DN 150 BB	1
22	VALVULA DE AIRE TIPLE EFECTO DN 50 BB	1
23	CODO DE 2" X 90 HD BB	1
24	CODO DE 4" X 90 HD BB	1
25	CODO DE 6" X 45 HD BB	1
26	MANOMETRO DE 50 PSI C/GLICERINA + ACCESORIOS	1



Nota:

- Las bridas serán ISO7005-1
- La placa base de 3/4" anclada al dado de concreto, deberá ser perforada con agujeros roscados para el anclaje del cabezal de descarga.
- El espesor de los empaques fueron considerados de 1/8" o 3mm.
- La fabricación de los carretes con uniones dresser será completo (las modificaciones dimensionales se realizarán en campo durante la instalación).
- Durante la instalación, verificar las longitudes de los carretes para que su instalación quede dentro de la caseta y no interfiera con la puerta de ingreso.

**"UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO"**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: "ANÁLISIS HIDROGEOLÓGICO Y DISEÑO HIDRÁULICO COMPARATIVO POR COLAPSO Y COMPRESIÓN, EN POZOS PROFUNDOS, PARA FINES AGRÍCOLAS EN MOQUEGUA, 2023"

AUTOR: BACH. ARANDA HUACAN, BORIS LEONARDO  
 ASESOR: MAG. ENRIQUE EDUARDO HUAROTO CASQUILLAS

PLANO: DISEÑO HIDRÁULICO - ESTACIÓN DE BOMBEO IRHS-035  
 DIBUJO: B.L.A.H. ESCALA: INDICADA FECHA: 2024

LAMINA: OH-03