



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**Diseño con Jet-Grouting para mejorar la estabilidad de la presa  
de tierra sector Palca, provincia de Lampa-Puno.**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

**AUTORES:**

Achata Dueñas, Indira Yubel (ORCID: 0000-0002-9422-3429)

Yucra Medina, Dayana Elizabeth (ORCID: 0000-0003-3033-0935)

**ASESOR:**

Mg. Arévalo Vidal, Samir Augusto (ORCID: 0000-0002-6559-0334)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

DISEÑO DE OBRAS HIDRÁULICAS Y SANEAMIENTO

CALLAO-PERÚ

2021

## **Dedicatoria**

La presente tesis se la dedico a mi familia por ser la fuente de motivación e inspiración para poder superar los obstáculos que se presentaron a lo largo del desarrollo de este trabajo.

A los docentes que nos asesoraron el presente proyecto de investigación, por brindarnos el apoyo necesario y dedicar su valioso tiempo para finalizar la presente tesis.

## **Agradecimiento**

Le agradecemos a Dios padre todo poderoso, por brindarnos salud y conocimiento en todo este tiempo de estudio para poder cumplir satisfactoriamente una de nuestras metas trazadas.

Igualmente, a nuestros familiares que siempre nos apoyaron en todo momento por sus valores, exigencias y consejos en todo el trayecto de estudio.

A nuestros docentes que en todo este tiempo de estudio nos vinieron guiando y ayudando con sus conocimientos para poder ser mejores cada día como personas con valores y profesionales emprendedores.

## Índice de contenidos

Caratula	i
Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Índice de contenidos	iv
Índice de tablas	v
Índice de gráficos y figuras	vii
Resumen	xi
Abstract	xii
I. INTRODUCCIÓN	13
II. MARCO TEÓRICO	15
III. METODOLOGÍA	63
3.1. Tipo y diseño de investigación	63
3.2. Variables y operacionalización:	64
3.3. Población, muestra y muestreo	65
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	66
3.5. Procedimientos	66
3.6. Método de análisis de datos:	67
3.7. Aspectos éticos	67
IV. RESULTADOS	67
V. DISCUSIÓN	138
VI. CONCLUSIONES	142
VII. RECOMENDACIONES	143
REFERENCIA	144
ANEXOS	149

## Índice de tablas

<b>Tabla 1.</b> Fallas en presas de tierra, características y causas principales. ....	46
<b>Tabla 2.</b> Características de los suelos gruesos.....	52
<b>Tabla 3.</b> Taludes de las presas de materiales sueltos .....	53
<b>Tabla 4.</b> Taludes para presas de tierra. ....	53
<b>Tabla 5.</b> Taludes para presas de escollera. ....	53
<b>Tabla 6.</b> Ancho de la corona según la altura.....	60
<b>Tabla 7.</b> Accesibilidad a la zona del proyecto. ....	68
<b>Tabla 8.</b> Puntos de control geodésico.....	70
<b>Tabla 9.</b> Coordenadas del eje de presa. ....	70
<b>Tabla 10.</b> Perfil estratigráfico C-01 del eje la presa. ....	78
<b>Tabla 11.</b> Perfil estratigráfico C-2 del eje de la presa. ....	79
<b>Tabla 12.</b> Perfil estratigráfico C-03 del eje de la presa. ....	80
<b>Tabla 13.</b> Clasificación de suelos.....	81
<b>Tabla 14.</b> Línea de perforación de sondeos.....	84
<b>Tabla 15.</b> Resumen de perforaciones. ....	84
<b>Tabla 16.</b> Ponderación del RQD. ....	85
<b>Tabla 17.</b> Recuperación P-01. ....	85
<b>Tabla 18.</b> RQD de P-01.....	86
<b>Tabla 19.</b> Recuperación de P-02 .....	87
<b>Tabla 20.</b> RQD P-02 .....	89
<b>Tabla 21.</b> Recuperación de P-03. ....	89
<b>Tabla 22.</b> RQD de P-03.....	90
<b>Tabla 23.</b> Recuperación de P - 04 .....	90
<b>Tabla 24.</b> RQD de P-04 .....	92
<b>Tabla 25.</b> Recuperación de P-05 .....	92
<b>Tabla 26.</b> RQD de P-05 .....	94
<b>Tabla 27.</b> Numero de cajas. ....	95
<b>Tabla 28.</b> Descripción de las perforaciones. ....	96
<b>Tabla 29.</b> Evaluación de Resultados Capacidad portante del suelo de fundación sin tratamiento. ....	106
<b>Tabla 30.</b> Datos generales para el diseño de presa.....	107
<b>Tabla 31.</b> Asentamiento en la cimentación de la presa sin tratamiento. ....	112

<b>Tabla 32.</b> Asentamiento en la cimentación de la presa con tratamiento. ....	113
<b>Tabla 33.</b> Ensayo de permeabilidad Lefranc en PPRS-01.....	114
<b>Tabla 34.</b> Ensayo de permeabilidad Lefranc en PPRS-02.....	114
<b>Tabla 35.</b> Ensayo de permeabilidad Lefranc en PPRS-03.....	115
<b>Tabla 36.</b> Ensayo de permeabilidad Lefranc en PPRS-04.....	115
<b>Tabla 37.</b> Ensayo de permeabilidad Lefranc en PPRS-05.....	115
<b>Tabla 38.</b> Ensayo de permeabilidad Lugeon en PPRS-01.....	115
<b>Tabla 39.</b> Ensayo de permeabilidad Lugeon en PPRS-02.....	115
<b>Tabla 40.</b> Ensayo de permeabilidad Lugeon en PPRS-03.....	115
<b>Tabla 41.</b> Ensayo de permeabilidad Lugeon en PPRS-04.....	116
<b>Tabla 42.</b> Ensayo de permeabilidad Lugeon en PPRS-05.....	116
<b>Tabla 43.</b> Puntos críticos de los ensayos de permeabilidad. ....	116
<b>Tabla 44.</b> Parámetros de cálculo de la presa.....	117
<b>Tabla 45.</b> Factores de seguridad obtenidos en el análisis Sin tratamiento y Con tratamiento. ....	119
<b>Tabla 46.</b> factores de seguridad recomendados. ....	119
<b>Tabla 47.</b> Datos considerados. ....	133
<b>Tabla 48.</b> cuadro resumen resultados de filtración. ....	137
<b>Tabla 49.</b> Factores de seguridad Sin tratamiento y Con tratamiento. ....	139
<b>Tabla 50.</b> Cuadro comparativo de mejora de capacidad de carga ultima. ....	140

## Índice de gráficos y figuras

<b>Figura 1.</b> Jet Grouting.....	20
<b>Figura 2.</b> Fracture Grouting. ....	21
<b>Figura 3.</b> Compaction Grouting.....	22
<b>Figura 4.</b> Proceso de Inyección. ....	24
<b>Figura 5.</b> Inyección Ascendente. ....	28
<b>Figura 6.</b> Inyección Descendente. ....	29
<b>Figura 7.</b> Espaciamiento de juntas. ....	30
<b>Figura 8.</b> Medida de abertura de junta.....	30
<b>Figura 9.</b> Dirección de juntas. ....	31
<b>Figura 10.</b> Resistencia de la roca. ....	31
<b>Figura 11.</b> Solidez de la roca. ....	31
<b>Figura 12.</b> Tensiones en la roca. ....	32
<b>Figura 13.</b> Uniformidad. ....	32
<b>Figura 14.</b> Tendencia al Grouting. ....	32
<b>Figura 15.</b> Circuito de Inyección. ....	34
<b>Figura 16.</b> Ensayo tipo Lefranc (carga variable).....	37
<b>Figura 17.</b> Presa de tierra de sección homogénea. ....	39
<b>Figura 18.</b> Presa de tierra sección graduada.....	39
<b>Figura 19.</b> Componentes de un suelo.....	40
<b>Figura 20.</b> Porcentaje de ocurrencia de causas de fallas en las presas de tierra.....	45
<b>Figura 21.</b> Asentamiento en presas de tierra.....	49
<b>Figura 22.</b> Perfil Típico de una presa cimentada sobre estrato aluvial. ....	50
<b>Figura 23.</b> Perfil Típico de una presa cimentada sobre roca. ....	51
<b>Figura 24.</b> Perfil típico de una presa de escollera.....	51
<b>Figura 25.</b> Acción de las olas en una presa de materiales sueltos. ....	54
<b>Figura 26.</b> Ábaco para determinar la altura de la ola. ....	55
<b>Figura 27.</b> Dimensiones del núcleo. ....	61
<b>Figura 28.</b> Mapa de ubicación política del distrito de lampa, Palca. ....	68
<b>Figura 29.</b> Accesibilidad a la zona de estudio.....	69
<b>Figura 30.</b> Ubicación del eje de la presa. ....	70
<b>Figura 31.</b> Plano topográfico.....	72
<b>Figura 32.</b> Sección trasversal de la presa.....	75

<b>Figura 33.</b> Vista en planta de la presa. ....	75
<b>Figura 34.</b> Calicatas en el eje de la presa. ....	76
<b>Figura 35.</b> C-01 Eje de presa.....	77
<b>Figura 36.</b> C-02 Eje de presa.....	78
<b>Figura 37.</b> C-03 Eje de presa.....	80
<b>Figura 38.</b> Ubicación de las perforaciones. ....	95
<b>Figura 39.</b> PPRS-01 .....	97
<b>Figura 40.</b> PPRS-02 .....	97
<b>Figura 41.</b> PPRS-03 .....	98
<b>Figura 42.</b> PPRS-04 .....	98
<b>Figura 43.</b> PPRS-05 .....	98
<b>Figura 44.</b> Secciones de la presa. ....	99
<b>Figura 45.</b> Tensión Efectiva Vertical PPRS-1 .....	100
<b>Figura 46.</b> Tensión Efectiva Vertical PPRS-2 .....	100
<b>Figura 47.</b> Tensión Efectiva Vertical PPRS-03 .....	101
<b>Figura 48.</b> Tensión Efectiva Vertical PPRS-04 .....	101
<b>Figura 49.</b> Tensión Efectiva Vertical PPRS-05 .....	102
<b>Figura 50.</b> Altura del oleaje generado por el viento. ....	109
<b>Figura 51.</b> Gráfico de asentamiento en la cimentación de la presa. ....	113
<b>Figura 53.</b> Análisis fin de la construcción sin tratamiento aguas arriba - sin sismo. .....	120
<b>Figura 54.</b> Análisis fin de la construcción sin tratamiento aguas arriba - con sismo. .....	120
<b>Figura 55.</b> Análisis fin de la construcción sin tratamiento aguas abajo - sin sismo .....	121
<b>Figura 56.</b> Análisis fin de la construcción sin tratamiento aguas abajo - con sismo. .....	121
<b>Figura 57.</b> Análisis desembalse rápido sin tratamiento aguas arriba - sin sismo. .....	122
<b>Figura 58.</b> Análisis desembalse rápido sin tratamiento aguas arriba - con sismo. .....	122
<b>Figura 59.</b> Análisis desembalse rápido sin tratamiento aguas abajo - sin sismo. .....	123



<b>Figura 60.</b> Análisis desembalse rápido sin tratamiento aguas abajo - con sismo. .....	123
<b>Figura 61.</b> Análisis embalse totalmente lleno sin tratamiento aguas arriba - sin sismo.....	124
<b>Figura 62.</b> Análisis embalse totalmente lleno sin tratamiento aguas arriba - con sismo.....	124
<b>Figura 63.</b> Análisis embalse totalmente lleno sin tratamiento aguas abajo - sin sismo.....	125
<b>Figura 64.</b> Análisis embalse totalmente lleno sin tratamiento aguas abajo - con sismo.....	125
<b>Figura 65.</b> Análisis fin de la construcción con tratamiento aguas arriba - sin sismo. .....	126
<b>Figura 66.</b> Análisis fin de la construcción con tratamiento aguas arriba - con sismo. .....	126
<b>Figura 67.</b> Análisis fin de la construcción con tratamiento aguas abajo - sin sismo. .....	127
<b>Figura 68.</b> Análisis fin de la construcción con tratamiento aguas abajo - con sismo. .....	127
<b>Figura 69.</b> Análisis desembalse rápido con tratamiento aguas arriba - sin sismo. .....	128
<b>Figura 70.</b> Análisis desembalse rápido con tratamiento aguas arriba - con sismo. .....	128
<b>Figura 71.</b> Análisis desembalse rápido con tratamiento aguas abajo - sin sismo. .....	129
<b>Figura 72.</b> Análisis desembalse rápido con tratamiento aguas abajo - con sismo. .....	129
<b>Figura 73.</b> Análisis embalse totalmente lleno con tratamiento aguas arriba - sin sismo.....	130
<b>Figura 74.</b> Análisis embalse totalmente lleno con tratamiento aguas arriba - con sismo.....	130
<b>Figura 75.</b> Análisis embalse totalmente lleno con tratamiento aguas abajo - sin sismo.....	131

<b>Figura 76.</b> Análisis embalse totalmente lleno con tratamiento aguas abajo - con sismo.....	131
<b>Figura 77.</b> Análisis por el método de elementos finitos sin tratamiento. ....	134
<b>Figura 78.</b> Análisis por el método de elementos finitos con tratamiento.....	134
<b>Figura 79.</b> Presión de poros sin tratamiento.....	135
<b>Figura 80.</b> Redes de flujo sin tratamiento. ....	135
<b>Figura 81.</b> Presión de poros con tratamiento.....	136
<b>Figura 82.</b> Redes de flujo con tratamiento. ....	136

## Resumen

El presente proyecto de investigación denominado: "Diseño con Jet-Grouting para mejorar la estabilidad de la presa de tierra sector Palca, provincia de Lampa-Puno", tiene como objetivo realizar el diseño con la técnica Jet-Grouting para mejorar la estabilidad de la presa de tierra, mejorando las propiedades mecánicas del suelo, reduciendo la permeabilidad y disminuyendo las filtraciones para evitar las fallas por sifonamiento en la presa. Para lo cual se recolecto datos de campo y se realizó ensayos de laboratorio, los cuales fueron empleados para el diseño y cálculo de presa mediante el software GeoStudio

Utilizando el software se diseñó la presa de tierra sin el tratamiento y con el tratamiento, observándose la mejora de la estabilidad en el suelo de fundación, lo cual se evidencia por la variación de los factores de seguridad en el diseño, disminución de la permeabilidad y aumento de la longitud de recorrido del flujo; reduciendo de esta manera el riesgo de Sifonamiento y evitando la pérdida de agua, por lo que se estaría garantizando la estanqueidad del embalse.

**Palabras claves:** Jet-Grouting, estabilidad, sifonamiento.

## **Abstract**

The present research project called: "Design with Jet-Grouting to improve the stability of the earth dam in the Palca sector, Lampa-Puno province", aims to carry out the design with the Jet-Grouting technique to improve the stability of the earth dam, improving the mechanical properties of the soil, reducing permeability and decreasing seepage to avoid siphoning failures in the dam. For which field data was collected and laboratory tests were carried out, which were used for the design and calculation of the dam using the GeoStudio software.

Using the software, the earth dam was designed without the treatment and with the treatment, observing the improvement of the stability in the foundation soil, which is evidenced by the variation of the safety factors in the design, decrease in permeability and increased flow path length; thus reducing the risk of siphoning and avoiding the loss of water, thus guaranteeing the tightness of the reservoir.

**Keywords:** Jet-Grouting, stability, siphoning.

## **I. INTRODUCCIÓN**

El Perú es uno de los países en Latinoamérica que dispone de gran cantidad de recursos hídricos. Siendo la vertiente del Titicaca una de las principales cuencas de drenaje natural, por tal motivo es importante tener conciencia sobre la problemática de la oferta del recurso hídrico para que el agua esté disponible en épocas de estiaje para así poder incrementar dicho recurso.

El diseño para toda estructura que será construida sobre la superficie tendrá cimentaciones superficiales, semiprofundas y profundas. La estabilidad y estanqueidad de una presa o dique dependen en gran parte de los materiales sobre los cuales estarán asentados o rodeados.

Las investigaciones requieren de un estudio de terreno, los cuales podrán estar compuestos desde una prueba sencilla de la superficie del terreno, realizando o no la excavación del mismo, estudios detallados del terreno y niveles freáticos; o investigaciones profundas que requerirán perforaciones con barrenos, pruebas en campo y laboratorio.

A través de un estudio geotécnico se podrá conocer y evaluar las características físicas y propiedades de los suelos, analizar y tratar la información geotécnica existente del terreno, encontrar el tratamiento necesario para mejorar las propiedades del terreno donde se construirá dicha estructura de almacenamiento.

El diseño y construcción de una presa de tierra se realiza con el objetivo de almacenar, derivar agua o regular avenidas. Estas obras durante su vida útil se ven afectadas con la aparición de fenómenos desestabilizadores que limitan su explotación y atentan contra su seguridad. Una de las principales causas de fallas graves o catastróficas que puede provocar desastres es el sifonamiento mecánico. Esta causa de falla es reconocida como la segunda de mayor ocurrencia en el mundo luego del rebase de la cortina. (Del Río, 2016)

Las actividades económicas en la región de Puno se ven afectadas directamente por la falta de los recursos hídricos, ya que se observa mayor producción en los meses de diciembre a febrero en donde las precipitaciones son mayores; y producciones nulas en los meses de estiaje desde abril a octubre.

En ese sentido, el problema de la presente investigación radica básicamente en el mejoramiento de la estabilidad de una presa de tierra mediante el diseño con jet-grouting. Por lo tanto, se consideró como problema general:

¿De qué manera el diseño con Jet-Grouting mejorará la estabilidad de la presa de tierra sector palca, provincia de lampa-puno?

Asimismo, se consideró los siguientes problemas específicos:

¿De qué manera el diseño con Jet-Grouting mejorará las propiedades mecánicas del suelo de fundación de la presa de tierra sector Palca?, ¿De qué manera el diseño con Jet-Grouting disminuirá las fallas en la presa de tierra sector Palca? y ¿De qué manera el diseño con Jet-Grouting disminuirá los asentamientos en la cimentación de la presa de tierra sector Palca?

El presente trabajo de investigación está justificado tanto:

Técnicamente, en la necesidad de aplicar un tratamiento geotécnico mediante la técnica del Jet Grouting que se prioriza la evaluación de las propiedades relevantes de los materiales de las cimentaciones o de materiales de préstamo, con la finalidad de obtener parámetros y rangos de variabilidad necesarios para el diseño, construcción y funcionalidad de la estructura.

Ambientalmente, ya que en la región de Puno el manejo hídrico ha dejado una huella imborrable en el modo de vida andina, siendo el agua el elemento esencial para la conservación de nuestra flora y fauna silvestre.

Económicamente, ya que las actividades agrarias y ganaderas deben ser vista como un dinamizador fundamental de los procesos de cambio de vida en el campo y como fines de desarrollo económico siendo la escasez de recursos hídricos una de las mayores necesidades a nivel mundial, por lo que su uso racional está directamente relacionado con la construcción de presas, donde el agua es un elemento esencial para el crecimiento de las actividades económicas de agricultura y ganadería en la región de Puno.

Socialmente, ya que el uso racional del agua permitirá una calidad de vida mejor para la población del campo, considerando que gracias a la actividad agrícola se podrá disminuir los índices de desnutrición en dichas zonas.

Metodológicamente, ya que la presente tesis se basa en la Guía de elaboración de trabajos de investigación y tesis de la universidad César Vallejo del año 2020.

Asimismo, nuestro proyecto de investigación tiene como objetivo principal diseñar con la técnica Jet-Grouting para mejorar la estabilidad de la presa de tierra en el sector palca provincia Lampa-Puno.

Para alcanzar el objetivo principal se debe tener en cuenta los siguientes objetivos específicos:

Mejorar las propiedades mecánicas del suelo de fundación en el diseño con Jet-Grouting de la presa de tierra sector Palca, Disminuir las fallas en el diseño con Jet-Grouting de la presa de tierra sector Palca y Evaluar la reducción de asentamientos en el diseño con Jet-Grouting para la presa de tierra sector Palca.

Siendo la hipótesis de gran importancia ya que se busca a través de ella responder a los problemas planteados en el presente proyecto de investigación. Por lo cual se consideró como hipótesis general la siguiente: El diseño con Jet-Grouting en una presa de tierra mejorara la estabilidad de su estructura, disminuyendo las filtraciones de agua que ocasionan el sifonamiento y pérdida de agua.

Así mismo se tiene las siguientes hipótesis específicas:

Las mejoras que ofrece el tratamiento con Jet-Grouting en las propiedades mecánicas del suelo son el incremento de la capacidad de carga y reducción de la permeabilidad, Con respecto a las fallas en la presa de tierra, la aplicación de Jet-Grouting en el diseño disminuirá el riesgo de sifonamiento y reducirá las pérdidas por filtración y El diseño con Jet-Grouting reducirá los asentamientos en la cimentación de la presa de tierra.

## **II. MARCO TEÓRICO**

Como **Antecedentes de Investigación Internacionales** tenemos:

**CORDERO, Lismary (2017). ANÁLISIS DE FILTRACIONES Y ESTABILIDAD DE TALUDES EN PRESAS DE TIERRA PARA SUELOS PARCIALMENTE SATURADOS. Tesis (Ingeniero Civil). CUBA: UNIVERSIDAD CENTRAL “MARTA ABREU” DE LAS VILLAS.** El objetivo general fue la realización del análisis de filtraciones y estabilidad de taludes para presas de tierra en donde

incorporó la mecánica de suelos parcialmente saturados. La metodología usada fue: tipo aplicada, nivel descriptivo y diseño no experimental. Concluyendo que la succión es la propiedad que diferencia a los suelos con saturación total de los suelos parcialmente saturados, lo cual fue plasmado por la curva característica del suelo. Su uso en el modelamiento, corrección del peso específico y el uso de los métodos de Fredlund y Vanapalli en la corrección de los parámetros de resistencia, posibilitaron mejorar la caracterización de los mismos durante el estado de saturación parcial, siendo el análisis de estabilidad de taludes y filtraciones en presas de tierra una de sus aplicaciones principales.

**DEL RÍO, Michel (2016). SIFONAMIENTO EN PRESAS DE TIERRA: CAUSAS Y MÉTODOS DE SOLUCIÓN. Tesis (Ingeniero Hidráulico). CUBA: INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO JOSÉ ANTONIO ECHEVERRÍA.** El objetivo general fue caracterizar las causas que favorecen el sifonamiento mecánico y sus métodos más frecuentes de solución. La metodología usada fue: tipo aplicada, nivel descriptivo y diseño no experimental. Concluyendo que mediante la recopilación de información tanto nacional como internacional se mostraron los grandes impactos en forma detallada que pueden tener las presas debido a las causas de falla de sifonamiento.

**HERNÁNDEZ, Pedro (2013). EVALUACIÓN DEL MÉTODO GIN (NÚMERO DE INTENSIDAD DE INYECTADO) EN INYECCIÓN DE PANTALLAS DE IMPERMEABILIZACIÓN EN MACIZOS ROCOSOS. Tesis (Maestría en Ingeniería). MÉXICO: UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO.** El objetivo general fue que este trabajo pueda ayudar a ofrecer información completa y analizada para el tratamiento de cimentaciones de futuras presas, para optimizar los diseños en lo que a la técnica, seguridad y economía se refiere, así como continuar con los análisis de los diferentes resultados que se obtengan en los proyectos en los que se utilice el método GIN (Numero de Intensidad de Inyectado). La metodología usada fue: tipo aplicada, nivel descriptivo y diseño no experimental. La conclusión fue que en general el método aplicado satisface las condiciones del macizo rocoso, notándose un cierre progresivo entre las diferentes etapas de inyección.



**ÁLVAREZ, Fernando (2012). ANÁLISIS DEL GASTO DE FILTRACIÓN A TRAVÉS DE LAS ATAGUÍAS AGUAS ARRIBA Y DEBAJO DE LA PRESA DE HCB EN EL PROYECTO HIDROELÉCTRICO MINAS SAN FRANCISCO-LA UNIÓN. Tesis (Maestría en Geología Aplicada y Geotecnia). Ecuador: Universidad de Cuenca.** El objetivo general fue predecir el caudal de filtración a través de ataguías y sus cimientos, con el propósito de realizar la construcción de la presa de hormigón que será compactada con rodillo en ausencia de agua para evitar perjuicios. La metodología usada fue: tipo aplicada, nivel descriptivo y diseño no experimental. La conclusión fue que, al comparar los resultados de 8 casos, estos mostraron diferencia de gastos por filtración en cada metro lineal de ataguía, obteniendo que con una pantalla contra filtraciones mediante el sistema Jet Grouting a través de la profundidad del depósito aluvial y con una penetración de 1m en el macizo rocoso caso 8, con respecto al caso 2 se reduce únicamente el gasto de filtración en  $8.11E-4 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}=0.81 \text{ L/s}/\text{m}$ .

**OVANDO, Hector (2011). INYECCIÓN DE SUELO POR MEDIO DE LA TÉCNICA DE JET GROUTING. Tesis (Ingeniero Civil). Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.** El objetivo general fue tomar en cuenta los aspectos de inyección de suelo haciendo uso de la técnica de inyección de Jet Grouting, con el fin de presentar una propuesta, la cual se adapte a las condiciones y realidad de Guatemala. La metodología usada fue: tipo aplicada, nivel descriptivo y diseño no experimental. Concluyendo como resultado del uso del Jet Grouting, se obtuvo una mejora en la capacidad portante del suelo, reduciendo o eliminando problemas por asentamiento de consolidación del terreno.

Como **Antecedentes de Investigación Nacionales** tenemos:

**VARGAS, Luis (2020). APLICACIÓN DEL MÉTODO JET GROUTING PARA LA IMPERMEABILIZACIÓN DE LA REPRESA ANCASCCOCHA Y DISPONIBILIDAD HÍDRICA EN MINERA LAS BAMBAS –APURÍMAC. Tesis (Ingeniero de Minas). CUSCO: UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO.** El objetivo general fue desarrollar el proceso de las cortinas de impermeabilización en la represa Ancascococha, aplicando el método Jet Grouting. Para la disponibilidad del recurso hídrico y su abastecimiento para las operaciones mina en la minera las Bambas – Apurímac. La metodología usada fue: tipo básico no

experimental y nivel No experimental Descriptivo – correlacional. Concluyendo que el proceso de la impermeabilización es la inyección de lechada de cemento a todos los taladros realizados en el eje de la represa, a través de esto se forma una pantalla impermeable, posteriormente se almacena la mayor cantidad de recurso hídrico en la represa, de esta manera abastecer en las operaciones mina en la minera las Bambas.

**ARAUJO, Dante (2019). PERFORACIÓN DEL MACIZO ROCOSO EN LA IDENTIFICACIÓN DE FISURAS Y FALLAS PARA LA IMPERMEABILIZACIÓN CON LECHADA DE CEMENTO EN LA ZONA DE WACACOCHA – QUEBRADA AYASH –HUARI – 2018. Tesis (Ingeniero de Minas). HUARAZ: UNIVERSIDAD NACIONAL SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO.** El objetivo general fue hacer una perforación al macizo rocoso, identificando fisuras y fallas para realizar la impermeabilización con el uso de lechada y así disminuir la filtración de agua superficial en la zona de Wacacocha– Quebrada Ayash. La metodología usada fue: tipo aplicada, nivel descriptivo y diseño no experimental transversal. Concluyendo que al ejecutar las perforaciones con diamantina y lograr llegar al macizo rocoso, se logró verificar que las rocas en la zona estudiada se encontraban altamente fracturadas, por lo que necesita una adecuada inyección de lechada de cemento. Por lo cual se concluyó que las fracturas y fallas en el macizo rocoso fueron tratadas y selladas, obteniendo así una baja permeabilidad y minimizando la filtración de agua.

**HERRERA, Carmen (2019). IMPERMEABILIZACIÓN MEDIANTE INYECCIONES DE CEMENTO EN MACIZO ROCOSO PARA EVITAR LA SURGENCIA DE AGUA EN EXPLOTACIÓN SUBTERRÁNEA CAJAMARCA, 2019. Tesis (Ingeniero de Minas). CAJAMARCA: UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE.** El objetivo general fue impermeabilizar el macizo rocoso mediante inyecciones de cemento, evitando así que surja el agua de las explotaciones subterráneas. La metodología usada fue: tipo aplicada, nivel descriptivo y diseño no experimental. Concluyendo que la realización del tratamiento con lechada de cemento no es factible bajo condiciones en las que el agua en el macizo rocoso sea alta, en tal caso necesitará la adición de agregados gruesos para realizar el sellado de estructuras abiertas y permeables con el objetivo de utilizar inyecciones de lechada de cemento.

**RIMACHI, Elard (2016). APLICACIÓN DEL MÉTODO GIN PARA LA PANTALLA DE IMPERMEABILIZACIÓN DE LA PRESA PUMAMAYO – DISTRITO DE MACUSANI – PROVINCIA DE CARABAYA – DEPARTAMENTO DE PUNO”. Tesis (Ingeniero Geólogo). AREQUIPA: UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA.**

El objetivo general fue realizar el procedimiento para impermeabilizar el plinto de la presa Pumamayo, haciendo el uso del método GIN. La metodología usada fue: tipo aplicada, nivel descriptivo y diseño no experimental. Concluyendo que se realizó la descripción y comparación entre el método convencional y el método GIN, llegando a concluir que el método GIN es más viable tanto técnica como económicamente para ser aplicado en la presa Pumamayo.

**BRIONES, Jorge (2008). “ESTUDIO COMPARATIVO DEL DISEÑO DE LA PRESA DE TIERRA LIMÓN DEL PROYECTO OLMOS CON PANTALLA DE CONCRETO VERSUS NÚCLEO DE MATERIAL ARCILLOSO”. Tesis (Ingeniero Civil). LIMA: UNIVERSIDAD RICARDO PALMA.**

El objetivo general fue comparar dos diseños existentes de una presa de almacenamiento, realizando los cálculos sustentados y un análisis para poder demostrar la factibilidad técnica y económica de la construcción. La metodología usada fue: tipo aplicada, nivel descriptivo y diseño no experimental. Concluyendo que: al realizar la comparación entre dos alternativas se demostró que la presa con pantalla impermeable resultó ser más económica que la presa de núcleo central de arcilla, desde un punto de vista de seguridad, las inyecciones que se consideraron y que penetraron la roca fracturada permitirán un buen desempeño ante las filtraciones.

Como **Bases teóricas** tenemos:

**Variable Independiente: Diseño con Jet-Grouting**

**Inyección en suelos**

La técnica de inyección en suelos es usada para incrementar la capacidad de carga y su resistencia ya sea temporal o permanentemente durante el proceso de construcción; para lo cual se tienen los siguientes mecanismos para lograr este fin,

los cuales son: la densificación, la cohesión, el reforzamiento y el intercambio químico. En caso de rocas la inyección en suelos será empleada para reducir la permeabilidad e impedir el movimiento del agua (Hernández, 2013).

## **Tipos de inyección**

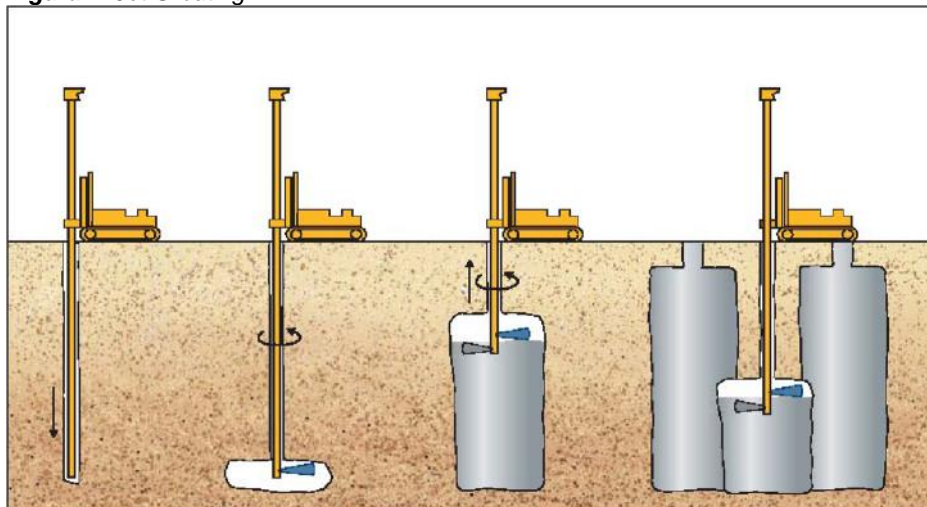
### **Inyección por Reemplazo o Jet Grouting.**

Usualmente aplicada en Geotecnia, con el fin de lograr mejores condiciones en diferentes suelos, también empleado para estabilizar laderas, pilotes, construcción de muros de contención y en cimentaciones. Su uso actualmente también ha sido empleado para la remediación ambiental, esto con el fin de evitar el flujo de fluidos que puedan contaminar el suelo (Rimachi, 2016).

Es un método que brinda mejoras al comportamiento del suelo y sus propiedades mecánicas, esto mediante la introducción de un material consolidado a alta velocidad para la formación de columnas de suelo mejorado con la inyección de lechada de cemento (Rimachi, 2016).

El proceso constructivo se realiza mediante la perforación hasta la profundidad requerida alrededor de 10 cm de diámetro. Para luego iniciar con la inyección de la lechada a altas velocidades mediante agujeros laterales entre velocidades de 10 a 30 rpm, y aumentan entre 20 hasta 80 cm/min y conjuntamente a la tubería de perforación con ascenso lento (Rimachi, 2016).

**Figura 1. Jet Grouting**



Fuente: Tomado de *interactive geotechnical design of bridge foundations* (p.5), Kova evi , Juri -Ka uni , & Ivankovi , 2015, ResearchGate.

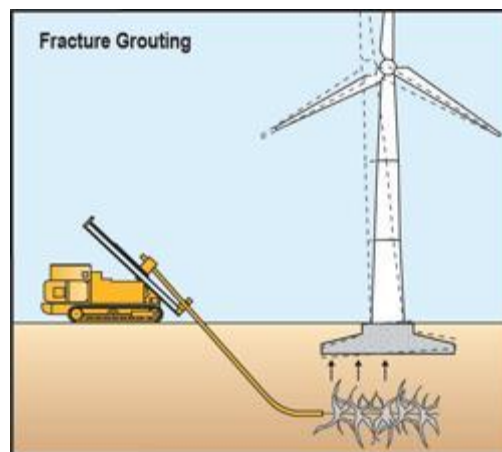
## **Inyección por Impregnación y Fractura o Fracture Grouting.**

Consiste en realizar la inyección de la lechada a altas presiones sobrepasando su resistencia por tracción y la presión por confinamiento del terreno, generando así la fracturación (Rimachi, 2016).

Este método puede emplearse a todo tipo de suelo desde los granulares gruesos hasta las arcillas de alta plasticidad; y rocas blandas desde ígneas muy meteorizadas hasta margas arcillosas (Rimachi, 2016).

El proceso de inyección de lechada sobre las fisuras formadas naturalmente en el suelo o crear fracturas hidráulicas que luego serán rellenadas con mezcla de mortero, el cual rodeará a los fragmentos. Este tipo de inyección producirá un efecto de sobre-consolidación al reducir el índice de poros (Rimachi, 2016).

*Figura 2. Fracture Grouting.*



Fuente: tomado de Yepes. V, 2019. Poliblogs. <https://victoryepes.blogs.upv.es/2019/07/04/inyecciones-de-fracturacion/>

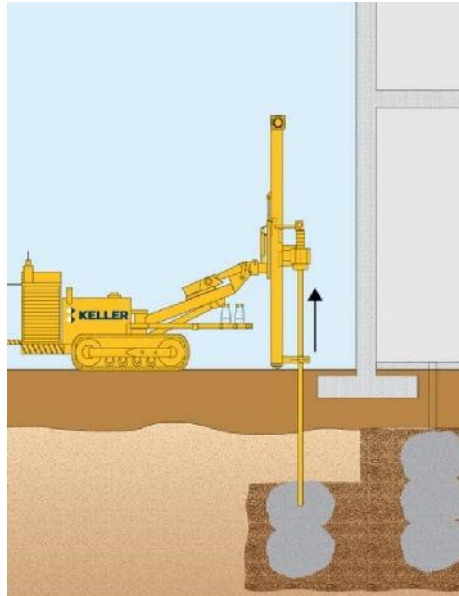
## **Inyección por Consolidación o Compaction Grouting**

Esta inyección se basa en inyectar lechadas de menor movilidad y mayor fricción interna en el suelo para así aumentar su densidad y fortalecerlo. Al realizar una selección adecuada de los parámetros y materiales, la mezcla formará una masa constante la cual se centrará en el punto de intervención. Este método podrá causar el levantamiento del terreno sobre la superficie (Rimachi, 2016).

Este tipo de inyección es realizada sin penetración mediante desplazamiento del suelo. El producir es introducir dentro del orificio originado por el taladro una mezcla

firme densificando el suelo circundante; lo que permite restaurar la capacidad portante tanto en los suelos sueltos como compresibles (Rimachi, 2016).

**Figura 3.** *Compaction Grouting.*



Fuente: tomado de *Yepes. V, 2020. Poliblogs*. <https://victoryepes.blogs.upv.es/tag/inyeccion-de-desplazamiento/>.

### **Inyecciones de Lechadas Fluidas, Geles y/o Aditivos Plastificantes Denominadas Chemical Grouting.**

Este método emplea distintos tipos de aditivos o geles, algunos tan fluido como el agua, muy finos a la lechada, los cuales permiten rellenar cualquier fractura y tener máxima penetrabilidad. Después de un periodo de tiempo la mezcla formará un material viscoso (Rimachi, 2016).

Estas lechadas químicas son de elevado costo y necesitan de mucha experiencia para su aplicación. Así mismo estas no son permanentes y requerirán de tratamientos a largo plazo ya que experimentan deshidrataciones hasta por un 30 % de su volumen original (Rimachi, 2016).

Esta técnica es ideal para revestimientos, tanques de relaves en minas, soporte en túneles, estabilización para rocas y fundaciones para presas pequeñas (Rimachi, 2016).

## **Inyecciones de Cemento o Cement Grouting.**

Este tipo de inyección tiene como finalidad rellenar fracturas en roca mediante la aplicación de dosificaciones de lechada de cemento y agua que pueden variar de una a más veces. La aplicación de las inyecciones ha ido modernizando a través del tiempo desde métodos manuales hasta sistemas automáticos computarizados (Rimachi, 2016).

### **Jet-Grouting**

El Jet-Grouting es un tipo de inyección utilizado en aplicaciones geotécnicas que tiene por finalidad la mejora de las condiciones geomecánicas de diferentes tipos de suelo o roca, esto a través de inyección de lechada de cemento (Vargas, 2020).

Este método se utiliza para mejorar el terreno a profundidad, introduciendo en el suelo una mezcla de lechada de cemento (Hernández, 2013).

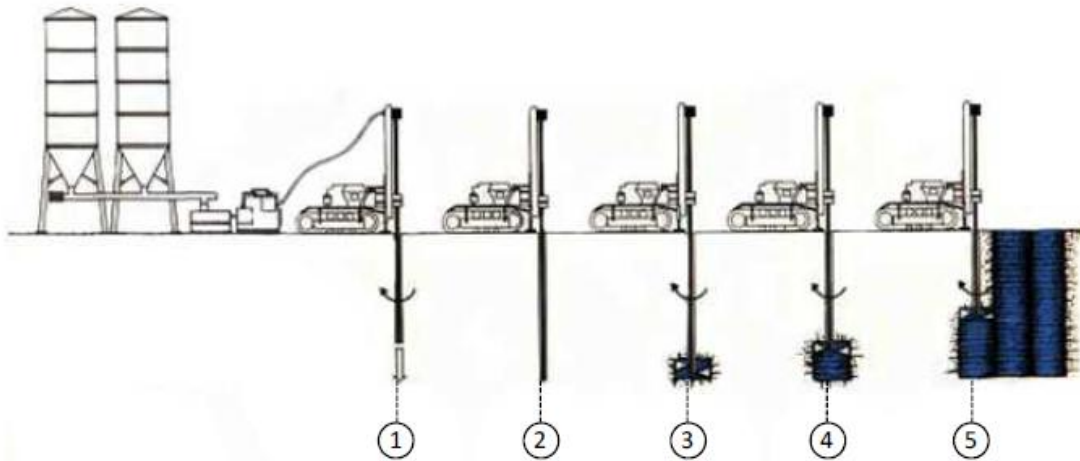
Esta técnica optimiza las propiedades mecánicas y el comportamiento hidráulico del terreno, el cual se basa en la inyección de un material consolidante a alta velocidad por medio de una o varias boquillas de pequeño diámetro con el fin de obtener un tratamiento continuo y homogéneo, sustituyendo su estructura inicial para así crear un nuevo elemento estructural con propiedades determinadas en base al terreno de origen (Hernández, 2013).

Su ejecución se efectúa como se indica en la figura:

- (1) Fase de perforación por rotación: Se realiza la perforación con un sistema de roto percusión o con una simple rotación con elementos de corte sobre el suelo a tratar (Hernández, 2013).
- (2) Fin de la perforación: Una vez alcanzada la profundidad establecida se inicia el procedimiento de inyección (Hernández, 2013).
- (3) Inicio del proceso de inyección: Se realiza la inyección de la lechada a alta presión a través de las toberas de las bombas de inyección, ocasionando una alta energía cinética que produce el corte y amasado del terreno. Al realizarse la mezcla con el terreno se optimiza la estructura y propiedades mecánicas originales. Las presiones de inyección sobrepasan los 150 kg/cm<sup>2</sup> (Hernández, 2013).

- (4) Elevación y rotación a velocidad preestablecida: mientras el elemento gira y va ascendiendo se realiza el inyectado (Hernández, 2013).
- (5) Terminación y repetición del proceso: se asciende hasta la superficie culminando la columna y repitiendo el procedimiento de nuevo (Hernández, 2013).

**Figura 4.** Proceso de Inyección.



Fuente: tomado de Perdigon, 2016. Estructurando. <https://estructurando.net/2016/03/28/tecnica-de-jet-grouting-aspectos-analiticos-para-casos-de-taponos-de-fondo/>

Las características principales de este método se mencionan a continuación:

- La inyección a alta velocidad de lechada de cemento logra la formación de columnas de suelo mejorado, esto a través de las toberas y una alta presión de bombeo (Hernández, 2013).
- El método empleado y las características del terreno determinará el diámetro y la resistencia de las columnas (Hernández, 2013).
- El método es apropiado para el recalce de estructuras, ya que este no altera de manera drástica el comportamiento original de la cimentación (Hernández, 2013).
- Muy factible para trabajos de estanqueidad y muros de contención (Hernández, 2013).
- Se puede utilizar barras de acero en el armado de columnas para así mejorar su resistencia a la flexión (Hernández, 2013).



## **Materiales de inyección**

Los materiales más empleados para los procedimientos de inyección son los siguientes:

### **Cemento Portland**

Los tipos de cemento comúnmente usados son el tipo I y II, debido a la finura de sus granos y un rápido tiempo de fraguado, por lo que penetra en las fracturas más finas de la roca. El cemento portland tipo V es puzolámico por mayor grado de resistencia a los sulfatos, siendo muy conveniente en lugares con presencia de agua subterránea (Herrera, 2019).

### **Bentonita**

Según su composición mineral la bentonita es considerada como arcilla impura, la cual tiene la capacidad para absorber agua gracias a su estructura cristalina, en donde logra expandirse durante el proceso de un 400 a 700%. Es utilizada en mínima proporción para las lechadas de cemento, cuya función es producir una suspensión parcialmente estable. La bentonita incrementa la viscosidad y cohesión de la lechada reduciendo el asentamiento de las partículas en la lechada (Herrera, 2019).

### **Aditivos Químicos**

Los más utilizados en las inyecciones son:

#### **Dispersantes**

Son aquellos que tienen como función el reducir la inclinación que tienen partículas de cemento por aglomerarse, por lo cual incrementa la facultad de penetrar la lechada dentro de las fracturas (Herrera, 2019).

Los dispersantes reducen la viscosidad y cohesión en la lechada parcialmente gruesa. Estos retardan el tiempo de fraguado (Herrera, 2019).

#### **Acelerantes**

Son usualmente empleados para acelerar el tiempo de fraguado en la lechada. Los más utilizados son: el silicato de calcio, cloruro de calcio y el hidróxido de sodio entre otros (Herrera, 2019).

Durante la preparación de la mezcla será muy importante el monitoreo de las dosificaciones de los acelerantes, por lo que las concentraciones que no se encuentren dentro del rango, no cumplirán el propósito deseado (Herrera, 2019).

## **Agua**

Es importante que el agua empleada para las inyecciones esté libre de impurezas y/o partículas que podrían ocasionar algún atascamiento en los taladros. No deberá contener agentes dañinos (mayores a 0.1%) como sulfatos. En la ingeniería geotécnica no se utiliza agua con contenidos de cloruros (Herrera, 2019).

## **Propiedades de los materiales de Inyección**

### **Viscosidad**

Esta propiedad consiste en describir la resistencia al flujo, el cual puede ser considerado como parámetro de fricción de fluido. Es expresado en la unidad de pascal-segundo (Pa-s). la viscosidad será expresada en segundos para los trabajos de inyección utilizando el cono de Marsh (Herrera, 2019).

El ensayo del cono de Marsh evalúa el tiempo de tarda un volumen de lechada en fluir a través del diámetro del cono. Se tomará como referencia la viscosidad del agua que oscila entre  $26 \pm 0.5s$  (Herrera, 2019).

### **Cohesión**

Esta propiedad consiste en la fuerza de atracción que hay entre las moléculas que permiten unir las partículas en la lechada. La cohesión es un importante factor en el distanciamiento de penetración de la lechada (Herrera, 2019).

Durante los trabajos de inyección la presión deberá ser suficiente para que se dé un flujo a través de toda la inyección. Además, al disminuir la dosificación de agua y cemento aumentará el factor de cohesión y al adicionar el fluidificante se reducirá el factor de cohesión (Herrera, 2019).

La placa de cohesión de Lombardi es el equipo utilizado para realizar la medición de la cohesión, cuya unidad de medida está en mm (Herrera, 2019).

### **Gravedad Específica**

Las tasas de asentamiento de las partículas de una lechada son directamente proporcionales a la diferencia que hay entre la gravedad específica de la partícula sobre la gravedad específica de la lechada (Herrera, 2019).

Al tomar en cuenta el peso de la columna de lechada, será de utilidad la gravedad específica de la misma, para lo cual se limitará las presiones efectivas de inyección. El propósito es verificar que la lechada esté formulada correctamente, solo así la gravedad específica será acertada (Herrera, 2019).

### **Granulometría**

La penetración de la lechada en suelos granulares o rocas fracturadas dependen de la composición granulométrica de las partículas que forman la lechada. Donde las partículas del tamaño  $D_{85}$  (15% de partículas más gruesas) son los componentes predominantes para la capacidad de penetración de la lechada con respecto a los materiales fracturados o granulares. Las proporciones de inyectabilidad ya sea para materiales granulares o roca fracturada estarán determinados por el número de malla que retiene a las partículas gruesas mediante la fórmula  $GR = D_{15} / D_{85}$  (Herrera, 2019).

Donde:

GR Representa la porción de inyectabilidad para el suelo que será inyectado.

$D_{15}$ . Es el porcentaje de suelo que será inyectado (15%).

$D_{85}$ . Es el porcentaje de partículas en la lechada (85%).

Cuando la proporción sea inferior a 11, no se podrá emplear inyecciones de lechada de cemento en dichos suelos, por el contrario, cuando la proporción sea mayor a 24 este si podrá ser utilizada, Mitchell (1981) añadió la anterior investigación en proporciones de inyectabilidad para rocas (Herrera, 2019).

Según las siguientes fórmulas:

-  $GR = \text{Ancho de la grieta} / (D_{95}) \text{ de la lechada}$

-  $GR > 5$ : Inyección consistentemente viable

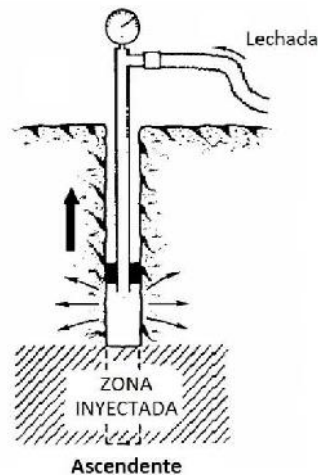
-  $GR < 2$ : Inyección no viable

## Técnicas de Inyección

### Inyección Ascendente

Es aplicado en terrenos que al realizar la perforación se encuentran altamente fracturados, lo cual ocasiona inestabilidad en las paredes de perforación. Se realiza una perforación progresiva de 5 metros de largo, para después realizar la inyección y volver a perforar el tramo inferior siguiente, continuando este proceso hasta encontrar rocas estables (Rimachi, 2016).

**Figura 5.** Inyección Ascendente.

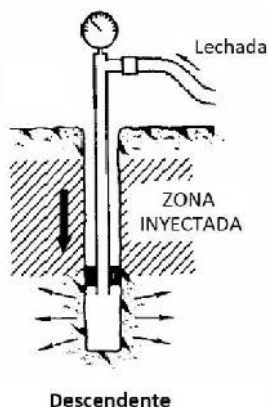


Fuente: Tomado de Cambefort, h. (1999). Inyección de Suelos. Barcelona: Omega.

### Inyección Descendente

Esta técnica de inyección se realiza desde el fondo hacia arriba cuando la perforación es estable, lo que hace posible que pueda ser perforado a toda su longitud avanzando en tramos de 5 metros (Rimachi, 2016).

**Figura 6.** Inyección Descendente.



Fuente: Tomado de Cambefort, h. (1999). Inyección de Suelos. Barcelona: Omega.

## **Sistemas de Inyección por Jet-Grouting**

### **Sistema de fluido único**

Se logra con la inyección de un único fluido de lechada de cemento a alta presión (Vargas, 2020).

### **Sistema de doble fluido (aire)**

Consiste en la inyección de aire a gran velocidad y un fluido de lechada de cementante sobre el macizo rocoso (Vargas, 2020).

### **Sistema de doble fluido (agua)**

Se produce al inyectar agua y lechada de cemento a alta presión para lograr la cementación sólida de la matriz rocosa (Vargas, 2020).

### **Sistema de triple fluido:**

Se realiza al inyectar agua a presión, un chorro de aire a presión y lechada de cemento con el fin de conseguir la cementación deseada en el macizo rocoso (Vargas, 2020).

## **Equipo de perforación**

### **Perforadora Track Drill**

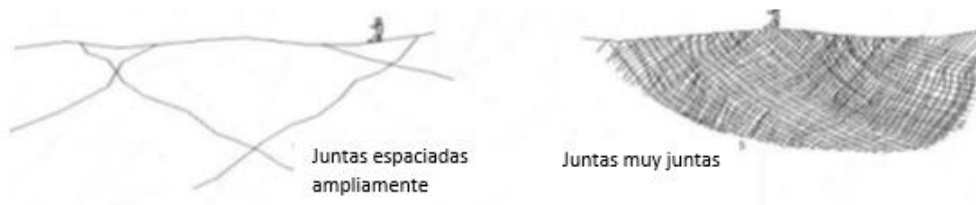
Este equipo es empleado usualmente en perforaciones a cielo abierto, ya que viene ensamblado sobre orugas y autopropulsado, esto posibilita la colocación y estabilidad de manera más fácil (Vargas, 2020).

## Consideraciones geotécnicas para las inyecciones.

Los aspectos geotécnicos que intervienen directamente en la inyección de lechada de cemento, a continuación, se describen las consideraciones que pueden presentarse:

**El espaciamiento de las juntas:** Generalmente una adecuada inyección se realiza en juntas abiertas de los estratos rocosos, esto facilitará el flujo del fluido para poder impermeabilizar correctamente (Vargas, 2020).

*Figura 7. Espaciamiento de juntas.*



Fuente: Tomado de Cambefort, h. (1999). Inyección de Suelos. Barcelona: Omega.

**Las aberturas de junta:** Las aberturas de junta deberán estar en un rango de 2-6mm, para que la lechada ingrese con facilidad (Vargas, 2020).

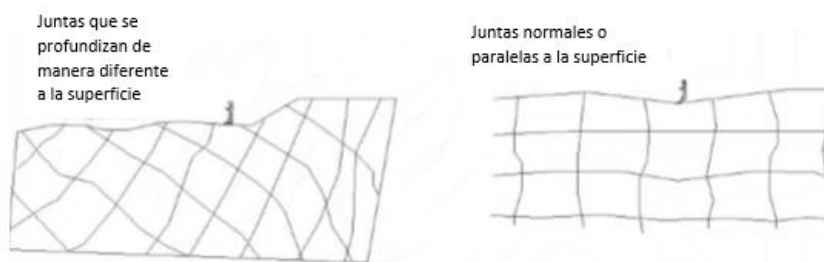
*Figura 8. Medida de abertura de junta.*



Fuente: Tomado de Cambefort, h. (1999). Inyección de Suelos. Barcelona: Omega.

**La dirección de las juntas en el estrato rocoso:** Las perforaciones se deberán realizar en sentido contrario o perpendicular al buzamiento de la matriz rocosa (Vargas, 2020).

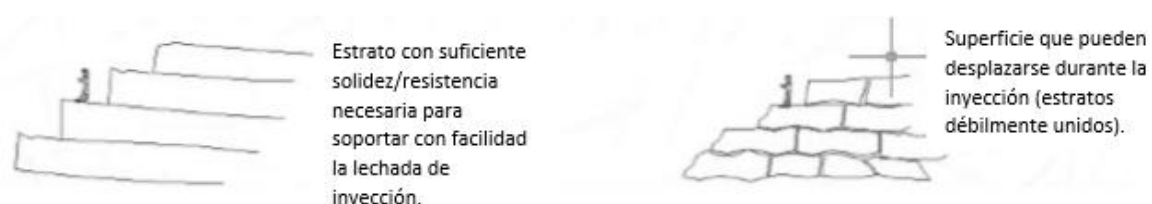
**Figura 9. Dirección de juntas.**



Fuente: Tomado de Cambefort, h. (1999). Inyección de Suelos. Barcelona: Omega.

**La resistencia de la roca:** La capacidad portante de la matriz rocosa permitirá la inyección de la lechada a alta presión (Vargas, 2020).

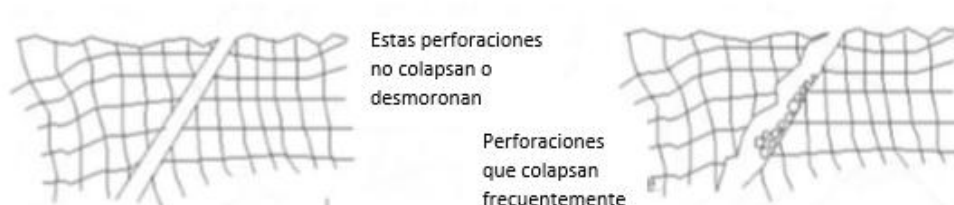
**Figura 10. Resistencia de la roca.**



Fuente: Tomado de Cambefort, h. (1999). Inyección de Suelos. Barcelona: Omega.

**La solidez de una roca:** La solidez y resistencia de la matriz rocosa será muy útil para que las perforaciones no colapsen (Vargas, 2020).

**Figura 11. Solidez de la roca.**



Fuente: Tomado de Cambefort, h. (1999). Inyección de Suelos. Barcelona: Omega.

**El esfuerzo en roca:** Los esfuerzos en el macizo rocoso generan la aparición de bloques de rocas como resultado de la tensión mayor a la resistencia de la roca generando la aparición gradual de grietas y posteriores fracturas, lo cual podrá ser detectado visualmente (Vargas, 2020).

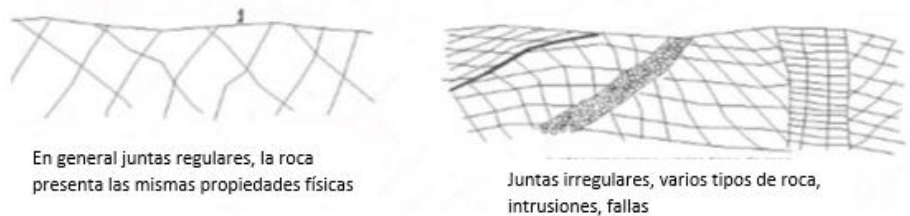
**Figura 12. Tensiones en la roca.**



Fuente: Tomado de Cambefort, h. (1999). Inyección de Suelos. Barcelona: Omega.

**La fundación es uniforme:** Es muy importante para el diseño de las perforaciones que se tenga una formación uniforme (Vargas, 2020).

**Figura 13. Uniformidad.**



Fuente: Tomado de Cambefort, h. (1999). Inyección de Suelos. Barcelona: Omega.

**Tendencia al Grouting:** Las inyecciones de mortero serán más intensas dependiendo el ancho de las juntas, para poder realizar una limpieza previa (Vargas, 2020).

**Figura 14. Tendencia al Grouting.**



Fuente: Tomado de Cambefort, h. (1999). Inyección de Suelos. Barcelona: Omega.

## Conceptos Básicos de inyecciones

### Inyección de Lechada



Este proceso tiene por objetivo reemplazar el aire, agua, fisuras y huecos por una mezcla (soluciones, suspensiones o emulsiones), reduciendo la fluidez del agua por el medio inyectado, haciéndolo impermeable, aumentando la resistencia y el módulo de elasticidad del suelo de manera considerable (Rimachi, 2016).

Es un proceso mediante el cual se introduce una mezcla de cemento en agua denominado lechada en los poros y fisuras del subsuelo (Rimachi, 2016).

### **Penetración de Lechada**

Este puede depender de algunas características como forma, geometría, extensión, abertura, interconexión de las fracturas (Rimachi, 2016).

### **Hidrofracturamiento e Hidrogateo**

El aumento y exceso de la presión de inyección producirá un hidrofracturamiento, el cual dará origen a nuevas fracturas o rocas fisuradas; también se podrá producir el hidrogateo que es la apertura de fisuras o apertura ya existentes en el macizo (Rimachi, 2016).

### **Circuito de Inyección**

El procedimiento comenzará con la limpieza de los taladros, realizando un lavado con agua a presión, esto con el fin de remover de las perforaciones aquellos materiales finos y detritos, los cuales podrían obstruir el paso de la lechada a través de fisuras y fracturas de la roca (Rimachi, 2016).

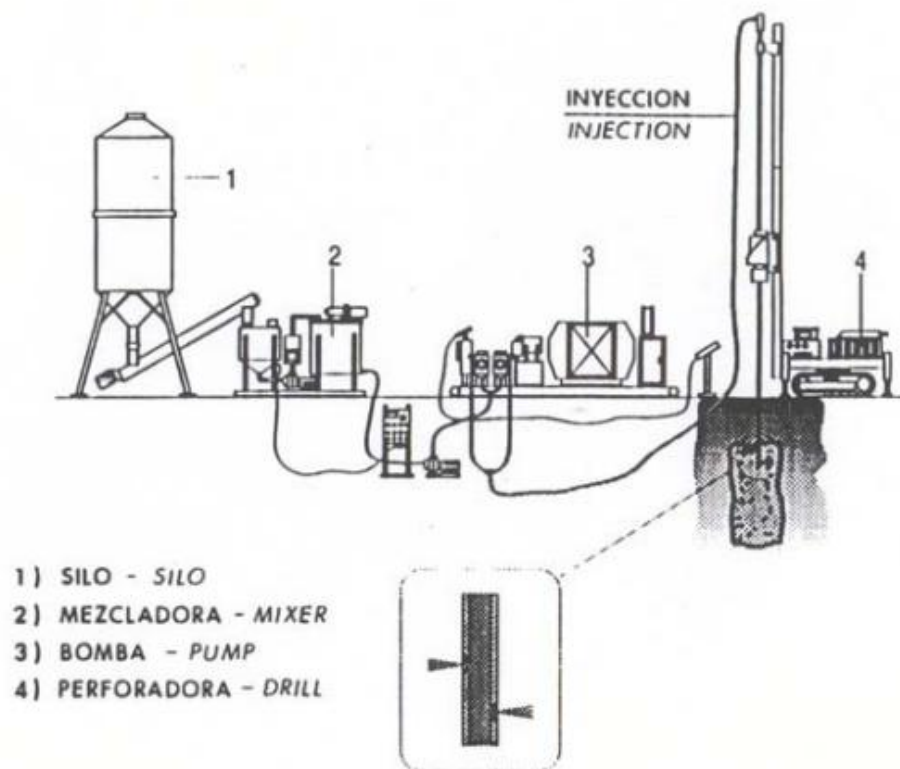
Como siguiente paso se procederá a la preparación de la mezcla o lechada según el diseño de mezcla preestablecido, separando cada componente de la lechada como agua, cemento y aditivos para luego ser introducida en la mezcladora a altas revoluciones para luego ser llevadas hasta el agitador de revoluciones menores por medio de válvulas y motores. El operador será el encargado de dar paso de la lechada hasta el pozo desde el agitador hacia la bomba de inyección (Rimachi, 2016).

Se realizará la instalación de dos instrumentos importantes para el proceso de inyección, esto durante el recorrido de la lechada de la bomba de inyección hacia el pozo; siendo el primer instrumento el supresor de turbulencia o presiones

(pulmón) cuyo objetivo es eliminar o bajar los golpes de fluido que son producidos por la bomba de inyección; el segundo instrumento es el registrador electrónico el cual tiene como función almacenar datos de la inyección tales como volumen, caudal, tiempo y presión (Rimachi, 2016).

Tal y como se muestra en la figura siguiente, el circuito estará unido mediante mangueras y tuberías de alta presión:

**Figura 15.** Circuito de Inyección.



Fuente: Tomado de Armijo Palacio, G. (2001). Pre-bóveda de jet grouting - micro- túnel en la 9na avenida, entre las calles 62 y 63 Brooklyn New York. Geocisa US.

## Ensayos de Permeabilidad

Estas pruebas se realizan mediante taladros de perforación o calicatas con la finalidad de determinar la permeabilidad o filtración de agua en el macizo rocoso. Para ello existen dos tipos de ensayos más utilizados para determinar la permeabilidad, los cuales son el Ensayo de tipo Lefranc y el Ensayo de tipo Lugeon que serán aplicados para el macizo rocoso ya este fracturado o no (Vargas, 2020).

## Ensayos de Permeabilidad Tipo Lugeon

Estos ensayos se hacen mediante un sondeo o perforación (ensayo IN SITU), en donde el agua se introduce a presión para obtener valores de K (coeficiente de permeabilidad) (Vargas, 2020).

También denominadas pruebas de conductividad hidráulica, usualmente son usados para las pruebas finales en una construcción con el fin de evaluar pérdidas o filtraciones de agua en una represa (Vargas, 2020).

La permeabilidad será medida en unidades de centímetros por segundo [cm/s], y se utilizará la unidad denominada lugeon para mostrar resultados finales, la cual es equivalente a un litro por metro por bar de presión ensayada a una presión de 10 bares (Vargas, 2020).

$$1.3 \times 10^{-5} \left[ \frac{C}{S} \right] = 1l$$

(Littejohn, 1992), sugiere lo siguiente:

- Para rocas débiles o suaves presiones de 2,4,6,4,2 bares
- Para rocas débiles o suaves presiones de 10,20,40,20,10 bares

El tiempo de inyección deberá estar entre un intervalo de 5 a 10 minutos; y en un tramo ensayado deberá efectuarse de 3 a 5m de profundidad (Vargas, 2020).

(Ewert, 2003), utilizando información de experiencias y realizando estudio comparativo observó ciertas correlaciones entre la posibilidad de inyección y el valor de Lugeon (Lu) en la roca:

- Valores entre menores a 1 – 5 Lu indican que la roca No necesita ser inyectada.
- Valores entre 5 a 10 Lu indican que la roca necesita tener un inyectado moderado.
- Valores mayores a 10 Lu indican que la roca necesita ser tratada o Inyectada.

### **Ensayos de Permeabilidad Tipo Lefranc**

Para realizar estas pruebas se realizan perforaciones en macizos rocosos, estos ensayos son empleados para determinar la permeabilidad del suelo siempre que el

estrato en prueba se encuentre por encima del nivel freático. Raramente se realizan pruebas cuando los macizos se encuentran fracturados y/o alterados (Vargas, 2020).

### **Lefranc de Carga Constante**

Este ensayo recibe este nombre porque el agua suministrada en el taladro o sondaje deberá ser constante, para poder realizar las lecturas utilizando un equipo llamado caudalímetro, este procedimiento se realizará en lapsos de 10 min de duración (Vargas, 2020).

Se realizan los cálculos de permeabilidad con el promedio de los datos obtenidos y la profundidad y diámetro de perforación (Vargas, 2020).

### **Procedimiento de Prueba**

Se abastece de agua a través de bomba al taladro de perforación con el fin de conservar constante el agua, el agua subirá a través del largo del taladro, esto regulará la bomba hasta obtener el caudal de salida igual al caudal de absorción del suelo donde se realiza la prueba, en ese momento se alcanzará un nivel constante y consecuente de agua (Vargas, 2020).

Se podrá mantener un nivel constante de agua a través de las válvulas de suministro al taladro y de descarga. Una vez obtenida la estabilidad del nivel de agua, procede a calcular el caudal de agua que ingresa por el bulbo de ensayo (caudalímetro), realizando las lecturas en un periodo de 10 minutos por cada minuto, siendo el caudal el promedio de las diez lecturas (Vargas, 2020).

### **Lefranc de Carga Variable**

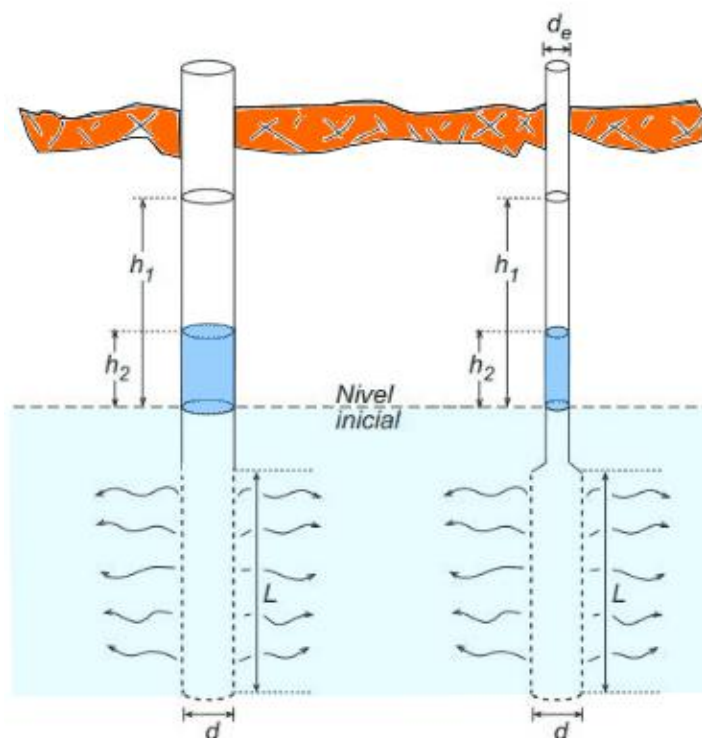
Se realizarán perforaciones mediante taladros a una profundidad establecida, según criterio del especialista y las propiedades geológicas de la roca; a continuación, se realizará el llenado con agua libre de impurezas de la perforación y se observará la velocidad de descenso del agua en el sondaje de la perforación, realizando las mediciones y lecturas de tiempo del descenso en un lapso de una hora. Para el caso en que la napa freática esté por encima del tramo en la prueba, se deberá saturar el sondaje de perforación adicionando una cantidad de agua

suficiente antes de realizar la prueba con la finalidad de evitar absorciones dentro de la perforación (Vargas, 2020).

El procedimiento para el ensayo Lefranc de carga variable se procede como sigue:

- Se satura las fisuras existentes llenando el taladro con agua, una vez estabilizada el agua se procede a tomar los datos en que el agua desciende en el transcurso de una hora de acuerdo al criterio del especialista. Por último, se calcula la permeabilidad existente en el ensayo (Vargas, 2020).

**Figura 16.** Ensayo tipo Lefranc (carga variable)



Fuente: Tomado de Maldonado, Y. (2018). Geología web. Obtenido de <https://geologiaweb.com/ingenieria-geologica/ensayo-lefranc/>

## Filtración en suelos

### Ley de Darcy

Darcy en 1856 comprobó con base a experimentos que en flujo del agua para suelos porosos había una linealidad entre el gradiente hidráulico y la velocidad, desarrollando una expresión descrita a continuación:

$$V = ki = k (H - H) / L$$

Donde:

V es la velocidad promedio de la filtración a través de medio poroso

k es la permeabilidad del suelo

i gradiente hidráulico

H1-H2 es el resultado de la resta entre las alturas piezométricas de dos puntos por el cual circula el flujo

L es la longitud recorrida por el flujo

La fórmula de Darcy implicó un estudio complejo y de gran importancia en esa época. Después de ese momento varios decidieron analizar su validez, lo cual determinó que la validez para todo tipo de flujo en suelos, con excepción para velocidades de flujo muy elevado (Tapia, Oñate y Larese, 2009).

### **Variable dependiente: Estabilidad de la presa de tierra**

#### **Presas**

Las presas son una estructura de diferentes materiales que se construyen en los cauces de los ríos y que son apoyados en laderas de su alrededor, cuyo fin es el almacenamiento de agua para poder ser utilizada con distintos fines, para abastecer a la población, riego de cultivos, generar energía y controlar avenidas (Del río, 2016)

#### **Presa de materiales sueltos**

Estas presas son las que se encuentran conformadas por rocas o tierra suelta. Empleadas con preferencia cuando el terreno donde se apoyará la presa no resiste las cargas de una presa de hormigón (Del río, 2016).

Estas presas son las que utilizan rocas y suelos de la zona donde se construirá, generalmente son más económicas que las presas de hormigón, pese a que estas son de un volumen mayor con respecto a la de otros materiales (Sandoval, 2018)

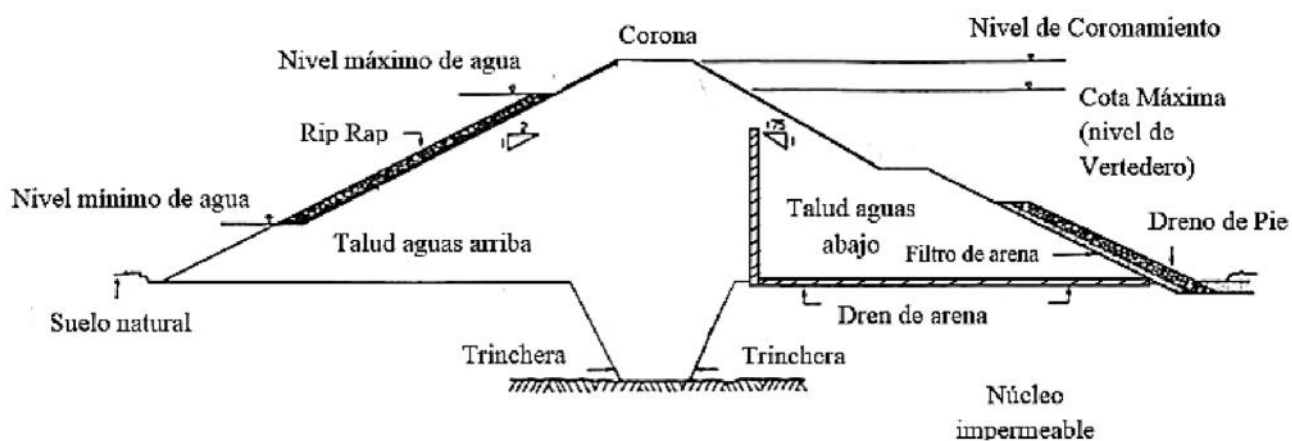
#### **Clasificación de presas de tierra**

Según Cordero (2017) estas presas tienen principalmente un volumen de cuerpo de suelos arcillosos principalmente suelos arcillosos, arenas arcillosas o limos.

También se encuentran en la clasificación de presas por gravedad por su resistencia al empuje de las aguas, por lo que el peso de su propio cuerpo cumple la función de soportar las fuerzas actuantes en la presa. De acuerdo a los materiales utilizados, las presas de tierra se pueden clasificar en:

**Sección homogénea:** Estas se componen por una sola clase de material (limo, arcilla, arena arcillosa, etc.) además de otros materiales que no aportan para que la presa sea estable, tales como la protección de la corona y el enrocado del talud aguas arriba (Cordero, 2017).

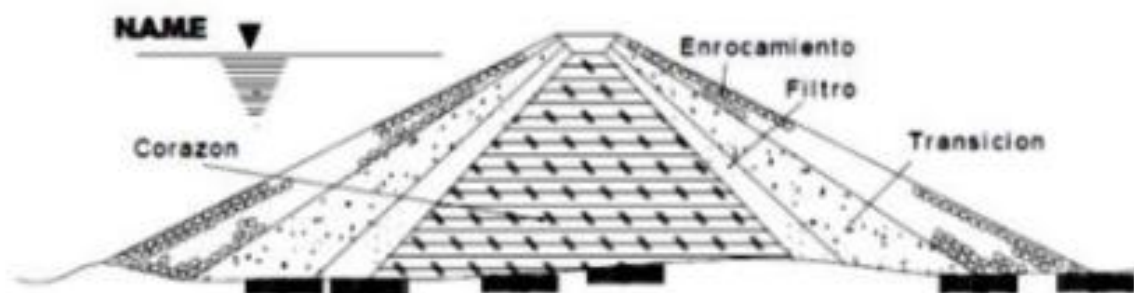
*Figura 17. Presa de tierra de sección homogénea.*



Fuente: tomado de *Estudio de estabilidad de taludes en presas de tierra en condiciones no saturadas cuando ocurre descenso rápido de nivel de agua*. Llanque Ayala (p.1804-1814), por Chagas Da Silva Filho, Ferreira Leme, & Mahler, 2019, *Geotechnical Engineering in the XXI Century*.

**Sección graduada:** Este tipo de presas tienen una sección conformada por diversos materiales con un orden y espesor definido. Según la ubicación del material impermeable podrá ser de núcleo o de pantalla (Cordero, 2017).

*Figura 18. Presa de tierra sección graduada.*



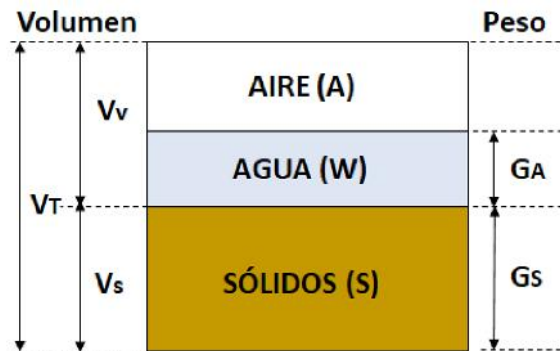
Fuente: tomado de *Presas de Enrocamiento* (p.12), por Batres Avalos, 2012. Universidad de el Salvador.

**Sección mixta:** Estas presas están conformadas por un material resistente y un segundo impermeable separadas entre sí por filtros en capas. Podrían ser de igual manera de núcleo y pantalla, enrocamiento, tierra y piedra (Cordero, 2017).

### Propiedades mecánicas del suelo

Los suelos están constituidos por agua, partículas sólidas y aire, siendo el aire y el agua los encargados de ocupar los espacios vacíos que poseen. De la relación que existe entre estos tres componentes se obtienen algunas propiedades físicas de los suelos (Sandoval, 2018).

Figura 19. Componentes de un suelo.



Fuente: tomado de *Diseño de obras Hidrotécnicas* (p.187), por Sandoval, 2018, EDIEPE.

Según Sandoval (2018) indica que en el diseño de presas de materiales sueltos se utilizarán las siguientes características mecánicas de suelos:

**Peso específico** de las partículas del suelo, en  $\text{kg/m}^3$  o  $\text{t/m}^3$ ,

$$s = G_s/V_s$$

Según Rozanov (citado en Sandoval, 2018) indica que, de manera general, se puede asumir como el valor promedio del peso específico de los suelos, los siguientes:

- Arena gruesa, material grueso, grava,  $s = 2.66 \text{ t/m}^3$
- Polvo de piedra, arena fina y media,  $s = 2.70 \text{ t/m}^3$
- Limo,  $s = 2.71 \text{ t/m}^3$
- Arcilla,  $s = 2.74 \text{ t/m}^3$



**Peso volumétrico** del suelo seco, es la relación entre el peso del suelo y el volumen total (suelo + vacíos) en kg/m<sup>3</sup> o t/m<sup>3</sup>,

$$\gamma_v = \frac{G_s}{V_T}$$

Su valor varía en función del coeficiente de porosidad del suelo (Sandoval, 2018).

**Peso específico saturado**, esto ocurre cuando el agua ocupa los espacios vacíos del suelo (Sandoval, 2018).

$$\gamma_s = \frac{\gamma_s * \gamma_s + \gamma_a * \gamma_a}{V_T}$$

**Porosidad** - es la relación que hay entre el volumen de vacíos con respecto al volumen total (Sandoval, 2018).

$$n = \frac{V_v}{V_T}$$

**Coefficiente de porosidad** (índice de poros) – es la relación que hay entre el volumen de vacíos con respecto al volumen de sólidos (Sandoval, 2018).

$$e = \frac{V_v}{V_s}$$

Sandoval (2018) indica que la relación que hay entre la porosidad y el coeficiente de porosidad se expresa a continuación:

$$e = \frac{n}{1-n} , \quad n = \frac{e}{1+e}$$

Según Rozanov (citado en Sandoval, 2018) indica que el coeficiente de porosidad para una densidad media varía entre los siguientes valores:

- Arena gruesa, material grueso, gravas, e = 0,55 a 0,7
- Arena fina y media, e = 0,6 a 0,75
- Limo y polvo de piedra, e = 0,6 a 0,8
- Arcilla, e = 0,5 a 1,0

Sandoval (2018) indica que el Índice de densidad (índice de compacidad, densidad relativa), se lo calcula con la siguiente relación:

$$I_D = \frac{e_m - e}{e_m - e_m}$$

Los valores altos del índice de densidad indican que el suelo es menos compresible y tiene una mayor resistencia; en contraposición, los valores bajos, denotan suelos flojos y mayor compresibilidad (Grupo Geotecnia, 2012, citado en Sandoval, 2018).

**Humedad**, es la relación que hay entre el peso del volumen de agua con respecto al peso del volumen de los sólidos en porcentaje (Sandoval, 2018).

$$w = \frac{G_a}{G_s} 100$$

Al realizar el diseño de presas en suelos, se considerará una humedad próxima a la óptima para el material, considerando al peso volumétrico con un contenido de humedad cercana a la óptima, denominado también peso volumétrico efectivo, expresado por la siguiente ecuación (Sandoval, 2018).

$$\gamma_v = \gamma_s * \frac{1 + w}{1 + e}$$

**Compactación**, es el conjunto de acciones mecánicas que conducen al aumento de la densidad del suelo, que produce un descenso de su capacidad de deformación y un incremento de su resistencia (Costet, 1975, citado en Sandoval, 2018).

Si se modifica la humedad de la muestra y se compara con la densidad resultante se obtendrá una curva que refleja el valor máximo, llamado densidad máxima del ensayo de Proctor (Sandoval, 2018).

### **Composición granulométrica**

De acuerdo con el porcentaje de partículas finas menores a 0,005 mm los suelos se clasifican en:

Arcillas, > 30%

Suelo Arcilloso (Franco, Marga), 10% a 30%

Limo, 3 a 10%

Arena, < 3%

En la curva granulométrica se observa que el porcentaje mayor de partículas será el que designe la nomenclatura genérica del suelo, de acuerdo al SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos) establece los siguientes tipos de suelos: finos (arcillas y limos), gruesos (arenas y gravas y altamente orgánicos (Sandoval, 2018).

**Coefficiente de uniformidad** del suelo, es la relación entre los diámetros correspondientes al 60 y 10% de la curva granulométrica (Sandoval, 2018).

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

Se requerirá la incorporación de diversas características para las fases avanzadas del diseño en ingeniería como: Coeficiente de consolidación, coeficiente de Poisson, módulo de deformación, coeficiente de elasticidad, coeficiente de presión de poros, ángulo de fricción interna, cohesión al deslizamiento y al desprendimiento, permeabilidad en diferentes direcciones, gradientes hidráulicas críticas del suelo, deformaciones por filtración y otras (Sandoval, 2018).

La presión es un fenómeno físico muy importante en el proceso de consolidación en suelos, el cual se presenta en los suelos finos, cuando es sometido a una carga determinada P, debido a que una parte de esta presión se transmite a las partículas que conforman el esqueleto del suelo  $P_E$  y la otra al agua que ocupa los poros  $P_a$  (Sandoval, 2018).

Con el transcurso del tiempo, parte de la carga transmitida al agua disminuye progresivamente, en tanto que la carga sobre el esqueleto incrementa hasta que  $P = P_E$ . La velocidad en que varían las cargas dependerá de la permeabilidad del suelo (Sandoval, 2018).

El coeficiente de presión de poros es el principal parámetro considerado para calcular la presión de poros, el cual expresa la relación entre la máxima presión absorbida por el agua con respecto a la presión total. Su cálculo será experimental y está relacionado con los límites de Atterberg y el peso específico del material (Rozanov, 1983, citado en Sandoval, 2018).

En suelos arcillosos es de gran importancia la determinación de los límites de Atterberg, ya que según el agua que contenga, estos suelos podrán ser considerados como una pasta líquida, plástica o seca. Tanto el límite plástico  $W_P$  como el límite líquido  $W_L$  se determinarán por el porcentaje de humedad; donde la diferencia entre el límite líquido y plástico será el índice de plasticidad (Sandoval, 2018).

$$I_p = W_p - W_L$$

### **Estabilidad de las presas de materiales sueltos**

La estabilidad en una presa depende de las características físico-mecánicas de los suelos que constituyen los diferentes elementos y, especialmente, de la inclinación de los taludes y de las condiciones de filtración a través del cuerpo y la cimentación (Sandoval, 2018).

El estudio de estabilidad de los taludes permite conocer el coeficiente de seguridad al deslizamiento, que no podrá ser menor a 1.05 (Sandoval, 2018).

Los métodos para analizar la estabilidad de taludes más difundidos son los que consideran planos de deslizamiento cilíndricos o cercanos a este, se mencionan los siguientes: Fellenius (1927), Bishop (1955), Morgenstern (1960), Janbu (1977), y otros. Todos ellos tratan de establecer la superficie de deslizamiento de mayor riesgo, en base a los momentos que se resisten al movimiento respecto a los que tratan de hacer girar el talud (Sandoval, 2018).

### **Fallas en las presas de materiales sueltos**

Las fallas en una presa pueden ser de tipo catastrófica, cuando provoca la pérdida de vidas humanas y pérdidas económicas al colapsar la estructura en su totalidad; o de tipo no catastrófica cuando se tiene un derrumbe parcial, el cual no provoca pérdida de vidas humanas (Del río, 2016).

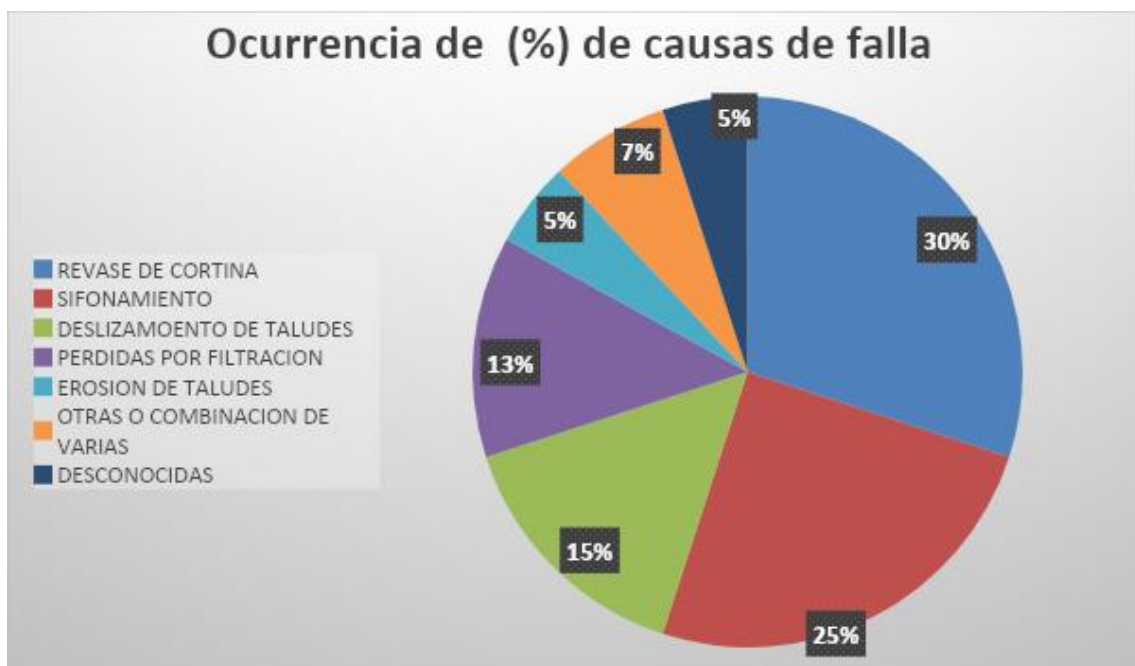
Del río (2016) indica que las principales fallas en materiales sueltos son:

- Rebase de la cortina.
- Deslizamiento de taludes.

- Agrietamiento.
- Sismos.
- Licuación.
- Pérdidas por filtración.
- Sifonamiento.

En el siguiente gráfico se muestra la ocurrencia de estas fallas en porcentaje, según informe del ICOLD, hasta 1995.

**Figura 20.** Porcentaje de ocurrencia de causas de fallas en las presas de tierra.



Fuente: Tomado de International Commission on Large Dams (ICOLD), 1995.

De acuerdo a la figura anterior, la falla por sifonamiento es la segunda con mayor ocurrencia en el mundo, así mismo es una de las fallas a priorizar en el diseño (Del río, 2016).

Se deberán tomar medidas para evitar la ocurrencia de fallas en presas a lo largo de su vida útil al momento de diseñar y construir. Al realizar el diseño se deberá tener en cuenta varios factores, entre los más determinantes será la elección del tipo de suelo para la construcción de la cortina y la manera de poner estos con respecto al peso específico seco, la humedad, tipo de compactación y energía a emplear al momento de construir, por tal motivo es de suma importancia tener

conocimiento sobre la aplicación de la teoría de compactación en suelos (Del río, 2016).

Del río (2016) señala en la siguiente tabla se detalla las características y causas de las fallas en presas de tierra.

**Tabla 1.** Fallas en presas de tierra, características y causas principales.

FALLA	CARACTERÍSTICAS	CAUSAS
Rebase de la cortina	El agua embalsada rebasa la cortina de la presa y presentándose escurrimiento por el talud aguas abajo	Se produce por la presencia de materiales erosionables en la presa o el vertedor (aliviadero). Inadecuado diseño del aliviadero. Falta de una atención oportuna a los asentamientos excesivos del cimiento y/o el terraplén.
Deslizamiento de taludes	Deslizamiento de los taludes de la presa, los cuales pueden producirse durante la construcción, operación o luego de un desembalse rápido	Estos se producen debido a los esfuerzos cortantes superiores a la resistencia que puede desplazar el suelo a lo largo superficie de falla determinada (más susceptible en suelos finos).
Agrietamiento	Se refiere a las fisuras y grietas que se forman en el cuerpo de la presa, las cuales son visibles. El agrietamiento puede producirse en sentido transversal y/o longitudinal.	Son esfuerzos de tracción los cuales se originan por la diferencia de asentamientos en el suelo, ya sea por el propio peso de la cimentación o del terraplén.
Sismos	Formación de grietas en la corona de la presa en sentido transversal y longitudinal, también se producen asentamientos en la presa.	Temblores de tierra (sismos), primordialmente por la componente horizontal de los mismos en dirección transversal al eje de la cortina.

Licuación	Deslizamiento de los materiales de la cortina en áreas extensas, alcanzando taludes irregulares y muy tendidos, excepcionalmente mayor 10:1.	Uso de materiales licuables al momento de la construcción de la presa como por ejemplo limos y arenas no plásticas.
Pérdida por filtración	Infiltración del agua del embalse por el cimiento o de la cortina.	Edificación de la presa de embalse en zonas kársticas, fallas o suelos dispersos. Diseño no adecuado de los elementos de control de infiltraciones del terraplén (drenes, colchones, etc.)
Sifonamiento	Pérdida de agua que al concentrarse erosiona el suelo progresivamente formando un conducto entre el embalse y el pie del talud aguas abajo.	Formación de grietas y fisuras no muy grandes en la cimentación de la presa (agrietamiento). Presencia de suelo dispersos en la cortina.

Fuente: Tomado de Sifonamiento en presas de tierra: causas y métodos de solución (p.4), por Del río, 2016, Instituto Superior politécnico José Antonio Echeverría.

## Sifonamiento

Se produce al haber una fuga de agua que al concentrarse va erosionando gradualmente hasta hacer un conducto el cual unirá el embalse con el pie del talud aguas abajo. Después de la falla por desbordamiento, el sifonamiento es una de las primordiales causas de fallo catastrófico (Del río, 2016).

Por lo antes mencionado, las fallas por sifonamiento generan una gran preocupación para los ingenieros de presas de tierras ya que es grande la complejidad que genera la reconstrucción de la presa. En la actualidad se exigen requerimientos constructivos para disminuir la posibilidad de fallo por sifonamiento (Del río, 2016).

### Generalidades del sifonamiento mecánico

El sifonamiento mecánico se produce por las filtraciones que se dan a través de la presa hacia el talud aguas abajo. Esta falla se genera por la disipación de la carga

hidráulica cuando el agua fluye por el terraplén o el cimiento, superando las fuerzas viscosas que presentan oposición al flujo en los poros o canalículos producidos entre las partículas del suelo. En este proceso, mutuamente, el agua que fluiría genera fuerzas que erosionan, las cuales tienden a arrastrar en dirección del flujo a las partículas. El sifonamiento comienza cuando las fuerzas que resisten la erosión son menores a las fuerzas que aquellas que tienden a ejercerlas, lavando las partículas del suelo. Las fuerzas que se oponen al sifonamiento dependerán de la cohesión, efecto de enclavamiento, acción del filtro aguas abajo y peso de las partículas del suelo (Del río, 2016).

A partir del procedimiento antes descrito, el sifonamiento comienza por las áreas más débiles del suelo donde se tiene una cohesión mínima y un gradiente alto. El sifonamiento iniciará en aguas abajo, generando un agujero, del cual fluiría agua y partículas de suelo. Aguas arriba el agujero se ampliará hasta llegar al embalse. Generalmente la base de una presa está conformada por suelos heterogéneos los cuales pueden presentar lentes de arenas finas que serán muy susceptibles al sifonamiento mecánico (Del río, 2016).

Del río (2016) indica que en resumen la falla por sifonamiento en una presa puede suceder por las razones siguientes:

- Cuando en el interior de la cimentación o terraplén, las galerías o los tubos se agrietan.
- Al realizar una precaria compactación en torno a los tubos o conductos que provocan una alta permeabilidad y un flujo concentrado.
- Deficiente compactación de las capas del relleno en el cuerpo o núcleo de presa.
- Por la presencia de capas semipermeables que son usadas como canal interno para transportar agua.
- Inadecuados filtros y drenes.
- Arcillas solubles o dispersas que sufren lavado al recorrer las pequeñas filtraciones de agua

Con el fin de reducir la posibilidad de sifonamiento, las condiciones constructivas en la actualidad son exigentes. Por ejemplo, se tiene mayor exigencia en cuanto a



la homogeneidad de la compactación de materiales y otras para evitar algún caso de sifonamiento por el terraplén (Del río, 2016).

Sin embargo, los casos más difíciles de prever y controlar son los de sifonamiento por la base (Del río, 2016).

### Asentamiento de las presas

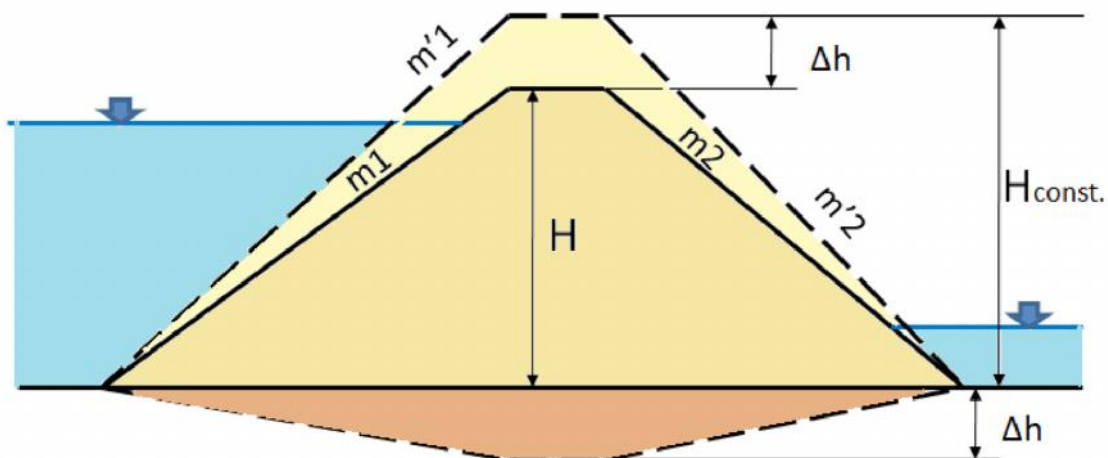
El asentamiento en presas de tierra se da tanto en el cuerpo como en la cimentación. El cálculo para ambos casos es igual. El asentamiento de una presa estará relacionado con su altura, ya que a mayor altura mayor será la carga por consiguiente el asentamiento será mayor, sin embargo, este no será igual en todos los puntos (Sandoval, 2018).

Se observará un asentamiento paulatino durante la construcción de la presa y después de terminada la obra, hasta lograr una estabilización después de un tiempo (Sandoval, 2018).

Sandoval (2018) indica que el cálculo del asentamiento corresponde a una evaluación preliminar de que puede ocurrir al final de la construcción como se observa en la siguiente figura:

$$\Delta h = 0.001 * H^3$$

**Figura 21.** Asentamiento en presas de tierra.

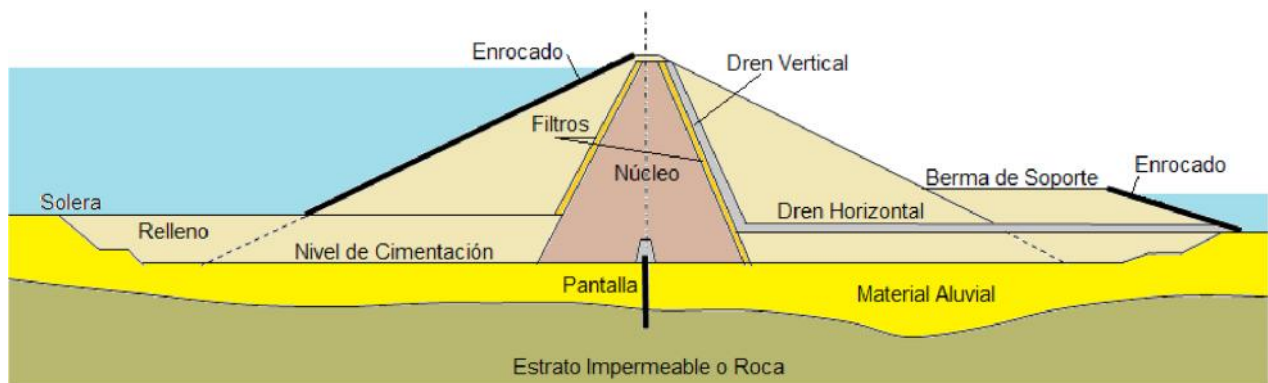


Fuente: tomado de *Diseño de obras Hidrotécnicas* (p.225), por Sandoval, 2018, EDIEPE.

## Diseño de componentes de las presas de tierra

Existen diversos perfiles típicos de presas de materiales sueltos, así como de tierra y enrocamiento. Para una presa cimentada sobre materiales aluviales generalmente se presenta una presa con un núcleo central rodeado de filtros y drenes. Para tal caso se considera una pantalla que podrá ser construida con diversos materiales impermeables, siendo este el elemento de corte de flujo subterráneo, en el estrato aluvial como se visualiza en la figura siguiente (Sandoval, 2018).

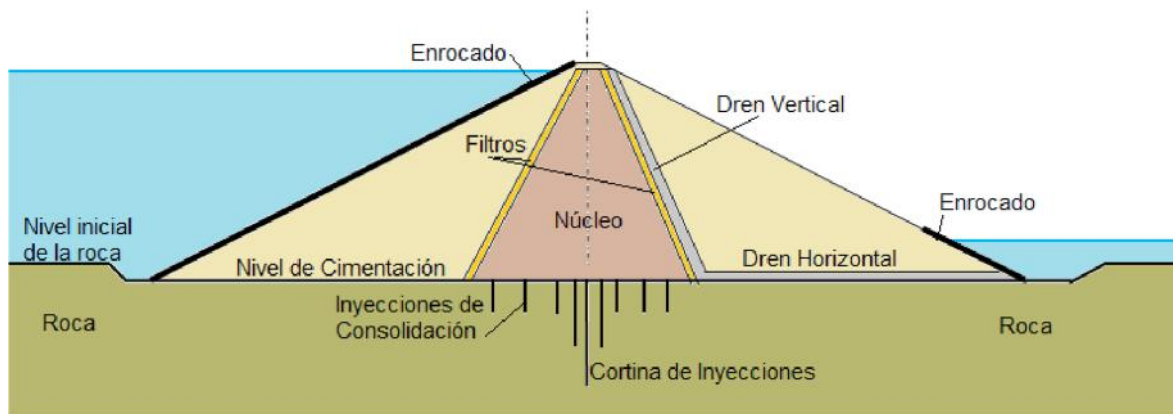
**Figura 22.** Perfil Típico de una presa cimentada sobre estrato aluvial.



Fuente: tomado de *Diseño de obras Hidrotécnicas* (p.194), por Sandoval, 2018, EDIEPE.

Otro caso que podría presentarse son las presas cimentadas sobre estratos rocosos. Para este caso se realizará diversas inyecciones de lechada de cemento con bentonita, para así formar una cortina corta de flujos, la cual asegurará la estanqueidad de la presa, como se visualiza en la figura siguiente (Sandoval, 2018).

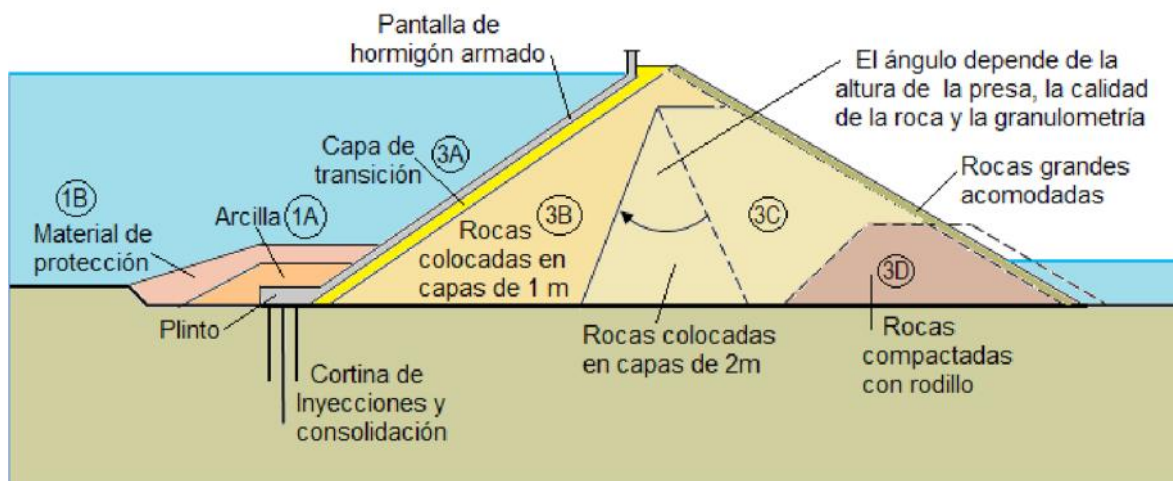
**Figura 23.** Perfil Típico de una presa cimentada sobre roca.



Fuente: tomado de *Diseño de obras Hidrotécnicas* (p.195), por Sandoval, 2018, EDIEPE.

Las presas de escollera poseerán un perfil esbelto, debido al ángulo de fricción interna de rocas de gran tamaño que forman el cuerpo, no obstante, existirán dentro de ellas zonas con distintos tratamientos y propiedades. En este tipo de presa se emplean sistemas de impermeabilización tales como pantallas fabricadas con diferentes materiales como el hormigón armado, asfalto, láminas metálicas, geomembranas, PVC, etc. (Sandoval, 2018).

**Figura 24.** Perfil típico de una presa de escollera.



Fuente: tomado de *Diseño de obras Hidrotécnicas* (p.195), por Sandoval, 2018, EDIEPE.

### Taludes de los espaldones

En presas de materiales sueltos se tiene que la inclinación del talud deberá ser estable tanto estática y dinámicamente y será definido posterior a la determinación

de la línea de saturación y cálculos de filtración de flujo, por tal motivo la primera estimación de la inclinación del talud  $m$ , será establecido basándose en la experiencia de obras anteriores y, a partir de que, para el caso de materiales gruesos:

$$m > \frac{1}{t_i}$$

Dónde:  $\varphi$  es el ángulo de fricción interna del material.

Se recomienda tomar como valores del ángulo de fricción interna  $\varphi$  los mostrados en la siguiente tabla donde se observa también valores correspondientes a pesos específicos y coeficientes de filtración (Sandoval, 2018).

**Tabla 2.** Características de los suelos gruesos.

SUELO	DENSIDAD SECA (t/m <sup>3</sup> )	$\varphi$ ANGULO DE FRICCIÓN INTERNA	COEF. FILTRACIÓN (m/día)
Arena Fina (polvo)	1.35 a 1.50	22 a 24	0.5 a 5
Arena Fina y Media	1.45 a 1.60	24 a 30	2 a 25
Arena Gruesa	1.55 a 1.65	30 a 32	5 a 35
Arena con Gravilla	1.60 a 1.75	32 a 34	10 a 50
Grava con contenido de arena < 50%	1.70 a 1.90	34 a 36	>30

Fuente: tomado de *Diseño de obras Hidrotécnicas* (p.196), por Sandoval, 2018, EDIEPE.

En caso de presas pequeñas generalmente no tienen bermas y sus taludes serán constantes. Para presas grandes se talud podrá variar a distintas alturas, los cuales serán más extendidos en áreas húmedas de la presa con respecto a las áreas secas (ubicadas sobre la línea de saturación) (Sandoval, 2018).

Rasskazov (citado en Sandoval, 2018) recomienda fijar los taludes dependiendo del tipo de presa de acuerdo a la siguiente tabla.

**Tabla 3.** Taludes de las presas de materiales sueltos

TIPO DE PRESA	TALUD A. ARRIBA	TALUD A. ABAJO
<b>DE TIERRA</b>		
Depende del tipo de suelo	2 a 4.5	2 a 4.5
<b>TIERRA Y ENROCAMIENTO</b>		
Con núcleo central, espaldones de roca	1.3 a 1.8	1.3 a 1.7
Con núcleo inclinado, espaldones de roca	1.5 a 2.0	1.2 a 2.6
Con pantalla, espaldones de roca	2 a 3.5	1.2 a 1.6
<b>ENROCAMIENTO</b>		
Con pantalla	0.7 a 1.6	1.2 a 1.5
Con diafragma	1.3 a 1.7	1.3 a 1.7

Fuente: tomado de *Diseño de obras Hidrotécnicas* (p.197), por Sandoval, 2018, EDIEPE.

Algunos autores han recomendado que la inclinación de los taludes estará en función de la altura de la presa, para lo cual recomiendan tomar los valores de acuerdo a la siguiente tabla (Nedrigi, 1983, citado en Sandoval, 2018).

**Tabla 4.** Taludes para presas de tierra.

ALTURA DE LA PRESA	TALUD A. ARRIBA	TALUD A. ABAJO
$H < 5$	2.0 - 2.5	1.5 - 1.75
$5 < H < 10$	2.25 - 2.75	1.75 - 2.25
$10 < H < 15$	2.5 - 3.0	2.0 - 2.25
$15 < H < 50$	3.0 - 4.0	2.5 - 4.0
$H > 50$	4.0 - 5.0	4.0 - 4.5

Fuente: tomado de *Diseño de obras Hidrotécnicas* (p.197), por Sandoval, 2018, EDIEPE.

En caso de presas de escollera, se recomienda usar los taludes con respecto a la altura como se visualiza en la tabla siguiente (Sandoval, 2018).

**Tabla 5.** Taludes para presas de escollera.

ALTURA DE LA PRESA	TALUD A. ARRIBA	TALUD A. ABAJO
$H < 15$	0.5	0.5
$15 < H < 30$	0.75	0.75
$30 < H < 45$	1.0	1.0
$H > 45$	1.3	1.3

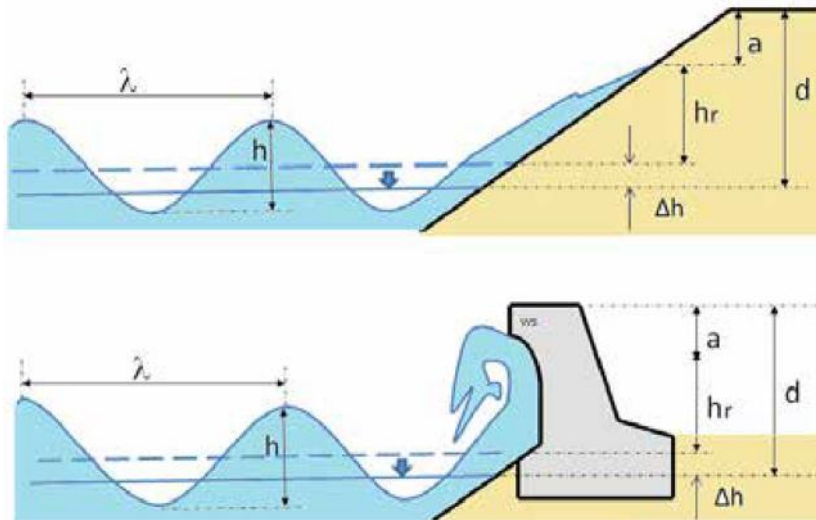
Fuente: tomado de *Diseño de obras Hidrotécnicas* (p.197), por Sandoval, 2018, EDIEPE.

Según Liapichev (citado por Sandoval, 2018), recomienda aumentar los valores de los taludes del siguiente modo: de 0,3 a 0,5 para aguas arriba y en 0,2 a 0,4 para aguas abajo.

## Altura de la presa (Resguardo)

La altura de una presa se calcula teniendo en cuenta un resguardo con respecto a los máximos niveles estáticos del embalse, de acuerdo a la siguiente figura y ecuación:

**Figura 25.** Acción de las olas en una presa de materiales sueltos.



Fuente: tomado de *Diseño de obras Hidrotécnicas* (p.198), por Sandoval, 2018, EDIEPE.

$$d = h + h_r + a$$

Donde:

$h$  – sobreelevación de arrastre de la ola

$h_r$  – altura de rodamiento de la ola,

$a = 0.5$  m, es la altura adicional de seguridad, un solo valor para todas las categorías de presas de materiales sueltos, (Nedrigi, 1983, citado en Sandoval, 2018).

Algunos autores recomiendan incluir el asentamiento para el cálculo de borde libre o resguardo, esté causado por la consolidación y el sismo que podrían afectar el cuerpo de la presa. La ecuación descrita líneas arriba no considera dicho asentamiento, esto debido a que los asentamientos no son iguales en toda la longitud de la corona y que en la zona central se da su mayor magnitud, donde se tiene la altura mayor (Sandoval, 2018).

La sobreelevación de arrastre de la ola se calcula utilizando la siguiente ecuación,

$$\Delta h = 2 * 10^{-6} \frac{DW^2}{g} c_1 c_2 \propto$$

Donde:

– es el ángulo entre el eje normal al eje de la presa y la dirección del viento.

D - el fetch, (km)

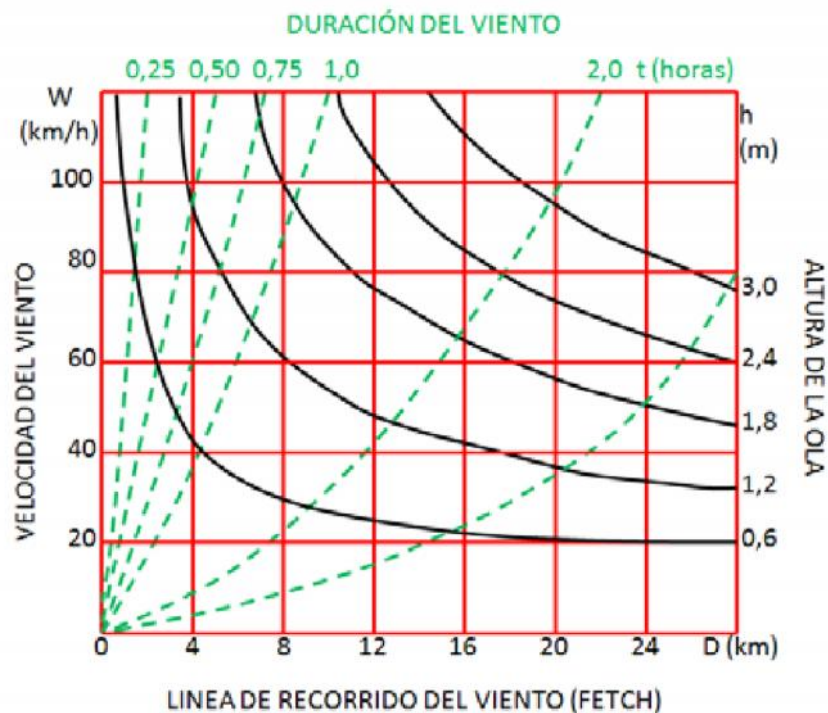
W – la velocidad del viento (m/s), a 10 m de altura

H - la profundidad.

Para calcular la altura de rodamiento  $h_r$  es necesario saber la altura de la ola y adicionalmente tener en cuenta que para presas de materiales sueltos se tiene que tener en consideración que las condiciones físicas de las olas serán a aguas poco profundas o superficiales (Sandoval, 2018).

Según diversos autores indican que, para el cálculo de la ola, dependerá del Fetch, la velocidad y duración del viento. Y para esto se hará uso de un ábaco elaborado por el Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos (Sandoval, 2018).

**Figura 26.** Ábaco para determinar la altura de la ola.



Fuente: tomado de *Diseño de obras Hidrotécnicas* (p.195), USACE citado por Sandoval, 2018, EDIEPE.

Sandoval (2018) indica que la altura de la ola también se puede calcular con la siguiente ecuación:

$$h = 0.00917W \sqrt[3]{W}$$

El período de la ola (s):

$$t = 7.5 \frac{h^{\frac{3}{5}}}{W^{\frac{1}{5}}}$$

La longitud de la ola (m):

$$\lambda = \frac{gt^2}{2\pi}$$

Según un análisis comparativo de las ecuaciones para determinar la altura de la ola, se observó que estas ecuaciones dan valores muy cercanos en algunos rangos, pero también nos dan valores muy diferentes en otros rangos (Sandoval, 2018).

Para calcular la altura de rodamiento existen diversas fórmulas, de las cuales es más recomendable el uso de la ecuación sugerida por Buldeya (1977, citada en Sandoval, 2018).

$$h_r = 2 \frac{k_r}{m} h_{i\%} \sqrt[3]{\frac{\lambda}{h}}$$

Dónde:  $k_r$  -es el coeficiente de rodamiento, el cual dependerá del material del talud, que se lo toma 0,9 en losas de hormigón y taludes con grava. En el caso de bloques irregulares de enrocado o hormigón, se lo escoge de acuerdo con la relación entre la altura media de la ola y el diámetro equivalente ( $D_e$ ) de los bloques de hormigón o de las rocas, según la siguiente ecuación,

$$k_r = 0.115 + 0.151 * l \frac{h}{D_e}$$



Sandoval (2018) indica que, al desconocerse el diámetro del enrocado, para una primera aproximación se puede usar la siguiente ecuación:

$$D_e = 0.46 \frac{h}{m^{0.1}}$$

Según la CFE (citado en Sandoval, 2018), se considera que el borde libre para zonas sísmicas será igual a, el asentamiento de la cortina y de la cimentación ante cargas sísmicas  $h_a$ , más la ola sísmica  $h_s$ , más una reserva de seguridad  $a$ , para lo cual se tiene:

$$d_s = h_a + h_s + a$$

$h_s$  – ola sísmica

Así también se considera que:

$d_s \geq 1$  m para presas de menos de 50 m de altura,

$d_s \geq 2$  m para presas de entre 50 y 100 m de altura; y,

$d_s \geq 2,5$  para presas de más de 100 m de altura.

### **Protección del talud de aguas arriba**

Para realizar la protección del talud aguas arriba del espaldón se utilizan los siguientes métodos más frecuentes: utilizando una capa de escollera o enrocado denominado Rip-Rap; o con una geomembrana; o con una pantalla de hormigón armado; entre otros (Sandoval, 2018).

Según Sandoval (2018) indica que para el uso del método de protección Rip-Rap, las rocas deberán ser lo necesariamente estables ante las olas; por este motivo es necesario determinar su peso con la siguiente ecuación:

$$G_p = \frac{0.025 \lambda h^2 \gamma_p}{\left(\frac{\gamma_p}{\gamma} - 1\right)^3 \sqrt{1 + m^3}}$$

Ya teniendo los datos del peso de los bloques de piedra y el peso específico  $\gamma_p$  del material en cantera a disposición, se obtendrá el diámetro equivalente  $D_e$  (Sandoval, 2018).

$$D_e = \sqrt[3]{\frac{G_p}{0.52\gamma_p}}$$

El espesor de la capa de protección de piedra se lo toma igual a 2.5 a 3 veces  $D_e$ .

Grishin (citado en Sandoval, 2018) recomienda que para determinar el espesor de las pantallas ( $t_h$ ) como elemento de impermeabilización y protección del talud aguas arriba en presas de escollera, usar la siguiente ecuación:

$$t_h = kh \sqrt{\frac{\lambda}{m}}$$

Dónde:  $k = 0.096$ , para juntas cerradas de las losas y  $k = 0.077$  para juntas abiertas,  $L$  – es la longitud vertical entre las juntas de las losas.

En la práctica la determinación del espesor de la pantalla ( $m$ ) se realiza mediante la ecuación presentada por Gandarillas (2010) y otros autores (Sandoval, 2018).

$$t_h = 0,3 + kH$$

Dónde:  $k = 0.002$  a  $0.003$  y  $H$  – es la altura de la presa desde donde arranca la pantalla hasta la corona.

En las presas de escollera sus losas no son de un solo cuerpo, por tal motivo es necesario diseñar juntas para garantizar la estanqueidad (Sandoval, 2018).

En la actualidad es comúnmente empleado el uso de geo membranas de impermeabilización, que son utilizadas como núcleos o pantallas con geotextiles, generalmente en presas pequeñas, pero hay la tendencia de ser usadas también en presas grandes. Existen estudios donde se verifica un buen comportamiento en

condiciones con climas no tan favorables, sin embargo, se recomienda la protección directa de los rayos solares sobre las geomembranas (Sandoval, 2018).

El espesor de la geomembrana dependerá de diversos factores, entre ellos su resistencia a esfuerzos tensionales y a las diferentes temperaturas que se presenten en la presa (Sandoval, 2018).

Según Krichevskiy (citado en Sandoval, 2018) indica que el espesor mínimo, en m, para un a geomembrana se calculará con la siguiente ecuación:

$$t_g = 0.075\gamma d_p H \sqrt{\frac{E}{\sigma_f^3}}$$

Dónde:  $d_p$  - es el diámetro de los poros del suelo sobre el cual se coloca la geomembrana, para lo cual se recomienda el uso de la siguiente ecuación,

$$d_p = 0,455(1 + 0,05C_u)^{\frac{6}{n}} \sqrt{C_u} \frac{n}{1-n} d_1$$

H – carga de agua sobre la geomembrana.

E – módulo de elasticidad de la geomembrana, que está sujeto a la temperatura de trabajo (a mayor temperatura menor módulo).

$\sigma_f$  – Esfuerzo a nivel de fluencia de la geomembrana.

### **Corona de las presas de materiales sueltos**

La corona en una presa de materiales sueltos, se diseñará de manera similar a una vía, pero al utilizarse parapetos, su forma podrá variar de manera significativa (Sandoval, 2018).

Sandoval (2018) indica que existen varias recomendaciones para determinar el ancho B de la corona, siendo la más conocida la siguiente:

$$B=3+H/5$$

**Tabla 6.** Ancho de la corona según la altura.

ALTURA	ANCHO DE LA CORONA
<20	4
20 a 40	2+0,1 H
>40	10

Fuente: tomado de *Diseño de obras Hidrotécnicas* (p.206), por Sandoval, 2018, EDIEPE.

Según Nedrigi (citado en Sandoval, 2018) indica que, para el diseño de una corona destinada al tránsito vehicular, se evaluará el ancho según la categoría de la vía. B = 15, 12, 10, 8 m para las categorías de II a V, respectivamente, en tanto que, para las autopistas de categoría I, puede ser del ancho que sea necesario.

Se recomienda incrementar el ancho en un 25% y 50% en zonas de sismicidad media y alta respectivamente (SPANCOLD, 2017, citado en Sandoval, 2018).

### **Bermas**

Las bermas incrementan la estabilidad del talud en presas de materiales sueltos, asegurando una determinada profundidad para la ubicación de la línea de saturación del flujo filtrante y acortando el recorrido del agua de la lluvia que escurre sobre los espaldones (Sandoval, 2018).

El valor mínimo que se tomará para el ancho de una berma será de 2 m, en caso no exista paso de vehículos por la misma; de lo contrario se deberá tomar el ancho según las necesidades de transporte (Sandoval, 2018).

El diseño de bermas considerara taludes de forma escalonada aguas debajo a cada 15 o 20 metros de altura, los cuales contemplarán un diseño con cunetas, para evitar que el agua de lluvia erosione los taludes, protegiendo con una capa vegetal a los taludes y a las bermas. Las bermas presentan una inclinación ligera hacia la parte interna esto facilita la recolección de agua (Sandoval, 2018).

Las presas de tierra cuentan como mínimo con una berma en el talud aguas arriba, localizada por debajo del nivel mínimo, con la finalidad de servir como apoyo para la capa de enrocado de protección. En el caso de presas de escollera que poseen pantalla de hormigón no se elaboran bermas en el talud aguas arriba (Sandoval, 2018).

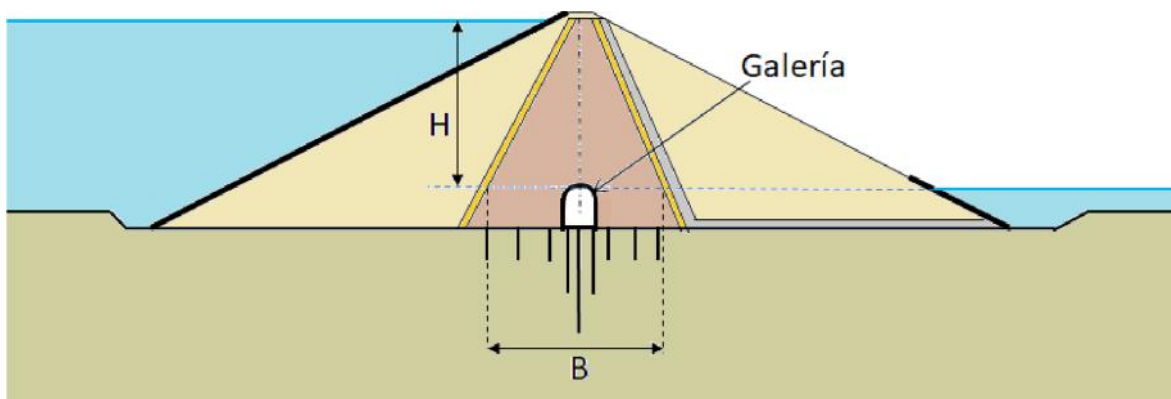
## Núcleo o corazón de impermeabilización

En presas de materiales graduados se utilizan núcleos como elementos de impermeabilización; los cuales pueden ser centrales, poco inclinados o bastante inclinados hacia aguas arriba (Sandoval, 2018).

El núcleo y la cimentación tienen contacto a través de un diente (rastrillo) o en caso que la cimentación no sea impermeable estarán conectados mediante un delantal o tapiz (Sandoval, 2018).

Según el tipo material de la presa se determinará el espesor del núcleo en función a un gradiente permitido. Para presas con núcleo en el centro  $B = (0.3 \text{ a } 0.5) H$ , en ciertos casos lograra superar el valor de  $H$ . En núcleos inclinados ligeramente  $B = (0.2 \text{ a } 0.4) H$ ; los núcleos con una inclinación prominente pueden ser muy delgados  $B = (0.1 \text{ a } 0.3) H$ , según se observa en la siguiente figura (Garbovsky, 1978, citado en Sandoval, 2018)

**Figura 27.** Dimensiones del núcleo.



Fuente: tomado de *Diseño de obras Hidrotécnicas* (p.209), por Sandoval, 2018, EDIEPE.

Las cortinas de inyecciones o con pantallas cortas de flujos fabricados con diferentes materiales conectan los núcleos entre sí (Sandoval, 2018).

En los núcleos la cresta debe ser mayor a la cota del NAME (Nivel de Aguas Máximas Extraordinaria) en al menos 0.50 m, sin embargo, dependerá de las condiciones de variación del nivel del embalse (Sandoval, 2018).

## Análisis de la cimentación

### capacidad portante en suelo

Para la determinación de la Capacidad de carga en suelo ( $q_u$ ) debajo de la cimentación de las estructuras, se calcula en base a las características del suelo, las cuales serán determinadas, teniendo en cuenta la profundidad de desplante a la cual serán colocadas la cimentación (Braja, 2016).

Para la determinación de la capacidad de carga del suelo, debajo de la cimentación, se calcula en base a las características del suelo, los cuales fueron determinados mediante trabajos de campo y laboratorio. Las variaciones de los factores de capacidad de carga están en función del ángulo de fricción interna del suelo ( $\phi$ ) (Braja, 2016).

Según Braja (2016) indica que la capacidad portante en cimentaciones se puede determinar aplicando la siguiente expresión general de Karl Terzaghi:

$$q_u = 1.2 * c * N_c + q N_q + 0.40 \gamma B N_\gamma \dots \dots \dots EC - 01$$

$$q_u = c * N_c + q N_q + 0.50 \gamma B N_\gamma \dots \dots \dots EC - 02$$

Dónde:

- $q_u$  : Capacidad de carga.
- $c$  : Cohesión.
- $N_c, N_q, N_\gamma$  : Factores de capacidad de carga
- $\gamma$  : Densidad natural.
- $D_f$  : Profundidad de desplante
- $B$  : Ancho de la cimentación.

La capacidad admisible de carga es calculada en la ecuación N° 03:

$$q_{adm} = q_u / FS \dots \dots \dots E - 03$$

Dónde:

- $q_{adm}$  : Capacidad admisible de carga.
- $F. S.$  : Factor de seguridad acápite 3.3 a) Norma E050

**Ensayo SPT (Standard Penetration Test)**

Es uno de los ensayos más empleados para la geotécnica por su economía, sencillez y rapidez. Trata de realizar una hincas en el terreno con el uso de una puntaza de metal a través de golpes cada 15 cm, los cuales son contabilizados con

el fin de tener un numero de golpes requeridos para incrustar un tomamuestras tubular de con puntaza ciega o acero hueco, a traves de una masa 64 kg a una altura de 75 cm (Braja, 2016).

Mediante el ensayo de penetración obtendremos un valor N, el cual es calculado a través de la suma de la cantidad de golpes de los tramos intermedios de 15 cm desestimando tanto el primer como el último tramo debido a probables alteraciones del suelo. Se realiza cada 3 metros de profundidad, o a 1.5 metros cuando las zonas son complejas, puede realizarse en diferentes tipos de suelos y roca meteorizada, para este último caso con una puntaza ciega (Braja, 2016).

Cuando la resistencia del terreno es muy elevado se da por culminado el SPT alcanzando más de 50 golpes, denominándolo *rechazo (R)*. En el caso que la resistencia del terreno sea baja o nula, la varilla desciende por su propio peso 60 cm y se da por terminado el ensayo, siendo  $N=0$  por no necesitar ningún golpe (Braja, 2016).

### **III. METODOLOGÍA**

#### **3.1. Tipo y diseño de investigación**

##### **Tipo de investigación**

La presente investigación es de tipo aplicada ya que tiene como propósito dar solución a un determinado problema, buscando y consolidando el conocimiento para su aplicación, para posteriormente incrementar el conocimiento cultural y científico (Hernández, 2014).

La investigación es de tipo aplicada porque necesita conocer para hacer, construir, modificar y actuar; le interesa una aplicación inmediata con respecto a una realidad concreta y así poder comprender la realidad económica, cultural, política y social de su entorno, para proponer alternativas de soluciones factibles, reales, necesarias y concretas para los problemas encontrados (Valderrama, 2015).

##### **Diseño de investigación**

El diseño de investigación es experimental, ya que se manipula una variable independiente con el fin de ver su relación y efecto con respecto a la variable dependiente (Valderrama, 2015).

### 3.2. Variables y operacionalización:

La presente investigación posee dos variables, la primera es la independiente “Diseño con Jet-Grouting” la cual será manipulada con el fin de obtener resultados de la variable dependiente “Estabilidad de la presa de tierra”, de tal manera evaluar el efecto del uso del Jet-Grouting.

**Variable independiente:** Diseño con Jet-Grouting

- **Definición conceptual:** El Jet-Grouting es un tipo de inyección que se utiliza en aplicaciones geotécnicas con la finalidad de mejorar las condiciones geomecánicas de todo tipo de suelo o roca, esto a través de inyección de lechada de cemento (Vargas, 2020).
- **Definición operacional:** El diseño con Jet-Grouting dependerá de las siguientes dimensiones como el levantamiento topográfico, clasificación de suelos y diseño de presa; cuyos indicadores son coordenadas y cotas del área de estudio, calicatas y modelamiento de presa respectivamente, para ello se hace uso de hojas de recolección de datos, ensayos de laboratorio y software GeoStudio.
- **Indicadores:** coordenadas y cotas del área de estudio, calicatas y modelamiento de presa.
- **Escala de medición:** nominal.

**Variable dependiente:** Estabilidad de la presa de tierra.

- **Definición conceptual:** La estabilidad de una presa depende de las características físico-mecánicas de los suelos que constituyen los diferentes elementos y, especialmente, de la inclinación de los taludes y de las condiciones de filtración a través del cuerpo y la cimentación (Sandoval, 2018).



- **Definición operacional:** La estabilidad de la presa de tierra dependerá de las propiedades mecánicas del suelo de fundación, fallas en presas de tierra y asentamientos en la cimentación; cuyos indicadores son capacidad de carga, permeabilidad, pérdida por filtración, sifonamiento y dimensiones de la presa, para ello se hará uso de ensayos de laboratorio, hojas de cálculo y software GeoStudio.
- **Indicadores:** Capacidad de carga, permeabilidad, pérdidas por filtración, sifonamiento, altura de la presa, ancho de cimentación, volumen de embalse y ancho de corona.
- **Escala de medición:** Nominal y ordinal.

### **3.3. Población, muestra y muestreo**

#### **Población**

La población está conformada por el tramo correspondiente del eje de la presa (entre los ejes A y B), teniendo el eje A la coordenada 8305172.608 N, 329783.466 E y el eje B 8305164.497 N, 329587.497 E; el cual se encuentra entre las progresivas 0+000 al 0+0175 en el distrito de Palca.

#### **Muestra**

La muestra que se tomó en el presente proyecto de investigación está conformada por cinco puntos que se encuentran ubicados dentro del eje de la cimentación, los cuales se encuentran en las siguientes coordenadas: PPRS-01 8'332,588 N, 336,275 E; PPRS-02 8'332,592 N, 336,310 E; PPRS-03 8'332,588 N, 336,335 E; PPRS-04 8'332,589 N, 336,381 E y PPRS-05 8'332,598 N, 336,440 E.

#### **Muestreo**

El tipo de muestreo que se empleó en la presente investigación es no probabilístico por conveniencia, ya que se estudiara la estabilidad en el diseño de una presa en específico.

### **3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

#### **Técnicas de recolección de datos**

Las técnicas de recolección de datos son metodologías que permitirán la recolección de información pertinente con el fin de destinarlos al proyecto de investigación (Hernández, 2010).

Para realizar el presente proyecto de investigación se visitó el lugar de estudio para tomar datos topográficos, muestras de suelo y muestras de roca; por lo cual la técnica de recolección de datos se obtendrá se obtendrán mediante observación directa, ensayos de campo, ensayos de laboratorio y procesamiento en software.

#### **Instrumentos de recolección de datos**

Para el presente proyecto de investigación se hizo uso de los siguientes instrumentos: hojas de recolección de datos, hojas de cálculo, ensayos in situ, ensayos de laboratorio para luego utilizar los datos obtenidos para ser procesados en el software GeoStudio.

### **3.5. Procedimientos**

El procedimiento que se utilizó para realizar la presente investigación, se detalla a continuación:

- Se realizó una visita técnica al área de estudio para realizar una identificación de la zona y su geomorfología.
- Se realizó el levantamiento topográfico del área de estudio.
- Se realizó la toma de muestra de suelo mediante calicatas en diferentes puntos del área de estudio.
- Se realizó la toma de muestra de roca con perforaciones con diamantina.
- Se realizaron ensayos geotécnicos complementarios para determinar la permeabilidad del suelo y estratos, siendo estos los ensayos de permeabilidad tipo Lugeon y tipo Lefranc.
- Las muestras obtenidas fueron llevadas a laboratorio, en donde se realizaron los siguientes ensayos: ensayo de granulometría, límites de consistencia y ensayo de corte directo.

- Con los datos obtenidos en campo y laboratorio, se realizó los diseños de presas de tierra con y sin Jet-Grouting, utilizando el Software GeoStudio.
- Se realizó la comparación de resultados del diseño de presa de tierra sin y con la aplicación de Jet-Grouting, evaluando las mejoras con respecto a la estabilidad, asentamientos y filtraciones.

### **3.6. Método de análisis de datos:**

Los datos obtenidos en campo, gabinete y laboratorio fueron organizados y utilizados para diseñar una presa de tierra con o sin Jet-Grouting mediante software GeoStudio, obteniendo resultados respecto a la mejora en la estabilidad de la presa con tratamiento.

### **3.7. Aspectos éticos**

El presente proyecto de investigación está orientado en base a valores y principios éticos que respaldan la veracidad de la información y los resultados obtenidos dentro de la investigación. Tomando como referencia la normativa APA e ISO 690 para respaldar la autenticidad de la investigación y los derechos de autor.

## **IV. RESULTADOS**

### **Estudio topográfico**

#### **Ubicación Política**

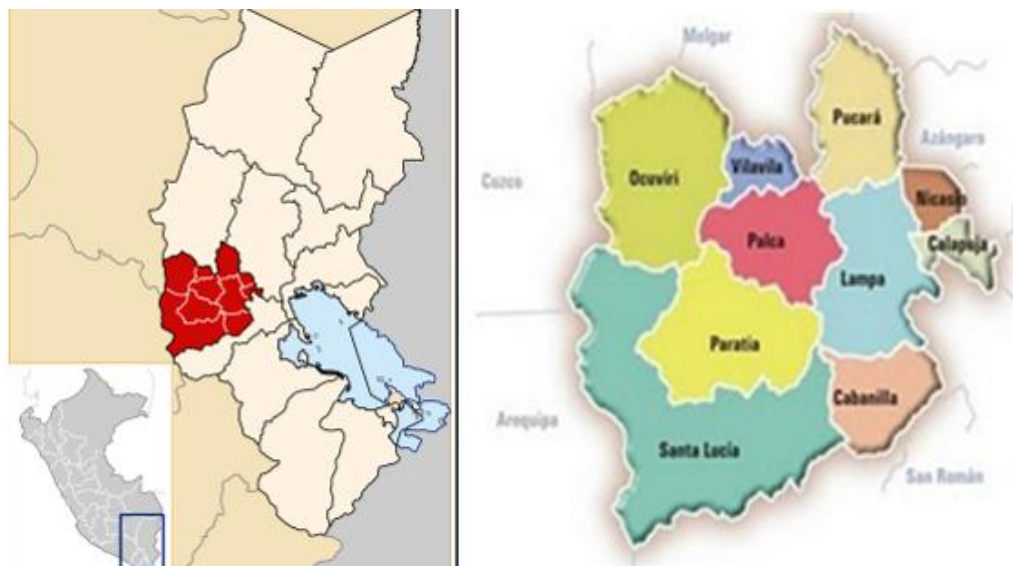
El área de estudio se encuentra ubicado políticamente en:

Región	: Puno.
Departamento	: Puno. .
Provincia	: Lampa.
Distrito	: Palca.
Región natural	: Sierra (altiplano de Puno)

El Presente proyecto de investigación se encuentra localizado en el paraje denominado palca, perteneciente al Distrito de Palca, está ubicado a 4280

m.s.n.m. Se encuentra en la región de la sierra a los  $-70^{\circ}.35' 07.97''$  de latitud sur,  $-15^{\circ}. 19' 27.780''$  de longitud Oeste del meridiano de Greenwich.

**Figura 28.** Mapa de ubicación política del distrito de lampa, Palca.



Fuente: Tomado de Provincia de Lampa, 2021, Wikipedia.  
[https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Provincia\\_de\\_Lampa&oldid=134431022](https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Provincia_de_Lampa&oldid=134431022).

### Ubicación Geográfica

Coordenadas:

- Coordenada Norte : 8'305,172.608
- Coordenada Este : 329,783.466
- Altitud : 4,290.000 m.s.n.m.

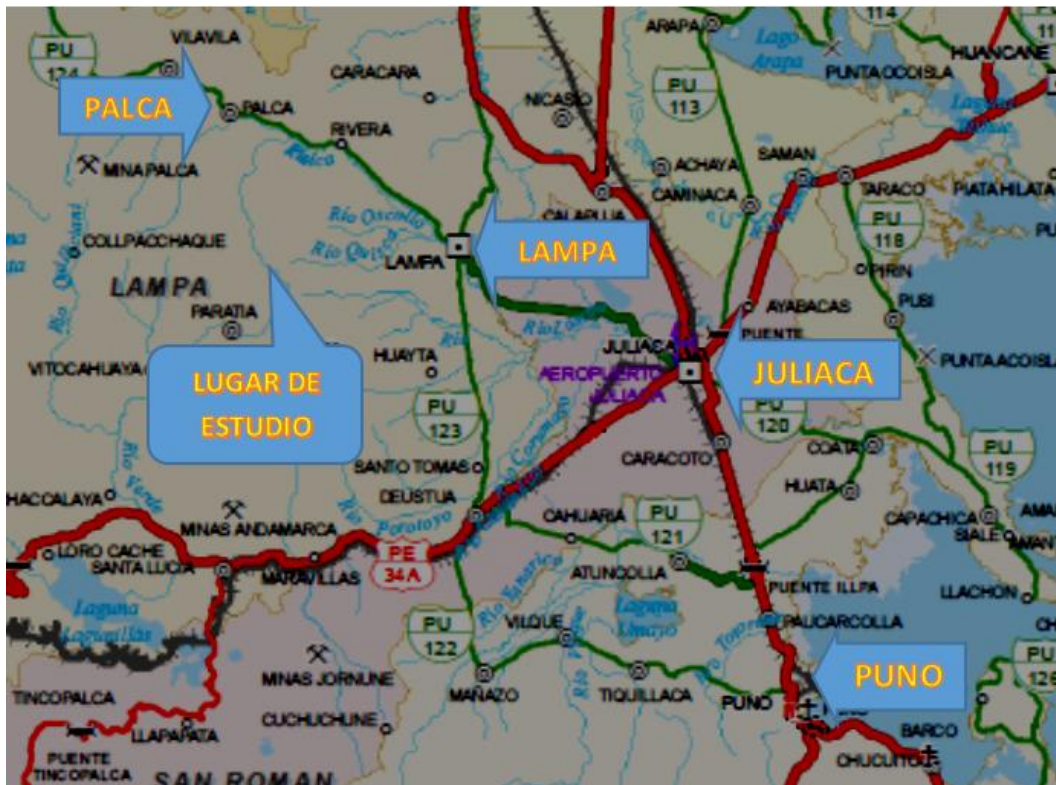
### Accesibilidad

**Tabla 7.** Accesibilidad a la zona del proyecto.

De	A	RUTA	DIST (KM)	TIEMPO (min)	TIPO DE VÍA	FRECUENCIA	SERVICIO TRANSPORTE
Puno	Juliaca	003S	45.00	45	Asfaltada	Horaria	Bus, camión, combi
Juliaca	Lampa	003S	33.00	30	Asfaltada	Horaria	Bus, camión, combi.
Lampa	Palca		35.00	45	Afirmado	Horario	Bus, camión, camioneta.
Palca	Presa		15	30	Trocha carroable	No hay	Camioneta
<b>TOTAL</b>			<b>128.00</b>	<b>150</b>			

Fuente: Elaboración Propia

**Figura 29.** Accesibilidad a la zona de estudio.



Nota: El presente grafico muestra la ruta de acceso desde Puno hacia el lugar de estudio.

### **Reconocimiento de campo**

Fue fundamental y necesario realizar un recorrido en la zona del proyecto para iniciar los trabajos de levantamiento topográfico al área de embalse de la presa, así como la delimitación del área de estudio y eje de presa.

### **Definición del eje de la presa**

Una vez definido el eje de la presa, realizamos la documentación en rocas estables utilizando marcas con pintura para definir el margen derecho denominado EJE-A, y otro en margen izquierdo como EJE-B, que servirá como línea de base de la presa.

Se realizó la nivelación obteniendo las elevaciones, con aproximación al centímetro y comprobación de ida y vuelta, de todos los quiebres del terreno natural, datos que nos permitirán elaborar los planos para el perfil de la presa.

**Figura 30.** Ubicación del eje de la presa.



Fuente: Elaboración propia.

### Definición de puntos de control geodésico

**Tabla 8.** Puntos de control geodésico.

PUNTOS DE CONTROL GEODÉSICO	
SISTEMA DE COORDENADAS:	UTM
DATUM:	WGS-84
ZONA:	19 SUR
MODELO GEOIDAL:	EGM 96
UNIDADES:	METROS

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 9.** Coordenadas del eje de presa.

COORDENADAS DE EJE DE PRESA				
Nº	NORTE	ESTE	COTA	CODIFICACIÓN
2	8305164.497	329587.497	4294.660	EJE-B
3	8305172.608	329783.466	4290.710	EJE-A

Fuente: Elaboración propia.

### Levantamiento topográfico

Se inició los trabajos de campo definiendo los dos puntos geodésicos dentro del área de estudio, tomando estos datos se inicia levantamiento topográfico en la presa proyectada.

Inicialmente se realizó un reconocimiento del terreno, para tener un conocimiento más real del alcance del levantamiento en sí, para luego proceder a ubicar los puntos de triangulación topografía.

En los trabajos topográficos desarrollados en campo también se realizó ubicación y toma de datos de cada uno de los puntos de control terrestre con GPS diferencial para posteriormente colocar sobre estas, documentando vértices dentro de área de embalse de la presa proyectada.

Se realizó el relleno topográfico por el método de radiación, en donde se procedió a realizar los trabajos de levantamiento planimétrico de la poligonación con el uso de una estación total. Proporcionando un sistema de coordenadas X-Y convenientemente distribuido en la zona de estudio para apoyar la ubicación precisa de los contornos de cada vértice, así como los detalles planimétricos que se consideren de interés como pueden ser, árboles, postes, brechas, parcelas entre otros.

Los trabajos de gabinete se realizaron combinando de forma tradicional cálculo de libretas,” Se ha utilizado programas de cómputo entorno AutoCAD civil 3D en el caso de perfiles longitudinales, procediéndose de la manera siguiente:

- Ingreso de datos de la poligonal calculada, en la estación total.
- Bajada de datos tomados de campo de estación total a la computadora.
- Ordenamiento de datos en hoja de cálculo en la computadora.
- Cálculo y compensación de libretas topográficas
- Ploteo de puntos topográficos tomados de campo.
- Trazo en gabinete de las poligonales de apoyo.

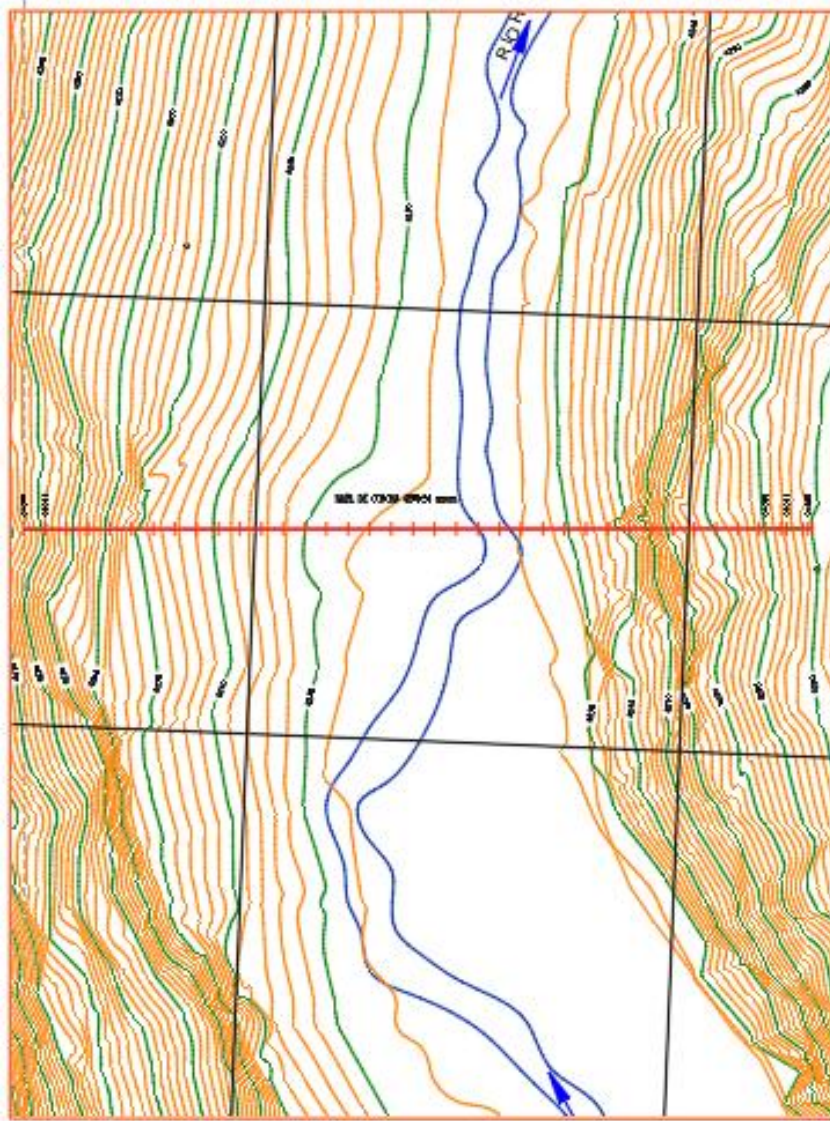
En caso de levantamiento topográfico con puntos de relleno se procedió con la elaboración de planos respectivos en el entorno AutoCAD Civil 3D con criterios de crear “triangulaciones” y elaborar curvas de nivel, etc.

Los trabajos en gabinete en general han sido elaborados por el siguiente software:

- Microsoft Excel

- AutoCAD Civil 3D
- Auto Cad

*Figura 31. Plano topográfico.*



Fuente: elaboración propia

### **Estudio geotécnico**

Para realizar un estudio geotécnico se efectuaron levantamientos de geología local, específicamente en la zona de estudio.

El criterio adoptado para el estudio de suelos para la cimentación de la presa se realizó teniendo en cuenta las condiciones de resistencia al corte de los suelos y rocas existentes en el área de estudio y sus características físicas y



mecánicas, así como la incidencia de las cargas que soportaran el terreno de fundación.

Los objetivos específicos del estudio son: Reconocimiento del terreno, distribución y ejecución de calicatas, toma de muestras inalteradas y disturbadas, ejecución de ensayos de laboratorio, evaluación de los trabajos de campo y laboratorio, perfiles estratigráficos, análisis de la capacidad portante admisible en roca y suelo, determinar de asentamientos en suelo, caracterización de rocas.

La metodología definida comprende básicamente una investigación de campo a lo largo de la zona en estudio, mediante pozos exploratorios o calicatas, con la obtención de muestras representativas en cantidades suficientes, las que fueron objeto de ensayos en laboratorio y finalmente con los datos obtenidos en ambas fases se realizaron las labores de gabinete, para consignar luego en forma gráfica y escrita los resultados del estudio.

Se realizó un muestreo en el lugar de estudio de la presa, para esto se procedió mediante la excavación de calicatas a cielo abierto, efectuándose 06 calicatas para el eje y embalse de la presa, la profundidad alcanzada llega hasta 1.50 y 2.00 mts para obtener una información confiable y representativa de los suelos.

Las muestras se depositaron en bolsas de polietileno con su respectiva tarjeta de identificación, para luego ser remitidas al laboratorio de suelos.

Se efectuaron pruebas y ensayos de Mecánica de Suelos In-Situ y en Laboratorio, como:

- |   |          |        |
|---|----------|--------|
| - Granulometría vía húmeda                | A.S.T.M. | D- 422 |
| - Límite líquido                          | A.S.T.M. | D- 423 |
| - Límite Plástico e Índice de Plasticidad | A.S.T.M. | D- 424 |
| - Densidad natural                        | A.S.T.M. | D-1556 |
| - Humedad natural                         | A.S.T.M. | D-2216 |
| - Perforaciones con diamantina            |          |        |

- Ensayo de permeabilidad Lugeon
- Ensayo de permeabilidad Lefranc

### **Consideraciones para la selección del tipo de presa**

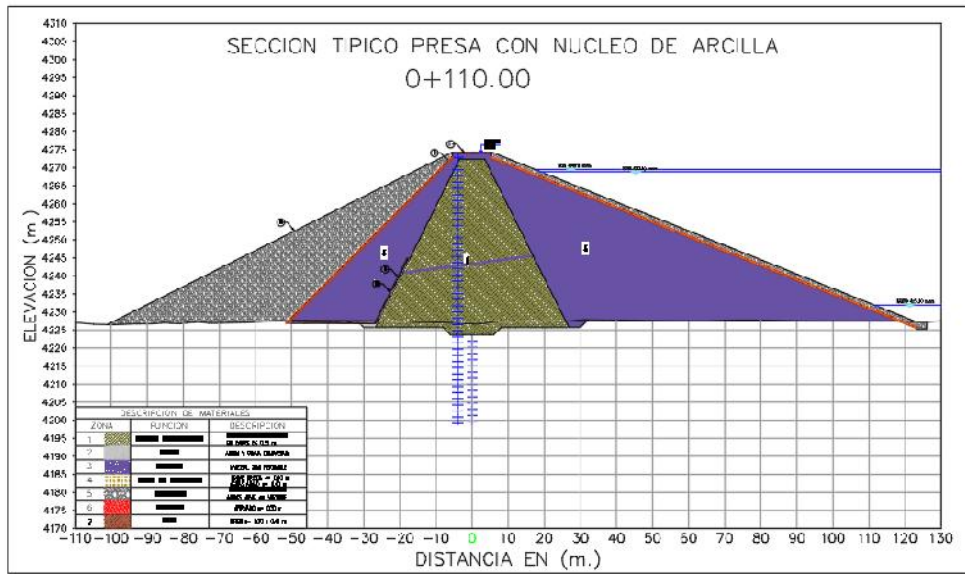
Para una adecuada selección del tipo de presa a diseñar se han tomado en cuenta los aspectos geológicos de la zona de cierre, las características de los suelos y rocas de fundación, los materiales disponibles en las inmediaciones de la zona.

Para decidir sobre qué tipo de presa de tierra es la más conveniente se han tomado en cuenta las siguientes consideraciones:

- En las inmediaciones de la zona se encuentra canteras de arcilla, limos y arcillas – limosas; los primeros materiales citados son de mediana plasticidad, presentan una cierta homogeneidad, y sus propiedades físico-mecánicas indican que son de baja impermeabilidad. La impermeabilidad del cuerpo de la presa puede asegurarse con la utilización de estos materiales. Como estos materiales no existen en cantidades abundantes, pero si suficientes, su uso no puede ser masivo, por lo que se ha visto por conveniente en utilizarlos como un núcleo impermeable.
- Para fines estabilizadoras del cuerpo de presa, pueden utilizarse materiales granulares de roca y arcilla. Aguas debajo de la sección de cierre se observa varias exposiciones de fácil explotación.
- Para una adecuada zonificación de los materiales principales, arcillas y fragmentos de roca, se ha previsto la utilización de materiales granulares, que sirvan como transición y filtros.

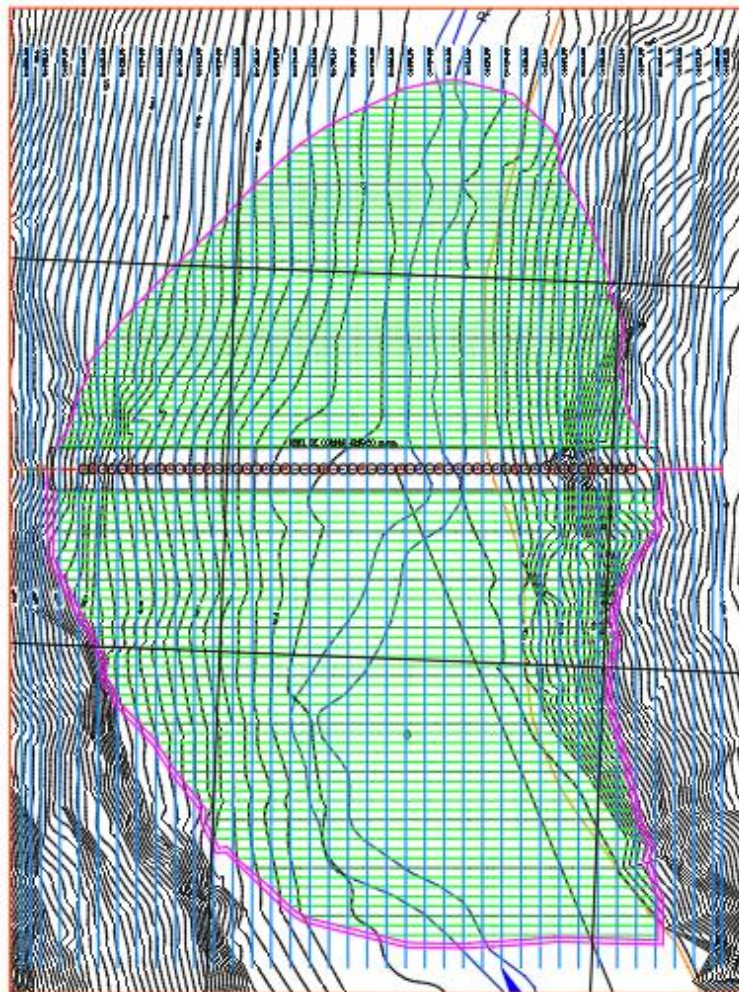
Por las consideraciones antes expuestas se ha optado para el diseño de la presa del presente proyecto, una sección típica de presa zonificada con la configuración más o menos simétrica, conformada por un núcleo de material impermeable, con dimensiones máximas recomendadas, confinada y compactada. Entre los espaldones y en el núcleo se colocará un filtro para controlar el arrastre de finos ocasionado por las filtraciones a través del cuerpo de la presa.

**Figura 32.** Sección transversal de la presa.



Fuente: elaboración propia

**Figura 33.** Vista en planta de la presa.



Fuente: elaboración propia

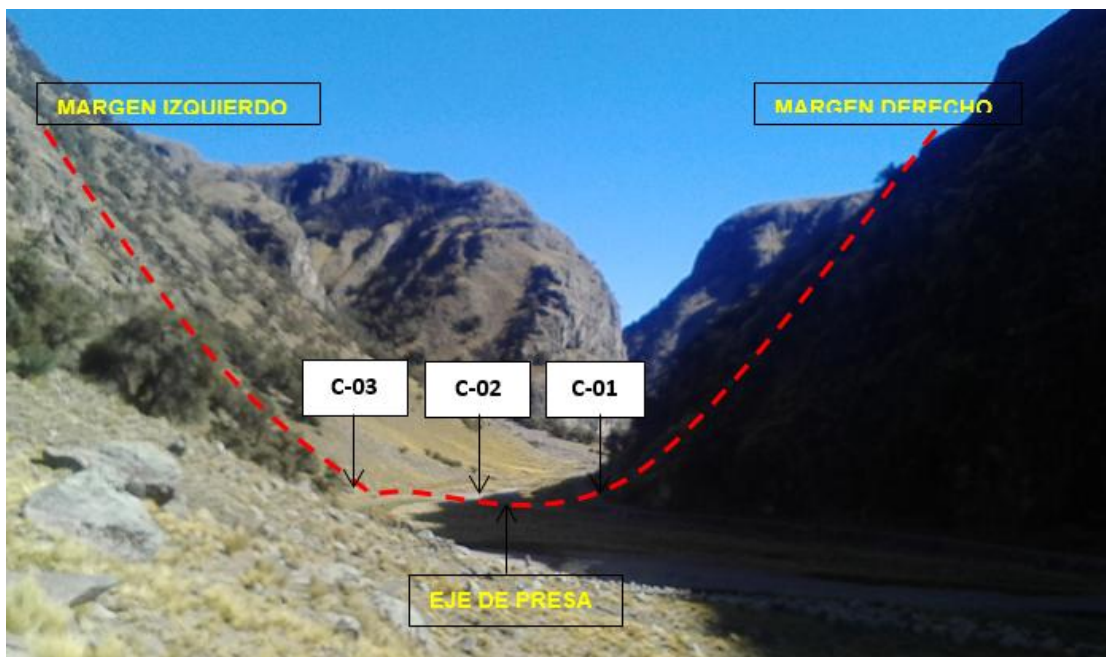
### Condiciones geotécnicas de la cimentación de la presa

Con la finalidad de definir el perfil estratigráfico del área de estudio, se realizaron exploraciones del suelo mediante calicatas a cielo abierto, ensayos de campo y el muestreo del suelo en zona de terreno de fundación del eje de Presa.

En base a las características de los materiales existentes, para la exploración, se procedió a emplear el método de ensayo a cielo abierto ASTM D-1588, con el objeto de investigar las características del sub-suelo para esto se llevaron a cabo calicatas de 1.50 m a 2.00 m de profundidad, a una distancia cada 10 y 20 m. aproximadamente.

Se excavaron 03 Calicatas a cielo abierto, las cuales fueron convenientemente coordinadas y ubicadas, en el Eje de la Presa.

*Figura 34. Calicatas en el eje de la presa.*



Fuente: elaboración propia

De cada uno de los horizontes representativos de suelos se extrajeron muestras alteradas que debidamente identificadas, que se remitieron al laboratorio para los ensayos correspondientes para la identificación y clasificación de suelos.

#### **CALICATA (C-01):**

**0.20 - 1.30 m.** Estrato conformado por material de (GM) denominado como grava limosa de color marrón claro a gris de densidad natural suelta a semi compacto según a la profundidad con presencia de 63.60 % de grava, 19.74 % de arena, 16.67 % de material fino que pasa el tamiz n° 200, no tiene plasticidad, con presencia de bloques de roca en forma muy aislada, se encuentra saturado de agua desde la profundidad de 0.90 m.

**1.30 – 4.00 m.** Andesitas basálticas de tipo masivo de clase II, III y IV de color gris oscuro a verdusco.

*Figura 35. C-01 Eje de presa.*



Fuente: Elaboración propia

**Tabla 10.** Perfil estratigráfico C-01 del eje la presa.

ESCALA GRAFICA	PROFUNDIDAD m.	LONGITUD DE TRAMO m.	N.F. m.	MUESTRA OBTENIDA	SIMBOLOGÍA	CLASIFICACIÓN EN SUCS AASHTO	DESCRIPCIÓN
	0.00	0.20 m		E - 1		ML	CAPA SUPERFICIAL CONFORMADA POR MEZCLA DE LIMOS Y RAÍCES DE PLANTAS TÍPICAS DE LUGAR
	0.10						
	0.20						
	0.30	1.10 m		E - 2		GM	ESTRATO CONFORMADO POR GRAVA LIMOSA DE COLOR MARRÓN CLARO A GRIS DE DENSIDAD NATURAL SUELTA A SEMI COMPACTO SEGÚN A LA PROFUNDIDAD CON PRESENCIA DE 63.60% DE MATERIAL DE GRAVA, 19.74% DE ARENA, 16.67% DE MATERIAL FINO QUE PASA EL TAMIZ N°200, NO TIENE PLASTICIDAD, CON PRESENCIA DE BLOQUES DE ROCA EN FORMA MUY AISLADA, SE ENCUENTRA SATURADO DE AGUA DESDE LA PROFUNDIDAD DE 0.90 M
	0.40						
	0.50						
	0.60						
	0.70						
	0.80						
	0.90						
1.00	0.70 m	E-3		ROCA VOLCÁNICA	ANDESITAS BASÁLTICAS DE TIPO MASIVO DE CLASE II, III Y IV DE COLOR GRIS OSCURO A VERDUSCO		
1.10							
1.20							
1.30							
1.40							
1.50							
1.60							
1.70							
1.80							
1.90							
2.00							
2.10							
2.20							
2.30							
2.40							
2.50							

Fuente: Elaboración propia

**CALICATA (C-02):**

**0.20 - 1.20 m.** Estrato conformado por **(GM)** de nombre grava limosa con presencia de boloneras aisladamente de tamaño 3" - 10" en 15 % de color gris amarillento de compacidad media a suelto no tiene plasticidad y está constituido por el 52.18 % de grava, 35.06 % de arena, 12.76 % de material fino que pasa la malla N° 200, hay presencia de nivel freático a una profundidad de 0.60 m.

**1.20 – 4.00 m.** Andesitas basálticas de tipo masivo de clase ii, iii y iv de color gris oscuro a verdusco.

**Figura 36.** C-02 Eje de presa.



Fuente: Elaboración propia

**Tabla 11.** Perfil estratigráfico C-2 del eje de la presa.

ESCALA GRAFICA	PROFUNDIDAD m.	LONGITUD DE TRAMO m.	N.F. m.	MUESTRA OBTENIDA	SIMBOLOGÍA	CLASIFICACIÓN EN SUCS AASHTO	DESCRIPCIÓN
[Checkered scale]	0.00	0.20 m	N.F. ESTAA 0.60 m.	E - 1	[Green pattern]	ML	CAPA SUPERFICIAL CONFORMADO POR MEZCLA DE LIMOS Y RAÍCES DE PLANTAS TÍPICAS DEL LUGAR.
	0.10						
[Checkered scale]	0.20	1.00 m	N.F. ESTAA 0.60 m.	E - 2	[Yellow pattern]	A-1-a (0) GM	ESTRATO CONFORMADO POR GRAVA LIMOSA CON PRESENCIA DE BOLONERIAS AISLADAMENTE DE TAMAÑO 3"-10" EN 15% DE COLOR GRIS AMARILLENTO DE COMPACIDAD MEDIA A SUELTO NO TIENE PLASTICIDAD Y ESTA CONSTITUIDO POR EL 52.18% DE GRAVA, 35.06% DE ARENAS, 12.76% DE MATERIAL FINO QUE PASA LA MALLA 200, HAY PRESENCIA DE NIVEL FREÁTICO A UNA PROFUNDIDAD DE 0.60M.
[Checkered scale]	0.30						
[Checkered scale]	0.40						
[Checkered scale]	0.50						
[Checkered scale]	0.60						
[Checkered scale]	0.70						
[Checkered scale]	0.80						
[Checkered scale]	0.90						
[Checkered scale]	1.00						
[Checkered scale]	1.10						
[Checkered scale]	1.20						
[Checkered scale]	1.30						
[Checkered scale]	1.40						
[Checkered scale]	1.50						
[Checkered scale]	1.60						
[Checkered scale]	1.70						
[Checkered scale]	1.80						
[Checkered scale]	1.90						
[Checkered scale]	2.00						
[Checkered scale]	2.10						
[Checkered scale]	2.20						
[Checkered scale]	2.30						
[Checkered scale]	2.40						
[Checkered scale]	2.50						

Fuente: Elaboración propia

**CALICATA (C-03):**

**0.20 - 1.40 m.** Estrato conformado por (GM) de nombre grava limosa mal graduada con presencia de boloneras y bloques de roca aisladamente de tamaño 3" - 10" en 15 % de color gris amarillento a pardusco de compacidad media a suelto no tiene plasticidad con presencia del 52.31 % de grava, 37.80 % de arenas, 9.89 % de material fino que pasa la malla N° 200, hay presencia de nivel freático a una profundidad de 1.00 m.

**1.40 – 4.00 m.** Andesitas basálticas de tipo masivo de clase ii, iii y iv de color gris oscuro a verdusco.

*Figura 37. C-03 Eje de presa.*

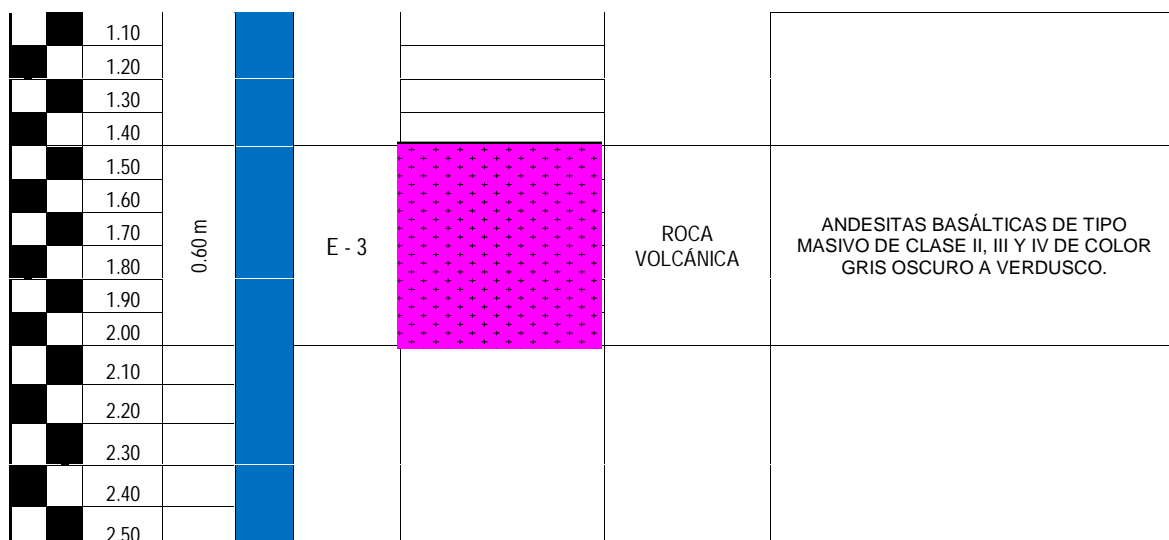


Fuente: Elaboración propia

**Tabla 12.** Perfil estratigráfico C-03 del eje de la presa.

ESCALA GRAFICA	PROFUNDIDAD m.	LONGITUD DE TRAMO m.	N.F. m.	MUESTRA OBTENIDA	SIMBOLOGÍA	CLASIFICACIÓN EN SUCS AASHTO	DESCRIPCIÓN
	0.00	0.20 m	N.F. ESTA A 1.00 m.	E - 1		ML	CAPA SUPERFICIAL CONFORMADO POR MEZCLA DE LIMOS Y RAÍCES DE PLANTAS TÍPICAS DEL LUGAR.
	0.10						
	0.20						
	0.30	1.20 m		E - 2		A-1-a (0) GP-GM	ESTRATO CONFORMADO POR GRAVA LIMOSA CON PRESENCIA DE BOLONERIAS Y BLOQUES DE ROCA AISLADAMENTE DE TAMAÑO 3"-10" EN 15% DE COLOR GRIS AMARILLENTO DE COMPACIDAD MEDIA A SUELTO NO TIENE PLASTICIDAD Y ESTA CONSTITUIDO POR EL 52.31% DE GRAVA, 37.80% DE ARENAS, 9.89% DE MATERIAL FINO QUE PASA LA MALLA 200, HAY PRESENCIA DE NIVEL FREÁTICO A UNA PROFUNDIDAD DE 1.00M.
	0.40						
	0.50						
	0.60						
	0.70						
	0.80						
	0.90						
1.00							





Fuente: elaboración propia

### Clasificación de suelos y roca en el eje de la presa

Las muestras ensayadas en el laboratorio se han clasificado de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S.) y las muestras restantes que no figuran en el cuadro fueron clasificados por pruebas sencillas de campo, observación y comparación con las muestras representativas ensayadas.

**Tabla 13.** Clasificación de suelos.

CALICATA	ENTRE ESTRIBOS DEL EJE DE PRESA					
	C-01		C-02		C-03	
PROFUNDIDAD m	0.20-1.30	1.30-2.0	0.20-1.20	1.20-2.0	0.20-1.40	
MUESTRA	M-1	ANDESITAS BASÁLTICAS DE TIPO MASIVO DE CLASES II, III Y IV DE COLOR GRIS OSCURO A VERDUSCO	M-1	ANDESITAS BASÁLTICAS DE TIPO MASIVO DE CLASES II, III Y IV DE COLOR GRIS OSCURO A VERDUSCO	M-1	ANDESITAS BASÁLTICAS DE TIPO MASIVO DE CLASES II, III Y IV DE COLOR GRIS OSCURO A VERDUSCO
% QUE PASA MALLA N° 4	36.40%		47.82%		47.69%	
% QUE PASA MALLA N°200	16.67%		17.76%		9.89%	
LIMITE LIQUIDO	N.P.		N.P.		N.P.	
ÍNDICE PLÁSTICO	N.P.		N.P.		N.P.	
CONTENIDO DE HUMEDAD	2.70%		2.68%		15.54%	
CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS SUCS	GM		GM		GP-GM	

Fuente: elaboración propia

### Características geotécnicas eje de presa

#### Calicata 01 En suelo (0.20 – 1.30 m)

- Geología : Material conformado por depósitos aluviales espesor de 0.20 a 1.30 m.
- Su clasificación SUC : GM (grava limosa).
- Su clasificación AASHTO : A-1-b (0) (gravas con mezcla de arena, limos)
- % de fragmentos y bloques de roca : 20 %
- % de grava : 63.60 %
- % de arena : 19.74 %
- % pasante la malla N° 200 : 16.67 %
- Límites de consistencia : LL=N.P., LP=N.P., IP=N.P.
- Resistencia : Alta.
- Cohesión : 0.00 kg/cm<sup>2</sup>.
- Angulo de fricción : 28.43°
- Compresibilidad : Media
- Densidad Natural Humedo : 1.854 gr/cm<sup>3</sup>.
- Coeficiente de Permeabilidad en suelos espesor de 1.20 m. 1.45x 10<sup>-2</sup> cm /seg.
- Módulo de elasticidad : 120 kg/cm<sup>2</sup>.
- Medidas Constructivas : Talud para la excavación será de V: H – 1:0.50.
- Valor como cimentación : regular.
- Módulo De Balasto : 12.55 kg/cm<sup>3</sup>.

## **CALICATA 02**

### **EN SUELO (0.20 – 1.20 m.)**

- Geología : Material conformado por depósitos aluviales y fluviales de 0.20 a 1.20 m.
- Su clasificación SUC : GM (grava limosa).
- Su clasificación AASHTO : A-1-a (0) (grava con mezcla de limos, arena)
- % de fragmentos y bloques de roca : 15 %
- % de grava : 52.18 %
- % de arena : 35.06 %
- % pasante la malla N° 200 : 12.76 %
- Límites de consistencia : LL=N.P., LP=N.P., IP=N.P.
- Resistencia : ALTO.
- Cohesión : 0.00 kg/cm<sup>2</sup>.
- Angulo de fricción : 29.54°
- Compresibilidad : BAJA.
- Densidad Natural : 1.845 gr/cm<sup>3</sup>.
- Coeficiente de Permeabilidad en suelos espesor de 1.30 m. 1.45x 10<sup>-2</sup> cm /seg.

- Módulo de elasticidad : 120 kg/cm<sup>2</sup>.
- Medidas Constructivas : Talud para la excavación  
será de V: H – 1:0.50.
- Valor como cimentación : regular.
- Módulo De Balasto : 15.43 kg/cm<sup>3</sup>.

### **Calicata 03**

#### **En suelo (0.20 – 1.40 m.)**

- Geología : Material conformado por depósitos aluviales y culuvial de 0.20 a 1.40 m.
- Su clasificación SUC : GP - GM (grava limosa mal gradada).
- Su clasificación AASHTO : A-1-a (0) (grava con mezcla de limos, arena)
- % de fragmentos y bloques de roca : 15 %
- % de grava : 52.31 %
- % de arena : 37.80 %
- % pasante la malla N° 200 : 9.89 %
- Límites de consistencia : LL=N.P., LP=N.P., IP=N.P.
- Resistencia : ALTO.
- Cohesión : 0.00 kg/cm<sup>2</sup>.
- Angulo de fricción : 28.88°
- Compresibilidad : BAJA.
- Densidad Natural : 1.836 gr/cm<sup>3</sup>.
- Coeficiente de Permeabilidad en suelos espesor de 1.10 m. 1.23x 10<sup>-2</sup> cm /seg.
- Módulo de elasticidad : 115 kg/cm<sup>2</sup>.
- Medidas Constructivas : Talud para la excavación  
será de V: H – 1:0.50.
- Valor como cimentación : regular.
- Módulo De Balasto : 12.76 kg/cm<sup>3</sup>.

### **Perforaciones Rotatorias**

En total se ejecutaron 05 taladros, de los cuales 03 de ellos se ejecutó en el centro del área de estudio, 01 taladros en el estribo izquierdo y 01 taladro en el estribo derecho de la proyección de la presa diseñada.

Durante la ejecución de dichos taladros se realizaron ensayos geotécnicos complementarios, los cuales permitirán realizar un estudio detallado de la cimentación de la presa. Entre los ensayos geotécnicos complementarios realizados podemos citar los siguientes:

- Ensayos de permeabilidad del tipo Lefranc en suelos y material rocoso fracturado y/o alterado.
- Ensayos de permeabilidad del tipo Lugeon en material rocoso consolidado.

**Tabla 14.** Línea de perforación de sondeos.

Nº	LÍNEA	TRAMO (m)	OBSERVACIÓN
01	HQ	0.00 a 55.50	Perforado (concluido)
02	HQ	0.00 a 35.20	Perforado (concluido)
03	HQ	0.00 a 20.30	Perforado (concluido)
04	HQ	0.00 a 40.40	Perforado (concluido)
05	HQ	0.00 a 50.60	Perforado (concluido)

Fuente: elaboración propia

**Tabla 15.** Resumen de perforaciones.

Código Perforación	Coord. Norte	Coord. Este	Cota	Azimut	Inclinación	Prof.	Suelo	Roca	Nivel Freático	Nº de Ensayo	Nº de Ensayo	Nº de Caja
PPRS-01	8'305,218.0	329,644.67	4,293.16	N100°E	-90°	55.50	41.00	14.50	5.40	15	1	16
PPRS-02	8'305,227.09	329,713.41	4,286.21	N100°E	-75° izquierda	35.20	4.30	30.90	3.06	7	1	11
PPRS-03	8'305,231.77	329,703.42	4,285.71	N100°E	-90°	20.30	0.55	19.75	11.00	1	3	07
PPRS-04	8'305,235.38	329,692.37	4,285.01	N100°E	-90°	40.40	1.10	39.30	0.89	1	7	14
PPRS-05	8'305,199.4	329,757.13	4,288.71	N100°E	-90°	50.60	0.00	50.60	5.20	1	7	18

Fuente: elaboración propia

### Recuperación de muestras y RQD

Para efectos de mostrar gráficamente los resultados obtenidos en las perforaciones han sido elaboradas las planillas de registro estratigráfico para suelos y rocas, los cuales consideran los siguientes parámetros por cada corrida perforada: porcentaje de recuperación, RQD expresado en porcentaje (rocas), perfil geológico, clasificación de suelos e índice geológico, adicionalmente se desarrolla una descripción geológica de campo y se detallan características geotécnicas de cada uno de los tramos perforados.

El porcentaje de recuperación se define como:

$$\text{TasadeRecuperación \%} = \frac{\text{Tasade núcleo Recuperado}}{\text{Longitud teórica del núcleo recortado}}$$

**Tabla 16.** Ponderación del RQD.

RQD (%)	CALIDAD DE ROCA
< 25	Muy Pobre
25 – 50	Pobre
50 -75	Regular
75 – 90	Buena
<b>90 -100</b>	<b>Excelente</b>

Fuente: Tomado de The rock quality designation (RQD) index in practice, por Deere and Deere, 1988, *ASTM Special Publication 984*.

**Tabla 17.** Recuperación P-01.

TRAMO		PERFORADO (m.)	RECUPERADO (m.)	RECUPERACIÓN (%)
DE	A			
0.00	0.80	0.80	0.80	100
0.80	1.05	0.25	0.25	100
1.05	2.60	1.55	1.55	100
2.60	3.30	0.70	0.70	100
3.30	4.60	1.30	1.25	96
4.60	6.20	1.60	0.85	53
6.20	7.80	1.60	1.00	63
7.80	9.40	1.60	1.00	63
9.40	10.50	1.10	0.50	45
10.50	11.05	0.55	0.55	100
11.05	12.10	1.05	1.05	100
12.10	13.50	1.40	1.15	82
13.50	13.70	0.20	0.20	100
13.70	14.15	0.45	0.40	89
14.15	15.00	0.85	0.85	100
15.00	15.45	0.45	0.45	100
15.45	16.70	1.25	1.20	96
16.70	17.20	0.50	0.50	100
17.20	18.40	1.20	0.75	63
18.40	20.00	1.60	1.10	69
20.00	20.60	0.60	0.60	100

20.60	21.60	1.00	1.00	100
21.60	23.00	1.40	1.30	93
23.00	24.60	1.60	1.60	100
24.60	26.00	1.40	1.35	96
26.00	27.60	1.60	1.60	100
27.60	29.00	1.40	1.30	93
29.00	30.60	1.60	1.40	87
30.60	32.00	1.40	1.10	79
32.00	33.60	1.60	1.30	81
33.60	35.00	1.40	1.00	71
35.00	36.60	1.60	1.05	66
36.60	38.00	1.40	0.60	43
38.00	39.40	1.40	0.90	64
39.40	41.00	1.60	0.65	41
41.00	42.60	1.60	1.20	75
42.60	43.90	1.30	1.05	81
43.90	45.30	1.40	1.35	96
45.30	46.70	1.40	1.20	86
46.70	48.30	1.60	1.60	93
48.30	50.20	1.50	1.25	83
50.20	51.80	1.60	1.60	100
51.80	53.20	1.40	1.35	96
53.20	54.70	1.50	1.15	77
54.70	55.50	0.80	0.60	75

Fuente: elaboración propia

**Tabla 18.** RQD de P-01.

TRAMO (m)		RQD %	CALIDAD DE LA ROCA
DE	A		
0.00	0.80	-	
0.80	1.05	-	
1.05	2.60	-	
2.60	3.30	-	
3.30	4.60	-	
4.60	6.20	-	

6.20	7.80	-	
7.80	9.40	-	
9.40	10.50	-	
10.50	11.05	-	
11.05	12.10	-	
12.10	13.50	-	
13.50	13.70	-	
13.70	14.15	-	
14.15	15.00	-	
15.00	15.45	-	
15.45	16.70	-	
16.70	17.20	-	
17.20	18.40	-	
18.40	20.00	-	
20.00	20.60	48	Pobre
20.60	21.60	68	Regular
21.60	23.00	47	Pobre
23.00	24.60	61	Regular
24.60	26.00	-	
26.00	27.60	-	
27.60	29.00	18	Muy Pobre
29.00	30.60	50	Muy Pobre
30.60	32.00	36	Pobre
32.00	33.60	-	
33.60	35.00	-	
35.00	36.60	-	
36.60	38.00	11	Muy Pobre
38.00	39.40	-	
39.40	41.00	20	Muy Pobre
41.00	42.60	16	Muy Pobre
42.60	43.90	-	
43.90	45.30	22	Muy Pobre
45.30	46.70	8	Muy Pobre
46.70	48.30	67	Regular
48.30	48.70	52	Regular
48.70	50.20	71	Regular
50.20	51.80	90	Buena
51.80	53.20	94	Excelente
53.20	54.70	45	Muy Pobre
54.70	55.50	26	Pobre

Fuente: elaboración propia

**Tabla 19.** Recuperación de P-02

TRAMO		PERFORADO (m.)	RECUPERADO (m.)	RECUPERACIÓN (%)
DE	A			
0.00	0.40	0.40	0.40	100

0.40	0.90	0.50	0.50	100
0.90	1.70	0.80	0.80	100
1.70	2.40	0.70	0.70	71
2.40	3.30	0.90	0.90	100
3.30	4.30	1.00	0.80	80
4.30	5.30	1.00	0.50	50
5.30	6.40	1.10	0.50	45
6.40	7.80	1.40	1.20	86
7.80	8.30	0.50	0.40	80
8.30	9.40	1.10	0.55	50
9.40	11.00	1.60	1.35	84
11.00	12.10	1.60	1.60	100
12.10	13.70	0.60	0.60	100
13.70	15.30	1.60	1.60	100
15.30	15.90	0.60	0.55	92
15.90	17.50	1.60	1.60	100
17.50	18.40	0.90	0.60	67
18.40	18.70	0.30	0.25	83
18.70	20.30	1.60	1.40	87
20.30	21.40	1.10	1.00	91
21.40	23.00	1.60	1.20	75
23.00	24.40	1.40	1.05	75
24.40	25.00	0.60	0.00	0
25.00	26.10	1.10	1.05	95
26.10	26.80	0.70	0.70	100
26.80	27.70	0.90	0.90	100
27.70	29.30	1.60	1.60	100
29.30	30.60	1.30	1.30	100
30.60	32.10	1.50	1.50	100
32.10	33.40	1.30	1.30	100
33.40	33.60	0.20	0.20	100
33.60	35.20	1.60	1.60	100

Fuente: elaboración propia



**Tabla 20. RQD P-02**

TRAMO (m)		RQD %	CALIDAD DE LA ROCA
DE	A		
0.00	0.40	-	Roca blanda
0.40	0.90	-	Roca blanda
0.90	1.70	-	Roca blanda
1.70	2.40	-	Roca blanda
2.40	3.30	-	Roca blanda
3.30	4.30	-	Roca blanda
4.30	5.30	-	Roca blanda
5.30	6.40	10	Muy Pobre
6.40	7.80	9	Muy Pobre
7.80	8.30	-	Roca blanda
8.30	9.40	-	Roca blanda
9.40	11.00	16	Muy Pobre
11.00	12.10	15	Muy Pobre
12.10	13.70	54	Regular
13.70	15.30	25	Muy Pobre
15.30	15.90	79	Buena
15.90	17.50	18	Muy Pobre
17.50	18.40	33	Pobre
18.40	18.70	-	Roca blanda
18.70	20.30	-	Roca blanda
20.30	21.40	-	Roca blanda
21.40	23.00	-	Roca blanda
23.00	24.40	-	Roca blanda
24.40	25.00	-	Roca blanda
25.00	26.10	-	Roca blanda
26.10	26.80	36	Pobre
26.80	27.70	90	Bueno
27.70	29.30	6	Muy Pobre
29.30	30.60	36	Pobre
30.60	32.10	-	Roca blanda
32.10	33.40	15	Muy Pobre
33.40	33.60	100	Excelente
33.60	35.20	9	Muy Pobre

Fuente: elaboración propia

**Tabla 21. Recuperación de P-03.**

TRAMO		PERFORADO (m.)	RECUPERADO (m.)	RECUPERACIÓN (%)
DE	A			
0.00	0.55	0.55	0.55	100
0.55	1.60	1.05	1.05	100

1.60	2.20	0.60	0.45	75
2.20	3.40	1.20	0.40	33
3.40	5.00	1.60	1.60	100
5.00	6.40	1.40	1.30	93
6.40	8.00	1.60	1.60	100
8.00	9.40	1.40	1.40	100
9.40	10.50	1.10	1.10	100
10.50	11.90	1.40	1.40	100
11.90	13.50	1.60	1.60	100
13.50	16.70	1.60	1.60	100
16.70	17.40	0.70	0.70	100
17.40	18.40	1.00	1.00	100
18.40	19.80	1.40	1.40	100
19.80	20.30	0.50	0.50	100

Fuente: elaboración propia

**Tabla 22.** RQD de P-03.

TRAMO (m)		RQD %	CALIDAD DE LA ROCA
DE	A		
0.00	0.55	-	Roca blanda
0.55	1.60	0	Muy Pobre
1.60	2.20	0	Muy Pobre
2.20	3.40	0	Muy Pobre
3.40	5.00	0	Muy Pobre
5.00	6.40	51	Regular
6.40	8.00	25	Muy Pobre
8.00	9.40	36	Pobre
9.40	10.50	45	Pobre
10.50	11.90	36	Pobre
11.90	13.50	56	Regular
13.50	15.10	67	Regular
15.10	16.70	22	Muy Pobre
16.70	17.40	0	Muy Pobre
17.40	18.40	58	Regular
18.40	19.80	34	Muy Pobre
19.80	20.30	56	Regular

Fuente: elaboración propia

**Tabla 23.** Recuperación de P - 04

TRAMO		PERFORADO	RECUPERADO	RECUPERACIÓN
DE	A	(m.)	(m.)	(%)
0.00	0.60	0.60	0.60	100
0.60	1.40	0.80	0.60	75
1.40	3.00	1.60	0.75	47
3.00	4.20	1.20	0.95	79
4.20	5.20	1.00	1.00	100
5.20	6.40	1.20	1.15	96
6.40	7.20	0.80	0.75	94
7.20	7.95	0.75	0.75	100
7.95	9.40	1.45	1.45	100
9.40	10.85	1.45	1.45	100
10.85	12.40	1.55	1.55	100
12.40	12.95	0.55	0.55	100
12.95	14.20	1.25	1.25	100
14.20	14.70	0.50	0.50	100
14.70	15.40	0.70	0.70	96
15.40	16.50	1.10	1.10	100
16.50	18.10	1.60	1.60	81
18.10	19.70	1.60	1.60	13
19.70	20.80	1.10	1.10	100
20.80	21.40	0.60	0.60	100
21.40	23.00	1.60	1.60	100
23.00	24.40	1.40	1.40	100
24.40	26.00	1.60	1.60	100
26.00	27.40	1.40	1.25	89
27.40	28.70	1.30	1.15	88
28.70	30.05	1.35	1.35	100
30.05	30.40	0.35	0.35	100
30.40	32.00	1.60	1.60	100
32.00	33.40	1.40	1.40	100
33.40	35.00	1.60	1.60	100
35.00	36.40	1.40	1.40	100

36.40	37.60	1.20	1.20	100
37.60	39.20	1.60	1.60	100
39.20	40.40	1.20	1.20	100

Fuente: elaboración propia

**Tabla 24.** RQD de P-04

TRAMO (m)		RQD %	CALIDAD DE LA ROCA
DE	A		
0.00	0.60	0	Roca blanda
0.60	1.40	0	Roca blanda
1.40	3.00	0	Roca blanda
3.00	4.20	21	Muy Pobre
4.20	5.20	64	Regular
5.20	6.40	33	Pobre
6.40	7.20	53	Regular
7.20	7.95	0	Muy Pobre
7.95	9.40	30	Pobre
9.40	10.85	55	Regular
10.85	12.40	43	Pobre
12.40	12.95	31	Pobre
12.95	14.20	26	Pobre
14.20	14.70	0	Muy Pobre
14.70	15.40	71	Regular
15.40	16.50	35	Pobre
16.50	18.10	48	Pobre
18.10	19.70	34	Pobre
19.70	20.80	64	Regular
20.80	21.40	63	Regular
21.40	23.00	67	Regular
23.00	24.40	68	Regular
24.40	26.00	61	Regular
26.00	27.40	31	Pobre
27.40	28.70	39	Pobre
28.70	30.05	73	Regular
30.05	30.40	100	Excelente
30.40	32.00	71	Regular
32.00	33.40	69	Regular
33.40	35.00	84	Buena
35.00	36.40	82	Buena
36.40	37.60	44	Pobre
37.60	39.20	35	Pobre
39.20	40.40	49	Pobre

Fuente: elaboración propia

**Tabla 25.** Recuperación de P-05

TRAMO		PERFORADO	RECUPERADO	RECUPERACIÓN
DE	A	(m.)	(m.)	(%)
0.00	0.60	0.60	0.45	75
0.60	1.50	0.90	0.45	50
1.50	1.90	0.40	0.40	100
1.90	3.40	1.50	1.50	100
3.40	4.40	1.00	1.00	100
4.40	4.90	0.50	0.50	100
4.90	6.50	1.60	1.60	100
6.50	8.10	1.60	1.60	100
8.10	9.50	1.40	1.40	100
9.50	10.50	1.00	1.00	100
10.50	12.10	1.60	1.60	100
12.10	13.10	1.00	1.00	100
13.10	14.70	1.60	1.60	100
14.70	15.30	0.60	0.60	100
15.30	16.90	1.60	1.60	100
16.90	18.30	1.40	1.40	100
18.30	19.90	1.60	1.60	100
19.90	21.30	1.40	1.40	100
21.30	22.90	1.60	1.60	100
22.90	24.30	1.40	1.40	100
24.30	25.30	1.00	1.00	100
25.30	26.20	0.90	0.90	100
26.20	27.30	1.10	1.10	100
27.30	28.30	1.00	1.00	100
28.30	29.40	1.10	1.10	100
29.40	30.30	0.90	0.90	100
30.30	31.30	1.00	1.00	100
31.30	32.40	1.10	1.10	100
32.40	33.30	0.90	0.90	100
33.30	34.30	1.00	1.00	100
34.30	35.80	1.50	1.50	100

35.80	36.80	1.00	1.00	100
36.80	38.00	1.20	1.20	100
38.00	39.00	1.00	1.00	100
39.00	40.00	1.00	1.00	100
40.00	41.40	1.40	1.40	100
41.40	42.30	0.90	0.90	100
42.30	43.10	0.80	0.80	100
43.10	44.50	1.40	1.40	100
44.50	45.40	0.90	0.90	100
45.40	46.70	1.30	1.30	100
46.70	48.30	1.60	1.60	100
48.30	49.90	1.60	1.60	100
49.90	50.60	0.70	0.70	100

Fuente: elaboración propia

**Tabla 26.** RQD de P-05

TRAMO (m)		RQD %	CALIDAD DE LA ROCA
DE	A		
0.00	0.60	0	Muy Pobre
0.60	1.50	30	Pobre
1.50	1.90	25	Muy Pobre
1.90	3.40	67	Regular
3.40	4.40	10	Muy Pobre
4.40	4.90	0	Muy Pobre
4.90	6.50	76	Regular
6.50	8.10	59	Regular
8.10	9.50	71	Regular
9.50	10.50	0	Muy Pobre
10.50	12.10	81	Buena
12.10	13.10	58	Regular
13.10	14.70	58	Regular
14.70	15.30	93	Excelente
15.30	16.90	87	Buena
16.90	18.30	84	Buena
18.30	19.90	49	Pobre
19.90	21.30	99	Excelente
21.30	22.90	85	Buena
22.90	24.30	65	Regular
24.30	25.30	67	Regular
25.30	26.20	11	Muy Pobre
26.20	27.30	64	Regular
27.30	28.30	27	Pobre

28.30	29.40	82	Buena
29.40	30.30	53	Regular
30.30	31.30	30	Pobre
31.30	32.40	0	Muy Pobre
32.40	33.30	41	Pobre
33.30	34.30	60	Regular
34.30	35.80	32	Pobre
35.80	36.80	25	Muy Pobre
36.80	38.00	19	Muy Pobre
38.00	39.00	20	Muy Pobre
39.00	40.00	28	Pobre
40.00	41.40	41	Pobre
41.40	42.30	42	Pobre
42.30	43.10	15	Muy Pobre
43.10	44.50	47	Pobre
44.50	45.40	59	Regular
45.40	46.70	38	Pobre
46.70	48.30	54	Regular
48.30	49.90	87	Buena
49.90	50.60	43	Pobre

Fuente: elaboración propia

**Tabla 27.** Numero de cajas.

SONDEO	CAJAS	PROFUNDIDAD (m)
PPRS-1	16.00	55.50
PPRS-2	11.00	35.20
PPRS-03	7.00	20.30
PPRS-04	14.00	40.40
PPRS-05	18.00	50.60
<b>TOTAL</b>	<b>66.00</b>	<b>202.00</b>

Fuente: elaboración propia

En total se tomaron 05 taladros, de los cuales 03 de ellos se ejecutó en el centro del área de estudio, 01 taladros en la proyección del estribo izquierdo de la presa diseñada y 01 taladro en el estribo derecho.

**Figura 38.** Ubicación de las perforaciones.



Fuente: elaboración propia

**Tabla 28.** Descripción de las perforaciones.

Código Perforación	Coord. Norte	Coord. Este	Cota	Azimut	Inclinación	Prof.	Nº de Caja
PPRS-1	8'305,218.0	329,644.67	4,293.16	N100°E	-90°	55.50	16
PPRS-2	8'305,227.09	329,713.41	4,286.21	N100°E	-75° izquierda	35.20	11
PPRS-3	8'305,231.77	329,703.42	4,285.71	N100°E	-90°	20.30	7
PPRS-4	8'305,235.38	329,692.37	4,285.01	N100°E	-90°	40.40	14
PPRS-5	8'305,199.4	329,757.13	4,288.71	N100°E	-90°	50.60	18

Fuente: elaboración propia

Según los registros de perforación (PPRS-01, PPRS-02 y PPRS-03) el área de estudio de la presa diseñada en el estribo izquierdo presenta un depósito de arenisca arcillosa, la cual descansa sobre un basamento rocoso (Granito) alterado y fracturado en sus tramos iniciales, el mismo que aflora en sentido hacia el cauce del río.

En el cauce del río (PPRS-04), el basamento rocoso aflora en la superficie presentando en su conformación un alto índice de alteración y **fracturamiento** producto de la erosión del río circundante en este sector. A medida que se alcanza mayores profundidades (a partir de los 3.00 metros) la roca se muestra con menores índices de alteración y fracturamiento adquiriendo mejores condiciones de consolidación.



En el estribo derecho para la presa diseñada (PPRS-05), el material rocoso aflorante se muestra ligeramente alterado y fracturado producto de la erosión propia del intemperismo de la zona, mejorando sus condiciones a medida que se profundiza (a partir de los 2 metros).

Teniendo en cuenta el perfil geológico, RQD y RMR de los testigos analizados, estos nos indican que el rango de la calidad del material rocoso en sus tramos iniciales va desde pobre hasta regular, ello debido al alto grado de fracturamiento y alteración del material rocoso del tipo Granito.

**Figura 39.** PPRS-01



Fuente: Fotografía propia.

**Figura 40.** PPRS-02



Fuente: Fotografía propia.

**Figura 41.** PPRS-03



Fuente: Fotografía propia.

**Figura 42.** PPRS-04



Fuente: Fotografía propia.

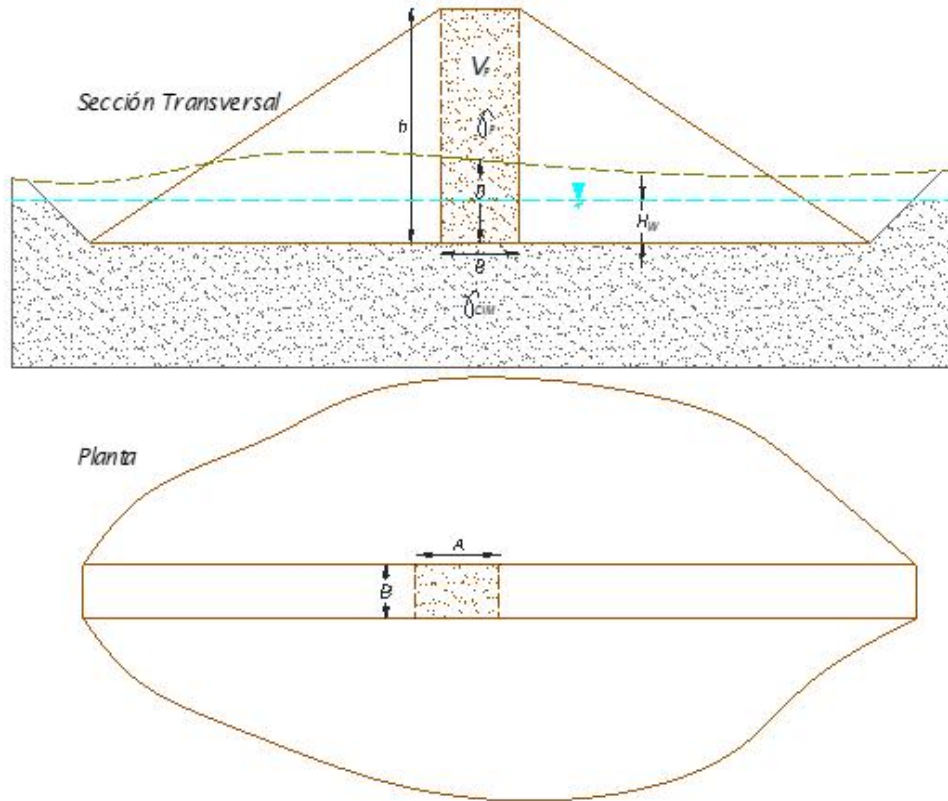
**Figura 43.** PPRS-05



Fuente: Fotografía propia.

## Calculo de la Capacidad portante del suelo

Figura 44. Secciones de la presa.



Fuente: elaboración propia

### Tensión Efectiva vertical transmitida a la cimentación en el punto PPRS-1

A:	1.00 m	Ancho Sección para Análisis
B:	6.50 m	Base Sección para Análisis
h:	0.62 m	Altura Sección para Análisis
Vp:	4.02 m <sup>3</sup>	Volumen Sección cuerpo de Presa
γp:	1.81 Tn/m <sup>3</sup>	Peso Específico de la Presa
Ac:	6.50 m <sup>2</sup>	Área Sección de la Cimentación
γcim:	2.25 Tn/m <sup>3</sup>	Peso Específico de la Cimentación
D:	0.37 m	Profundidad de desplante
γw:	1.00 Tn/m <sup>3</sup>	Peso específico del agua
Hw:	0.00 m	Diferencia de Profundidad entre la cimentación de Desplante y el Nivel Freático
QT:	Carga total.	
μ:	Presión intersticial en la cimentación.	
Po:	Tensión total de sobrecarga en la base del cimient.	
P'o:	Tensión Efectiva Vertical.	
QB:	Tensión total bruta.	

$Q_{NETA}$ : Tensión total neta.  
 $Q'_B$ : Tensión efectiva bruta.  
 $Q'_{NETA}$ : Tensión efectiva vertical.

**Figura 45.** Tensión Efectiva Vertical PPRS-1

$Q_T$	$\mu$	$P_o$	$P'_{o}$	$Q_B$	$Q_{NETA}$	$Q'_B$	$Q'_{NETA}$	Tensión de la Cimentación	
(Tn)	(Tn/m <sup>2</sup> )	(Tn/m <sup>2</sup> )	(Tn/m <sup>2</sup> )	(Tn/m <sup>2</sup> )	(Tn/m <sup>2</sup> )	(Tn/m <sup>2</sup> )	(Tn/m <sup>2</sup> )	(Mpa)	(Kg/cm <sup>2</sup> )
7.28	0	0.84	0.84	1.12	0.28	1.12	0.28	0.003	0.028

Fuente: elaboración propia

### Tensión Efectiva vertical transmitida a la cimentación en el punto PPRS-2

A: 1.00 m Ancho Sección para Análisis  
 B: 6.50 m Base Sección para Análisis  
 h: 6.17 m Altura Sección para Análisis  
 $V_p$ : 40.08 m<sup>3</sup> Volumen Sección cuerpo de Presa  
 $\gamma_p$ : 1.81 Tn/m<sup>3</sup> Peso Específico de la Presa  
 $A_c$ : 6.50 m<sup>2</sup> Área Sección de la Cimentación  
 $\chi_{cim}$ : 2.62 Tn/m<sup>3</sup> Peso Específico de la Cimentación  
 D: 4.03 m Profundidad de desplante  
 $\gamma_w$ : 1.00 Tn/m<sup>3</sup> Peso específico del agua  
 $H_w$ : 0.00 m Diferencia de Profundidad entre la cimentación de Desplante y el Nivel Freático  
 $Q_T$ : Carga total.  
 $\mu$ : Presión intersticial en la cimentación.  
 $P_o$ : Tensión total de sobrecarga en la base del cimientto.  
 $P'_{o}$ : Tensión Efectiva Vertical.  
 $Q_B$ : Tensión total bruta.  
 $Q_{NETA}$ : Tensión total neta.  
 $Q'_B$ : Tensión efectiva bruta.  
 $Q'_{NETA}$ : Tensión efectiva vertical.

**Figura 46.** Tensión Efectiva Vertical PPRS-2

$Q_T$	$\mu$	$P_o$	$P'_{o}$	$Q_B$	$Q_{NETA}$	$Q'_B$	$Q'_{NETA}$	Tensión en la cimentación	
(Tn)	(Tn/m <sup>2</sup> )	(Tn/m <sup>2</sup> )	(Tn/m <sup>2</sup> )	(Tn/m <sup>2</sup> )	(Tn/m <sup>2</sup> )	(Tn/m <sup>2</sup> )	(Tn/m <sup>2</sup> )	(Mpa)	(Kg/cm <sup>2</sup> )
72.54	0.00	10.55	10.55	11.16	0.61	11.16	0.61	0.006	0.061

Fuente: elaboración propia

### Tensión Efectiva vertical transmitida a la cimentación en el punto PPRS-3

A: 1.00 m Ancho Sección para Análisis  
 B: 6.50 m Base Sección para Análisis  
 h: 9.56 m Altura Sección para Análisis  
 $V_p$ : 62.13 m<sup>3</sup> Volumen Sección cuerpo de Presa  
 $\gamma_p$ : 1.81 Tn/m<sup>3</sup> Peso Específico de la Presa  
 $A_c$ : 6.50 m<sup>2</sup> Área Sección de la Cimentación  
 $\chi_{cim}$ : 2.66 Tn/m<sup>3</sup> Peso Específico de la Cimentación

D:	4.69 m	Profundidad de desplante
$\gamma_w$ :	1.00 Tn/m <sup>3</sup>	Peso específico del agua
H <sub>w</sub> :	0.00 m	Diferencia de Profundidad entre la cimentación de Desplante y el Nivel Freático
Q <sub>T</sub> :	Carga total.	
$\mu$ :	Presión intersticial en la cimentación.	
P <sub>o</sub> :	Tensión total de sobrecarga en la base del cimientto.	
P' <sub>o</sub> :	Tensión Efectiva Vertical.	
Q <sub>B</sub> :	Tensión total bruta.	
Q <sub>NETA</sub> :	Tensión total neta.	
Q' <sub>B</sub> :	Tensión efectiva bruta.	
Q' <sub>NETA</sub> :	Tensión efectiva vertical.	

**Figura 47.** Tensión Efectiva Vertical PPRS-03

Q <sub>T</sub> (Tn)	$\mu$ (Tn/m <sup>2</sup> )	P <sub>o</sub> (Tn/m <sup>2</sup> )	P' <sub>o</sub> (Tn/m <sup>2</sup> )	Q <sub>B</sub> (Tn/m <sup>2</sup> )	Q <sub>NETA</sub> (Tn/m <sup>2</sup> )	Q' <sub>B</sub> (Tn/m <sup>2</sup> )	Q' <sub>NETA</sub> (Tn/m <sup>2</sup> )	Tensión en la cimentación	
								(Mpa)	(Kg/cm <sup>2</sup> )
112.45	0.00	12.48	12.48	17.30	4.82	17.30	4.82	0.047	0.482

Fuente: elaboración propia

### Tensión Efectiva vertical transmitida a la cimentación en el punto PPRS-4

A:	1.00 m	Ancho Sección para Análisis
B:	6.50 m	Base Sección para Análisis
h:	22.12 m	Altura Sección para Análisis
V <sub>p</sub> :	143.77 m <sup>3</sup>	Volumen Sección cuerpo de Presa
$\gamma_p$ :	1.81 Tn/m <sup>3</sup>	Peso Específico de la Presa
A <sub>c</sub> :	6.50 m <sup>2</sup>	Área Sección de la Cimentación
$\chi_{cim}$ :	2.69 Tn/m <sup>3</sup>	Peso Específico de la Cimentación
D:	6.60 m	Profundidad de desplante
$\gamma_w$ :	1.00 Tn/m <sup>3</sup>	Peso específico del agua
H <sub>w</sub> :	5.71 m	Diferencia de Profundidad entre la cimentación de Desplante y el Nivel Freático
Q <sub>T</sub> :	Carga total.	
$\mu$ :	Presión intersticial en la cimentación.	
P <sub>o</sub> :	Tensión total de sobrecarga en la base del cimientto.	
P' <sub>o</sub> :	Tensión Efectiva Vertical.	
Q <sub>B</sub> :	Tensión total bruta.	
	Tensión total	
Q <sub>NETA</sub> :	neta.	
Q' <sub>B</sub> :	Tensión efectiva bruta.	
Q' <sub>NETA</sub> :	Tensión efectiva vertical.	

**Figura 48.** Tensión Efectiva Vertical PPRS-04

Q <sub>T</sub> (Tn)	$\mu$ (Tn/m <sup>2</sup> )	P <sub>o</sub> (Tn/m <sup>2</sup> )	P' <sub>o</sub> (Tn/m <sup>2</sup> )	Q <sub>B</sub> (Tn/m <sup>2</sup> )	Q <sub>NETA</sub> (Tn/m <sup>2</sup> )	Q' <sub>B</sub> (Tn/m <sup>2</sup> )	Q' <sub>NETA</sub> (Tn/m <sup>2</sup> )	Tension en la cimentacion	
								(Mpa)	(Kg/cm <sup>2</sup> )
260.23	5.71	17.74	12.03	40.04	22.30	34.33	22.30	0.219	2.230

Fuente: elaboración propia

### Tensión Efectiva vertical transmitida a la cimentación en el punto PPRS-5

A:	1.00 m	Ancho Sección para Análisis
B:	6.50 m	Base Sección para Análisis
h:	0.96 m	Altura Sección para Análisis
V <sub>p</sub> :	6.24 m <sup>3</sup>	Volumen Sección cuerpo de Presa
γ <sub>p</sub> :	1.81 Tn/m <sup>3</sup>	Peso Específico de la Presa
A <sub>c</sub> :	6.50 m <sup>2</sup>	Área Sección de la Cimentación
γ <sub>cim</sub> :	2.65 Tn/m <sup>3</sup>	Peso Específico de la Cimentación
D:	0.63 m	Profundidad de desplante
γ <sub>w</sub> :	1.00 Tn/m <sup>3</sup>	Peso específico del agua
H <sub>w</sub> :	0.00 m	Diferencia de Profundidad entre la cimentación de Desplante y el Nivel Freático
Q <sub>T</sub> :	Carga total.	
μ:	Presión intersticial en la cimentación.	
P <sub>o</sub> :	Tensión total de sobrecarga en la base del cemento.	
P' <sub>o</sub> :	Tensión Efectiva Vertical.	
Q <sub>B</sub> :	Tensión total bruta.	
Q <sub>NETA</sub> :	Tensión total neta.	
Q' <sub>B</sub> :	Tensión efectiva bruta.	
Q' <sub>NETA</sub> :	Tensión efectiva vertical.	

Figura 49. Tensión Efectiva Vertical PPRS-05

Q <sub>T</sub>	μ	P <sub>o</sub>	P' <sub>o</sub>	Q <sub>B</sub>	Q <sub>NETA</sub>	Q' <sub>B</sub>	Q' <sub>NETA</sub>	Tensión de la Cimentación	
(Tn)	(Tn/m <sup>2</sup> )	(Tn/m <sup>2</sup> )	(Tn/m <sup>2</sup> )	(Tn/m <sup>2</sup> )	(Tn/m <sup>2</sup> )	(Tn/m <sup>2</sup> )	(Tn/m <sup>2</sup> )	(Mpa)	(Kg/cm <sup>2</sup> )
11.29	0.00	1.66	1.66	1.74	0.07	1.74	0.07	0.001	0.007

Fuente: elaboración propia

### Capacidad Admisible por la cimentación en el punto PPRS-1

Datos:

Profundidad de desplante, D <sub>f</sub> ; (mts):	0.4
Peso Volumétrico del suelo; G <sub>m</sub> (Ton/m <sup>3</sup> ):	2.253
Cohesión del suelo, c; (Ton/m <sup>2</sup> ):	0.4
Angulo de fricción interna del suelo, F <sub>i</sub> (grados):	28
Ancho o Radio del cimientó; B ò R (mts):	6.5
Tipo de suelo: 1-arcilloso firme/ 2-arcilloso blando/ 3-arenoso	1
Factor de seguridad F.S. :(3.5/3.0/2.5)	3.5

### Cálculos y Resultados:

Factores dependientes del Angulo de fricción:

Factor de cohesión, $N_c$ =	31.61
Factor de sobrecarga, $N_q$ =	17.81
Factor de piso, $N_g$ =	13.7

a) Para cimiento continuo:

capacidad de carga ultima,  $q_c$ :

$$q_c = c \cdot N_c + G_m \cdot D_f \cdot N_q + 0.5 \cdot G_m \cdot B \cdot N_g$$

capacidad de carga admisible;  $q_a$ :

$$q_a = q_c / FS$$

$c \cdot N_c$ =	12.644
$G_m \cdot D_f \cdot N_q$ =	16.050372
$0.5 \cdot G_m \cdot B \cdot N_g$ =	100.314825
$q_c$ , (Ton/m <sup>2</sup> )=	129.009197
<b><math>q_a</math>, (Ton/m<sup>2</sup>)=</b>	<b>36.859771</b>

### Capacidad Admisible por la cimentación en el punto PPRS-2

Carga admisible de cimentaciones en roca basada en un criterio de rotura no lineal  
(para una inclinación de la carga aplicada a 0°)

$\sigma_c(q_u)$ =	Resistencia a la compresión simple de la roca	579.71 kg/cm <sup>2</sup>	56.850 Mpa
RMR=	Clasificación geomecanica de la roca según Bieniawski	24%	24%
$m_0$ =	Parámetro m para rocas intactas	33	33
$i_1$ =	Inclinación de la carga sobre la cimentación	0°	0°
$\gamma$ =	Peso específico	2.62 gr/cm <sup>3</sup>	25.69 KN/m <sup>3</sup>
H(D)=	Altura de tierras por encima de la superficie de cimentación	4.03 m	
$\sigma_1(q_0)$ =	Carga externa	103.47 KN/m <sup>2</sup>	
a=		19	
b=		7	
m=	$m_0 \cdot \exp(RMR-100/a)$		0.6044
s=	$\exp(RMR-100/b)$		0.0000
$\beta$ =	$(m \cdot \sigma_c) / 8$		4.2951

$\zeta =$	$(8*s)/m^2$		0.0004
$\sigma_{01} =$	$(\sigma_1/\beta) + \zeta$		0.0245
$N\beta =$		5.73	
$P_h(q_h) =$	$\beta*(N\beta - \zeta)$	Carga de hundimiento	24.592 Mpa
$F_p =$	Coeficiente de seguridad parcial de los parámetros		22
$F_m =$	Coeficiente de seguridad parcial del modelo		3.03
$F =$	$F_p * F_m$		66.66
$\sigma_{ad h}$			
$(Q_{adm}) =$		0.3689 Mpa	3.689 kp/cm <sup>2</sup>
$E =$	Módulo de deformación	2.24 Gpa	22387 kp/cm <sup>2</sup>
	$E_{min} =$	0.9Gpa	8955 kp/cm <sup>2</sup>
	$E_{max} =$	3.58Gpa	35820 kp/cm <sup>2</sup>

### Capacidad Admisible por la cimentación en el punto PPRS-3

Carga admisible de cimentaciones en roca basada en un criterio de rotura no lineal  
(para una inclinación de la carga aplicada a 0°)

$\sigma_c(q_u) =$	Resistencia a la compresión simple de la roca	409.62 kg/cm <sup>2</sup>	40.170 Mpa
RMR =	Clasificación geomecanica de la roca según Bieniawski	50%	50%
$m_0 =$	Parámetro m para rocas intactas	33	33
$i_1 =$	Inclinación de la carga sobre la cimentación	0°	0°
$\gamma =$	Peso específico	2.66 gr/cm <sup>3</sup>	26.09KN/m <sup>3</sup>
$H(D) =$	Altura de tierras por encima de la superficie de cimentación	4.69 m	
$\sigma_1(q_0) =$	Carga externa	122.42 KN/m <sup>2</sup>	
$a =$		21	
$b =$		7	
$m =$	$m_0 * \exp(RMR-100/a)$		3.0513
$s =$	$\exp(RMR-100/b)$		0.0008
$\beta =$	$(m * \sigma_c) / 8$		15.3211
$\zeta =$	$(8*s)/m^2$		0.0007
$\sigma_{01} =$	$(\sigma_1/\beta) + \zeta$		0.0087
$N\beta =$		5.00	
$P_h(q_h) =$	$\beta*(N\beta - \zeta)$	Carga de hundimiento	76.595 Mpa
$F_p =$	Coeficiente de seguridad parcial de los parámetros		25
$F_m =$	Coeficiente de seguridad parcial del modelo		2.26
$F =$	$F_p * F_m$		56.5
$\sigma_{ad h} (Q_{adm}) =$		1.3557 Mpa	13.557 kp/cm <sup>2</sup>
$E =$	Módulo de deformación	10.00Gpa	100000 kp/cm <sup>2</sup>
	$E_{min} =$	4.00Gpa	40000 kp/cm <sup>2</sup>
	$E_{max} =$	16.00Gpa	160000 kp/cm <sup>2</sup>



## Capacidad Admisible por la cimentación en el punto PPRS-4

Carga admisible de cimentaciones en roca basada en un criterio de rotura no lineal  
(para una inclinación de la carga aplicada a 0°)

$\sigma_c(q_u)=$	Resistencia a la compresión simple de la roca	722.57 kg/cm <sup>2</sup>	70.860 Mpa
RMR=	Clasificación geomecanica de la roca según Bieniawski	58%	58%
$m_0=$	Parámetro m para rocas intactas	33	33
$i_1=$	Inclinación de la carga sobre la cimentación	0°	0°
$\gamma=$	Peso específico	2.69 gr/cm <sup>3</sup>	26.37KN/m <sup>3</sup>
H(D)=	Altura de tierras por encima de la superficie de cimentación	6.60 m	
$\sigma_1(q_0)=$	Carga externa	173.96 KN/m <sup>2</sup>	
a=		25	
b=		8	
m=	$m_0 \cdot \exp(\text{RMR}-100/a)$		6.1503
s=	$\exp(\text{RMR}-100/b)$		0.0052
$\beta=$	$(m \cdot \sigma_c) / 8$		54.4766
$\zeta=$	$(8 \cdot s) / m^2$		0.0011
$\sigma_{01}=$	$(\sigma_1 / \beta) + \zeta$		0.0043
$N_\beta=$		5.00	
$P_h(q_h)=$	$\beta \cdot (N_\beta - \zeta)$ Carga de hundimiento		272.323 Mpa
$F_p=$	Coficiente de seguridad parcial de los parámetros	31	
$F_m=$	Coficiente de seguridad parcial del modelo	3.67	
F=	$F_p \cdot F_m$		113.77
$\sigma_{ad h} (q_{adm})=$		2.3936 Mpa	23.936 kp/cm <sup>2</sup>
E=	Módulo de deformación	9.00Gpa	90000 kp/cm <sup>2</sup>
	$E_{min}=$	6.40Gpa	64000 kp/cm <sup>2</sup>
	$E_{max}=$	25.60Gpa	256000 kp/cm <sup>2</sup>

## Capacidad Admisible por la cimentación en el punto PPRS-5

Carga admisible de cimentaciones en roca basada en un criterio de rotura no lineal  
(para una inclinación de la carga aplicada a 0°)

$\sigma_c(q_u)=$	Resistencia a la compresión simple de la roca	658.12 kg/cm <sup>2</sup>	64.540 Mpa
RMR=	Clasificación geomecanica de la roca según Bieniawski	45%	45%
$m_0=$	Parámetro m para rocas intactas	33	33
$i_1=$	Inclinación de la carga sobre la cimentación	0°	0°
$\gamma=$	Peso específico	2.65 gr/cm <sup>3</sup>	26.03KN/m <sup>3</sup>
H(D)=	Altura de tierras por encima de la superficie de cimentación	0.63 m	
$\sigma_1(q_0)=$	Carga externa	16.32 KN/m <sup>2</sup>	
a=		22	
b=		7	

$m=$	$m_0 \cdot \exp(\text{RMR}-100/a)$		2.7088
$s=$	$\exp(\text{RMR}-100/b)$		0.0004
$\beta=$	$(m \cdot \sigma_c) / 8$		21.8533
$\zeta=$	$(8 \cdot s) / m^2$		0.0004
$\sigma_{01}=$	$(\sigma_1 / \beta) + \zeta$		0.0012
$N\beta=$		5.00	
$P_h(q_h)=$	$\beta \cdot (N\beta - \zeta)$	Carga de hundimiento	109.257 Mpa
$F_p=$	Coeficiente de seguridad parcial de los para metros		27
$F_m=$	Coeficiente de seguridad parcial del modelo		3.38
$F=$	$F_p \cdot F_m$		91.26
$\sigma_{ad h} (Q_{adm})=$		1.1972 Mpa	11.972 kp/cm <sup>2</sup>
$E=$	Módulo de deformación		7.50 Gpa
	$E_{min}=$	3.00 Gpa	29996 kp/cm <sup>2</sup>
	$E_{max}=$	12.00 Gpa	119983 kp/cm <sup>2</sup>

**Tabla 29.** Evaluación de Resultados Capacidad portante del suelo de fundación sin tratamiento.

SECTOR	PPRS-01		PPRS-02		PPRS-03		PPRS-04		PPRS-05	
ESFUERZOS ACTUANTES	TENSIÓN EFECTIVA	CAPACIDAD ADMISIBLE	TENSIÓN EFECTIVA	CAPACIDAD ADMISIBLE	TENSIÓN EFECTIVA	CAPACIDAD ADMISIBLE	TENSIÓN EFECTIVA	CAPACIDAD ADMISIBLE	TENSIÓN EFECTIVA	CAPACIDAD ADMISIBLE
Mpa	0.003	0.362	0.006	0.369	0.047	1.356	0.219	2.394	0.001	1.197
Kg/cm <sup>2</sup>	0.028	3.745	0.061	3.763	0.482	13.828	2.23	24.415	0.007	12.211
Tn/m <sup>2</sup>	0.278	36.860	0.61	37.628	4.817	138.281	22.29 6	244.147	0.074	122.114
Material Cimentación	Suelo Residual Arcilloso		Roca Granito Fracturado y Alterado		Roca Granito Laminar y Alterado		Roca Granito		Roca Granito Fracturado y Alterado	
VERIFICACIÓN	<b>Capacidad Portante Aceptable</b>		<b>Capacidad Portante Aceptable</b>		<b>Capacidad Portante Aceptable</b>		<b>Capacidad Portante Aceptable</b>		<b>Capacidad Portante Aceptable</b>	

Fuente: Elaboración propia

## Diseño de la presa de tierra

### Características de la presa

Se diseñará una presa de tierra con núcleo impermeable de materiales arcillosos, con espaldones estabilizadores compuestos de capa semipermeable y bloques de roca con sus respectivos filtros y drenes para controlar la tubificación y servir de transición entre los dos tipos de materiales principales descritos anteriormente y una trinchera impermeable de forma trapezoidal debajo del núcleo de profundidad promedio de 3.00 m y ancho en la base de 12.00 m.

**Tabla 30.** Datos generales para el diseño de presa.

DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDAD
NIVEL DE AGUAS MÍNIMAS (NAMINO)	4231.900	m.s.n.m
NIVEL DE AGUAS MÁXIMAS ORDINARIAS (NAMO)	4268.900	m.s.n.m
NIVEL DE AGUAS MÁXIMAS EXTRA ORDINARIAS (NAME)	4269.500	m.s.n.m
NIVEL DE LA CORONA DE PRESA	4274.300	m.s.n.m
VOLUMEN MUERTO	0.600	MMC
VOLUMEN ÚTIL DE EMBALSE (VU)	25.000	MMC
VOLUMEN TOTAL DE LA PRESA	25.600	MMC
CAUDAL DE DESCARGA POR EL VERTEDOR	9.700	m3/s

Fuente: Elaboración propia

Lo que significa una altura útil de almacenamiento de 42.40 m., a la cual le corresponde un volumen útil de 25.00 millones de metros cúbicos. El volumen muerto o no utilizado es 0.60 millones de metros cúbicos y su correspondiente cota es nivel 4231.90 m.s.n.m. que no tiene un volumen considerable.

Otros niveles importantes son:

Nivel inferior de desplante del cuerpo de Presa : 4227.20 m.s.n.m.

Nivel inferior de la trinchera impermeable : 4224.20 m.s.n.m.

La altura total de la presa, medida desde el nivel de cimentación del cuerpo hasta la corona es de 47.10 m. con una longitud de la presa en la corona es de 157.79 metros.

## Dimensionamiento de la presa

### Ancho de coronación

Para fijar el ancho de la corona de la presa calculamos este concepto según diferentes criterios:

Según el US BUREAU OF RECLAMATION (en metros), cuya expresión en función a la altura de presa es la siguiente:

$$B = H/5 + 3$$

$$B = 4 . 1 /5 + 3$$

$$B = 1 . 4$$

Siendo:

B : Ancho de la corona, en metros

H : Altura máxima de presa en metros 47.10 m.

Según G. post y P-Londe cuya expresión también en función en altura es la siguiente:

$$B = 1.6 \sqrt{H}$$

$$B = 1.6 \sqrt{4.1}$$

$$B = 1.3$$

Siendo:

En donde H es la altura en metros 47.10 m.

Por razones constructivas y la necesidad de tener acceso a las estructuras de la presa, es recomendable que la corona tenga por lo menos 3.0m para presas menores a 15 metros. El ancho mínimo de la corona debe ser aquel con el que se obtenga una pendiente segura de filtración a través del terraplén, para poder bajar la carga hidráulica, cuando el vaso se encuentra lleno.

Considerando estos dos resultados podemos tomar un valor equivalente 11.87 mts. Se asumirá 12.00 mts. De corona de presa

Esta parte de la obra debe cubrirse con un material semejante al revestimiento usado en caminos ósea material de afirmado con el objeto de no solo de proporcionar una superficie de rodamiento transitable en todo tiempo, sino también proteger del secado del núcleo arcilloso. El espesor de dicha cubierta suele ser de unos 30 cm o mayor y, conviene proporcionarle un bombeo transversal, para facilitar el escurrimiento de lluvia al exterior.

### **Altura del borde libre**

El borde libre es la distancia vertical entre la corona del terraplén y la superficie de agua del vaso e un nivel máximo. En este concepto se incluyen la amplitud del oleaje generado por el viento  $H_v$ , altura de rodamiento de las olas sobre el talud aguas arriba,  $H_r$ , Asentamiento máximo de la corona  $H$  y margen de seguridad  $H_S$ , de modo que la función queda como sigue:

$$H = H + H + H + H$$

No se dispone actualmente de una expresión sencilla para determinar el efecto sísmico, por lo que usualmente se estima el borde libre con la amplitud máxima  $H_v$  de la ola producida por el viento. Se presenta la fórmula de Stevenson modificada, que permite evaluar la altura de la ola en función de la distancia  $f$  de la cortina, al punto más remoto del embalse y la velocidad del viento  $V$ , en la dirección  $f$ .

### Amplitud de oleaje generado por el viento

$$H_v = 0.32 * \sqrt{V * F} + 76 - 26.9 * \sqrt[4]{F} \text{ (cm)}$$

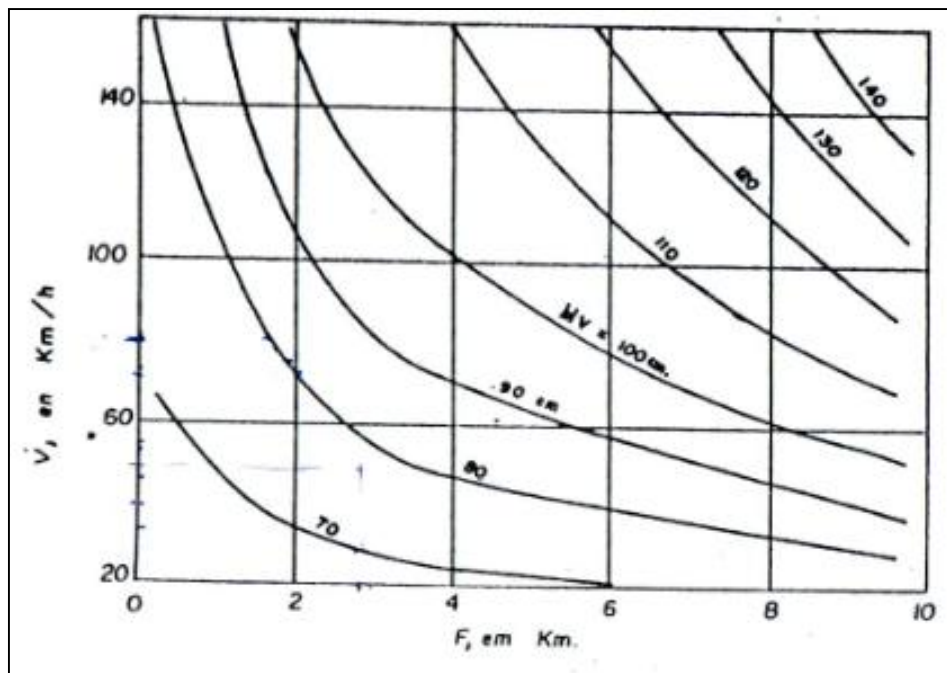
Dónde:

$F$  = Distancia de la cortina, al punto más remoto del embalse

$V$  = Velocidad del viento en la dirección  $F$

Reemplazando se tiene:

**Figura 50.** Altura del oleaje generado por el viento.



Fuente: tomado de Diseño de obras Hidrotécnicas , por Sandoval, 2018, EDIEPE.

Teniendo la velocidad del viento

$$V = 15.00 \text{ m/s} = 54.00 \text{ km/h}$$

$$F = 2.850 \text{ km} \rightarrow H_v = 45.00 \text{ cm}$$

### Altura de rodamiento (HR)

La altura de rodamiento de la ola  $H_r$  para taludes usuales en presas de tierra y enrocado (1.5:1 a 4:1), varia de  $0.33 H_v$  a  $H_v$  dependiendo principalmente de la rugosidad de la superficie de la presa, por tanto:

$$H_r = 0.33 H_v$$

$$H_r = 0.33 (45)$$

$$H_r = 14.85 \text{ cm}$$

### Asentamiento máximo de corona ( H )

El asentamiento máximo de la corona ( H ), es función de la compresibilidad de la propia masa y de la cimentación y la altura del terraplén según puede apreciar en la fórmula:

$$H = KH^2$$

El valor de K se puede obtener de la siguiente tabla

MATERIAL DE PRESA	CLASIFICACION SUCS	VALOR K (cm <sup>-1</sup> )
Arcillas y limos de alta compresibilidad	CH y MH	$0.40 \times 10^{-4}$
Arcillas y limos de baja compresibilidad	CL y ML	$0.25 \times 10^{-4}$
Arenas con limo y arcilla	SC	$0.20 \times 10^{-4}$
Arenas limosas y arenas con pocos finos	SP y SW	$0.12 \times 10^{-4}$
Mezcla e grava con arenas y finas	GC, GM y GP	$0.08 \times 10^{-4}$

H: Altura de la Presa.

La Altura de la presa es de 47.10 m y no se considera que la cimentación sufrirá deformaciones.

El núcleo de la presa está formado por un material ML.

$$H = (0.20 \times 10^{-4} \text{ 1/cm}) * (4710 \text{ cm})^2$$

$$H = 443.68$$

### Margen de seguridad (HS)

Finalmente, el margen de seguridad se recomienda que se tome igual al mayor de los correspondientes a: Un tercio de la diferencia entre el nivel de operación normal y el nivel de máxima avenida.

NAME 4269.50

NAMO 4268.90

Diferencia entre el NAME Y NAMO es igual a: 0.60m su un tercio es 0.20 m.

Altura de la ola = 0.20 m

TOMAREMOS EL MAYOR VALOR 0.200 m. equivalente a 20.00 cm.

Por tanto, el valor asumido como margen de seguridad (HS) de la presa es de 20.00 cm

Entonces reemplazando en la formula siguiente:

$$H = H + H + H + H$$

Se tiene que:  $H_{bl} = (45+14.85+443.68+20.00)$  cm

El borde libre calculado será de  $H_{bl} = 523.53$  cm  $520.00$  cm = 5.20 mts

### **Enrocado de protección**

#### **Espesor del enrocado:**

El espesor mínimo de la capa de protección puede ser calculado por la siguiente expresión:

$$e = c v^2$$

En donde:

e= espesor mínimo de la capa de protección en m.

v= velocidad de las olas en m/seg.

$$V = 1.50 + 2H$$

H= altura de la ola de diseño en m. (H=0.38 m.)

C= coeficiente de acuerdo a la inclinación del talud y el peso específico de material (para z=2 a z=3; c=0.028).

Luego e = 40

Aplicando la formula sucesivamente con valores de W50 iguales a 125 y 10 kg, así como  $\rho=2600 \text{ kg/m}^3$  resulta:

$D_{\max}=0.78 \text{ m}$ . tomaremos como valor 0.80 m. aguas arriba de la presa

$D_{\min}=0.30 \text{ m}$ . y en aguas abajo tomaremos 0.40 m. de enrocado.

Por lo expuesto, el espesor de la capa de protección (rip rap) será como mínimo de 0.80 a 1.00 m. constituido por rocas con un peso promedio de 80 kg y como máximo de 125 kg. A ellos les corresponde diámetros equivalentes de 0.40, 0.50, 0.80 metros como máximo.

### Calculo del asentamiento en la cimentación de la presa

Cálculo de asientos schleicher (1926)

Carga admisible (q):	24.415	kg/cm <sup>2</sup>	24.415	kg/cm <sup>2</sup>
Módulo de Young (E):	90000	kg/cm <sup>2</sup>	90000	kg/cm <sup>2</sup>
Coefficiente de Poisson (v):	0.18		0.18	
Ancho cimentación (b):	1	m	100	cm
Largo cimentación (l):	6.5	m	650	cm
m:			6.5	
Ip:			1.14	
Factor de Seguridad:	1.2		1.2	

- Esquina:

$$s = q \cdot b \cdot \frac{1 - \nu^2}{E} \cdot I_p$$

- Centro:

$$s = 2 \cdot q \cdot b \cdot \frac{1 - \nu^2}{E} \cdot I_p$$

- Valor medio:

$$s = s(c) \cdot 0.848$$

- Carga rígida

$$s = 93\% \cdot s(v, m)$$

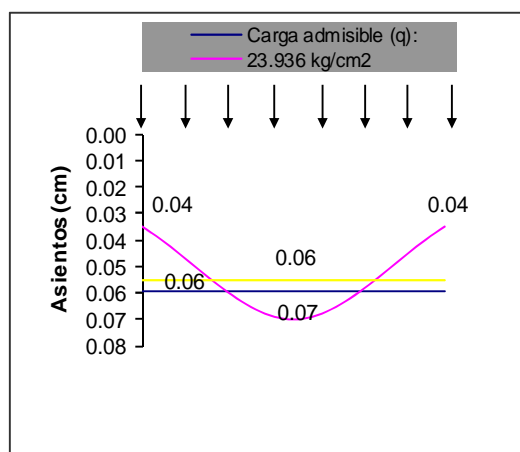
**Tabla 31.** Asentamiento en la cimentación de la presa sin tratamiento.

Asientos Carga rígida	Asientos Carga flexible		
	Esquina	Centro	Valor medio
(cm)	(cm)	(cm)	(cm)
0.06	0.04	0.07	0.06

Fuente: Elaboración propia



**Figura 51.** Gráfico de asentamiento en la cimentación de la presa.



Fuente: Elaboración propia

<b>Carga admisible (q):</b>	<b>24.415</b>	<b>kg/cm2</b>	<b>24.415</b>	<b>kg/cm2</b>
<b>Módulo de Young (E):</b>	<b>160000</b>	<b>kg/cm2</b>	<b>160000</b>	<b>kg/cm2</b>
<b>Coefficiente de Poisson (ν):</b>	<b>0.18</b>		<b>0.18</b>	
<b>Ancho cimentación (b):</b>	<b>1</b>	<b>m</b>	<b>100</b>	<b>cm</b>
<b>Largo cimentación (l):</b>	<b>6.5</b>	<b>m</b>	<b>650</b>	<b>cm</b>
<b>m:</b>			<b>6.5</b>	
<b>lp:</b>			<b>1.14</b>	
<b>Factor de Seguridad:</b>	<b>1.205</b>		<b>1.205</b>	

**Tabla 32.** Asentamiento en la cimentación de la presa con tratamiento.

ASIENTOS CARGA RÍGIDA (CM)	ASIENTOS CARGA FLEXIBLE		
	ESQUINA (CM)	CENTRO (CM)	VALOR MEDIO (CM)
0.04	0.02	0.05	0.04

Fuente: Elaboración propia

Para el cálculo del asentamiento que se producirá en la cimentación de la presa se consideraron las siguientes premisas:

- El material donde se fundará la presa está constituido en su mayoría por material rocoso fracturado.
- Se realizó el presente análisis considerando la carga admisible del punto PPRS-04, debido a que este sector es el más crítico, donde la cimentación tendrá que soportar las mayores tensiones del cuerpo de la presa y consecuentemente deformaciones, las mismas que irán disminuyendo a lo largo de la sección de la presa.

## Determinación de la permeabilidad de la cimentación en presa

### Ensayo de permeabilidad tipo LEFRANC

**Tabla 33.** Ensayo de permeabilidad Lefranc en PPRS-01.

Nº ENSAYO	TRAMO		K (cm/seg)	Nivel	ROCA
	DE	A			
LF-01	0.00	3.00	2.29E-05	Constante	Arena limosa
LF-02	3.00	6.00	1.19E-05	Variable	Arena limosa
LF-03	6.00	9.00	4.51E-05	Constante	Arena limosa
LF-04	9.00	12.00	1.08E-05	Constante	Arena arcillosa
LF-05	12.00	15.00	5.34E-05	Constante	Arenq arcillosa
LF-06	15.00	18.00	2.94E-05	Constante	Limo con arena
LF-07	18.00	21.00	1.84E-05	Constante	Limo con arena
LF-08	21.00	24.00	1.60E-05	Constante	Arenisca Arcillosa
LF-09	24.00	27.00	2.74E-05	Constante	Arenisca Lutacea
LF-10	27.00	30.00	9.79E-05	Constante	Arenisca Lutacea
LF-11	30.00	33.00	9.77E-05	Constante	Arenisca Lutacea
LF-12	33.00	36.00	7.59E-05	Constante	Arenisca Lutacea
LF-13	36.00	39.00	2.74E-05	Constante	Arenisca Lutacea
LF-14	39.00	45.00	9.79E-05	Constante	Arenisca lutacea/yeso
LF-15	45.00	50.00	9.77E-05	Constante	Yeso/Caliza lutacea

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 34.** Ensayo de permeabilidad Lefranc en PPRS-02

Nº ENSAYO	TRAMO		K (cm/seg)	Nivel	ROCA
	DE	A			
LF-01	2.00	5.00	1.56E-04	Constante	Granito residual
LF-02	5.00	8.00	4.48E-05	Constante	Granito muy fracturado
LF-03	8.00	11.00	2.52E-05	Constante	Granito muy fracturado
LF-04	15.00	20.00	1.12E-05	Constante	Granito muy fracturado
LF-05	20.00	25.00	9.84E-07	Variable	Arenisca Arcillosa
LF-06	25.00	30.00	7.63E-06	Constante	Arenisca Arcillosa
LF-07	30.00	35.00	5.94E-06	Constante	Arenisca Arcillosa

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 35.** Ensayo de permeabilidad Lefranc en PPRS-03

Nº ENSAYO	TRAMO		K (cm/seg)	Nivel	ROCA
	DE	A			
LF-01	0.00	5.00	2.81E-06	Constante	Granito residual

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 36.** Ensayo de permeabilidad Lefranc en PPRS-04

Nº ENSAYO	TRAMO		K (cm/seg)	Nivel	ROCA
	DE	A			
LF-01	0.00	5.00	9.36E-04	Constante	Granito fracturado

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 37.** Ensayo de permeabilidad Lefranc en PPRS-05

Nº ENSAYO	TRAMO		K (cm/seg)	Nivel	ROCA
	DE	A			
LF-01	0.00	5.00	8.74E-05	Constante	Granito muy fracturado

Fuente: Elaboración propia.

## Ensayo de permeabilidad tipo LUGEON

**Tabla 38.** Ensayo de permeabilidad Lugeon en PPRS-01

Nº ENSAYO	TRAMO		UNIDAD	K (cm/seg)	TIPO FLUJO	ROCA
	DE	A	LUGEON			
LUG-01	50.00	55.50	0.12	1.59E-06	Turbulento	yeso/caliza lutacea

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 39.** Ensayo de permeabilidad Lugeon en PPRS-02

Nº ENSAYO	TRAMO		UNIDAD	K (cm/seg)	TIPO FLUJO	ROCA
	DE	A	LUGEON			
LUG-01	11.00	15.00	3.08	4.00E-05	Turbulento	Granito

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 40.** Ensayo de permeabilidad Lugeon en PPRS-03

Nº ENSAYO	TRAMO		UNIDAD	K (cm/seg)	TIPO FLUJO	ROCA
	DE	A	LUGEON			
LUG-01	5.00	10.00	7.07	9.19E-05	Laminar	Granito
LUG-02	10.00	15.00	34.49	4.48E-04	Dilatación	Granito
LUG-03	15.00	20.00	40.70	5.29E-04	Erosión	Granito

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 41.** Ensayo de permeabilidad Lugeon en PPRS-04

Nº ENSAYO	TRAMO		UNIDAD LUGEON	K (cm/seg)	TIPO FLUJO	ROCA
	DE	A				
LUG-01	5.00	10.00	2.00	2.60E-05	Dilatación	Granito
LUG-02	10.00	15.00	0.98	1.28E-05	Dilatación	Granito
LUG-03	15.00	20.00	4.22	5.48E-05	Dilatación	Granito
LUG-04	20.00	25.00	2.59	3.37E-05	Turbulento	Granito
LUG-05	25.00	30.00	6.07	7.89E-05	Relleno	Granito
LUG-06	30.00	35.00	5.55	7.21E-05	Relleno	Granito
LUG-07	35.00	40.00	1.27	1.65E-05	Relleno	Granito

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 42.** Ensayo de permeabilidad Lugeon en PPRS-05

Nº ENSAYO	TRAMO		UNIDAD LUGEON	K (cm/seg)	TIPO FLUJO	ROCA
	DE	A				
LUG-01	5.00	10.00	11.15	1.45E-04	Turbulento	Granito
LUG-02	10.00	15.00	6.53	8.49E-05	Turbulento	Granito
LUG-03	15.00	20.00	2.58	3.36E-05	Turbulento	Granito
LUG-04	20.00	25.00	5.66	7.36E-05	Laminar	Granito
LUG-05	25.00	30.00	3.87	5.03E-05	Relleno	Granito
LUG-06	30.00	40.00	1.82	2.37E-05	Laminar	Granito
LUG-07	40.00	50.00	1.23	1.60E-05	Erosión	Granito

Fuente: Elaboración propia.

Según las pruebas de agua realizadas, se concluye que la cimentación de la presa diseñada en el área de estudio puede ser considerada en su mayoría como una cimentación semi impermeable, debiéndose tener en cuenta que existen sectores en los cuales se registraron consumos elevados en relación al resto de los sectores de la cimentación:

**Tabla 43.** Puntos críticos de los ensayos de permeabilidad.

PERFORACIÓN	ENSAYO	PROFUNDIDAD (m)		K (cm/seg)
		DE	A	
PPRS-02	LF-01	2.00	5.00	1.56E-04

PPRS-03	LUG-02	10.00	15.00	4.48E-04
	LUG-03	15.00	20.00	5.29E-04
PPRS-05	LUG-01	5.00	10.00	1.45E-04

Fuente: Elaboración propia.

La condición de semi impermeabilidad de la cimentación de la presa obedece a la presencia de depósitos de arenisca arcillosa apoyados sobre material rocoso alterado y fracturado en la margen izquierda y pequeñas coberturas de material rocoso alterado.

Los consumos de agua disminuyen y las condiciones de impermeabilidad aumentan a medida que se profundiza en el basamento rocoso Granito.

La presión hidráulica sobre la cimentación aumentara debido a la carga hidráulica del embalse con lo cual las pérdidas de agua irán en aumento proporcionalmente.

### Modelamiento de la presa de tierra con el programa GeoStudio

**Tabla 44.** Parámetros de cálculo de la presa.

PROPIEDADES DE LOS SUELOS	DENSIDAD SECA	ANGULO DE FRICCIÓN	COHESIÓN
	KN/m <sup>3</sup>	°	KN/m <sup>2</sup> =KPa
NÚCLEO	19.26	26.40	11.88
MAT. SEMIPERMEABLE	20.40	29.40	14.88
CAMA DE ENROCADO	21.66	32.60	0
AFIRMADO	20.18	29.10	11.68
DREN	19.188	33.80	0
CIMENTACIÓN EN ROCA	26.22	32.40	210.11
FILTRO	19.88	32.68	0
INYECCIÓN DE CEMENTO	23.11	34.10	1.52
ENROCADO AGUAS ABAJO Y ARRIBA	23.88	32.10	119.40

Fuente: Elaboración propia.

Se ha analizado la estabilidad en condición estática y bajo efecto sísmico, este último en forma pseudoestática, es decir que la sollicitación por sismo con una aceleración horizontal  $a= 0.169$  g, que se ha transformado en una fuerza estática

equivalente proporcional al peso de la masa deslizante, actuando uniformemente en toda la altura de la presa.

Los estados críticos analizados, fueron:

- Fin de la construcción con sismo y sin sismo
- Desembalse rápido con sismo y sin sismo
- Presa Llena con flujo establecido con sismo y sin sismo

### **En el estado Fin de Construcción**

Las presiones de poro aumentan en las capas inferiores debido a la compresión que sufren por el incremento del peso al colocarse las capas superiores. En el análisis de estabilidad se ha asumido que las presiones intersticiales aún no se han disipado y el cálculo se ha hecho en términos de esfuerzos totales.

### **En el estado desembalse rápido**

El desembalse rápido ocurre cuando, estando en la condición de flujo establecido sobreviene un descenso rápido del nivel de embalse, quedando el talud de aguas arriba sometido en fuerzas que inducen a la inestabilidad por la desaparición del empuje de agua debido a las presiones intersticiales no disipadas. Se estima que para que ocurra la situación de desembalse rápido la velocidad de descenso debe ser mayor a 15 cm. Por día después de un periodo largo de almacenamiento. En el caso de la Presa calculada, por las dimensiones del espejo de agua la velocidad de descenso es menor, 2 a 5 cms por día aproximadamente, sin embargo, aunque la posibilidad sea muy remota se ha realizado el análisis para esta condición. Esta condición puede analizarse utilizando métodos de esfuerzos totales.

### **En el estado de Presa Llena**

En la del flujo se ha establecido, las presiones de poro en el cuerpo de la presa por debajo de la línea superior alcanzan sus máximos valores. Esta hipótesis es la más desfavorable respecto a la estabilidad en el talud de aguas abajo y el análisis se ha realizado considerando los esfuerzos efectivos

En el siguiente cuadro se muestra los factores de seguridad obtenidos para la presa con talud aguas arriba 2.50:1 y talud aguas abajo 2.00:1

**Tabla 45.** Factores de seguridad obtenidos en el análisis Sin tratamiento y Con tratamiento.

ESTADO	DESCRIPCIÓN	SIN TRATAMIENTO			CON TRATAMIENTO			Criterio de Diseño	
		Metodología			Metodología			USACE	USBR
		Bishop	Janbu	Spencer	Bishop	Janbu	Spencer		
Fin de Construcción	Aguas Arriba	1.13	1.066	1.135	1.665	1.549	1.664	1.3	1.3
	Aguas Arriba con Sismo	1.113	1.05	1.119	1.161	1.071	1.167	1	1
	Aguas Abajo	2.480	1.973	2.229	2.485	1.999	2.232	1.3	1.3
	Aguas abajo con Sismo	1.646	1.428	1.656	1.616	1.453	1.662	1	1
Desembalse rápido	Aguas arriba	1.823	1.726	1.824	1.879	1.755	1.88		
	Aguas arriba con Sismo	1.016	0.954	1.024	1.044	0.994	1.044		
	Aguas abajo	1.856	1.660	1.865	1.864	1.66	1.875		
	Aguas abajo con sismo	1.336	1.200	1.355	1.329	1.205	1.337		
Embalse Totalmente Lleno	Aguas Arriba	1.709	1.664	1.710	2.325	2.12	2.321	-	1.3
	Aguas Arriba con Sismo	1.549	1.499	1.552	1.672	1.547	1.671	1	1
	Aguas Abajo	1.856	1.679	1.866	1.889	1.73	1.9	1.3	1.3
	Aguas abajo con Sismo	1.338	1.193	1.357	1.345	1.21	1.367	1	1

Fuente: Elaboración propia.

Las Normas comúnmente empleadas en el Perú son las del US Army Corps of Engineers y las de España (en este caso los señalados a alcanzar) que fijan los siguientes coeficientes mínimos admisibles para los estados analizados, estos son:

**Tabla 46.** factores de seguridad recomendados.

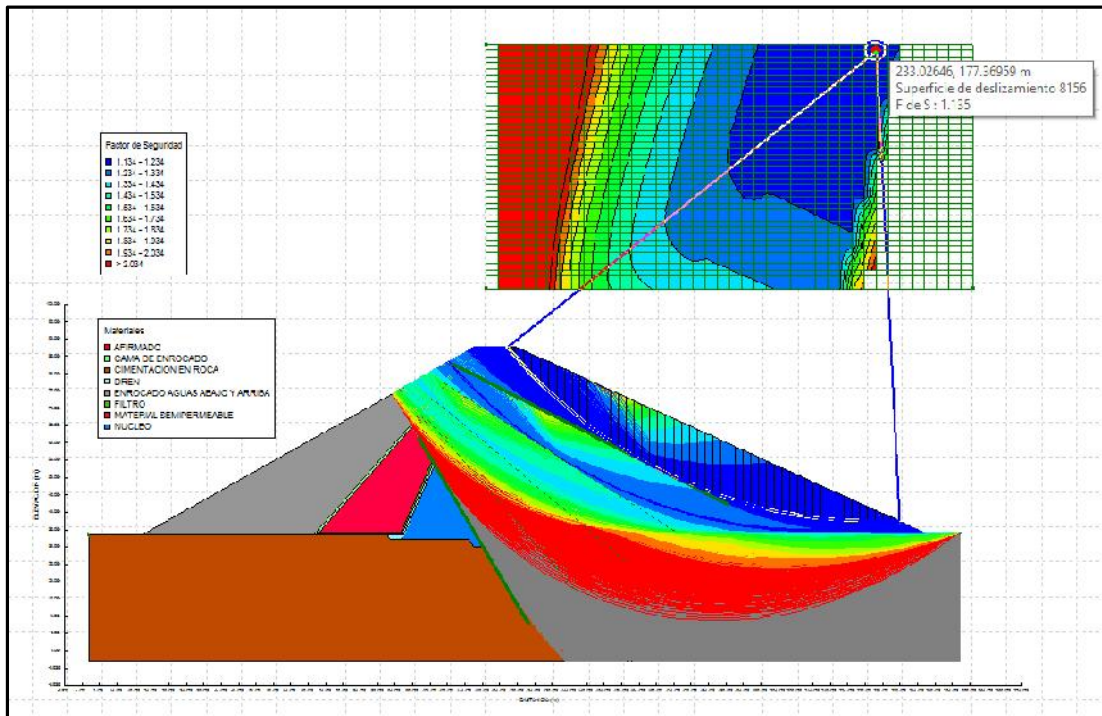
CONDICIÓN	SIN EFECTO SÍSMICO		CON EFECTO SÍSMICO	
	US Army	N. de España	US Army	N. de España
FIN DE CONSTRUCCIÓN	1.3	1.2	1	1
PRESA LLENA	1.5	1.4	1	1.3
DESEMBALSE RÁPIDO	1	1.3	---	1

Fuente: US Army N. de España

A continuación, se visualizará el resultado de los cálculos y los gráficos correspondientes al análisis realizado sin tratamiento y con tratamiento en los diferentes estados críticos:

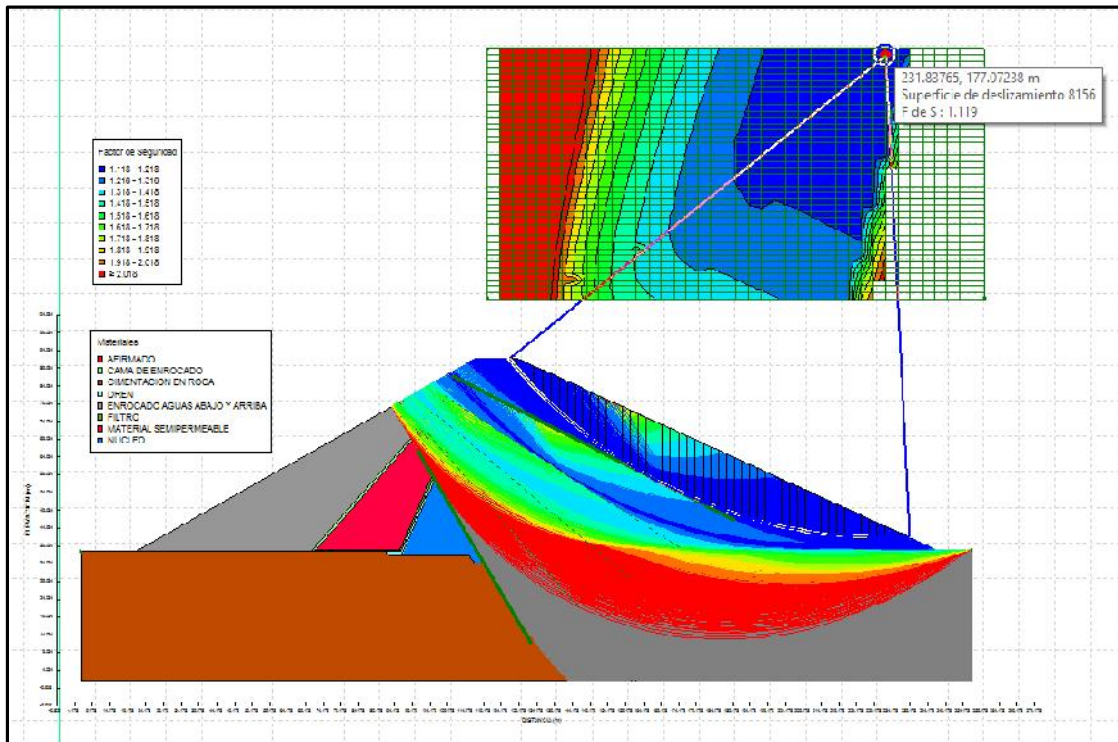
## Análisis de talud fin de construcción sin tratamiento aguas arriba

**Figura 52.** Análisis fin de la construcción sin tratamiento aguas arriba - sin sismo.



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 53.** Análisis fin de la construcción sin tratamiento aguas arriba - con sismo.

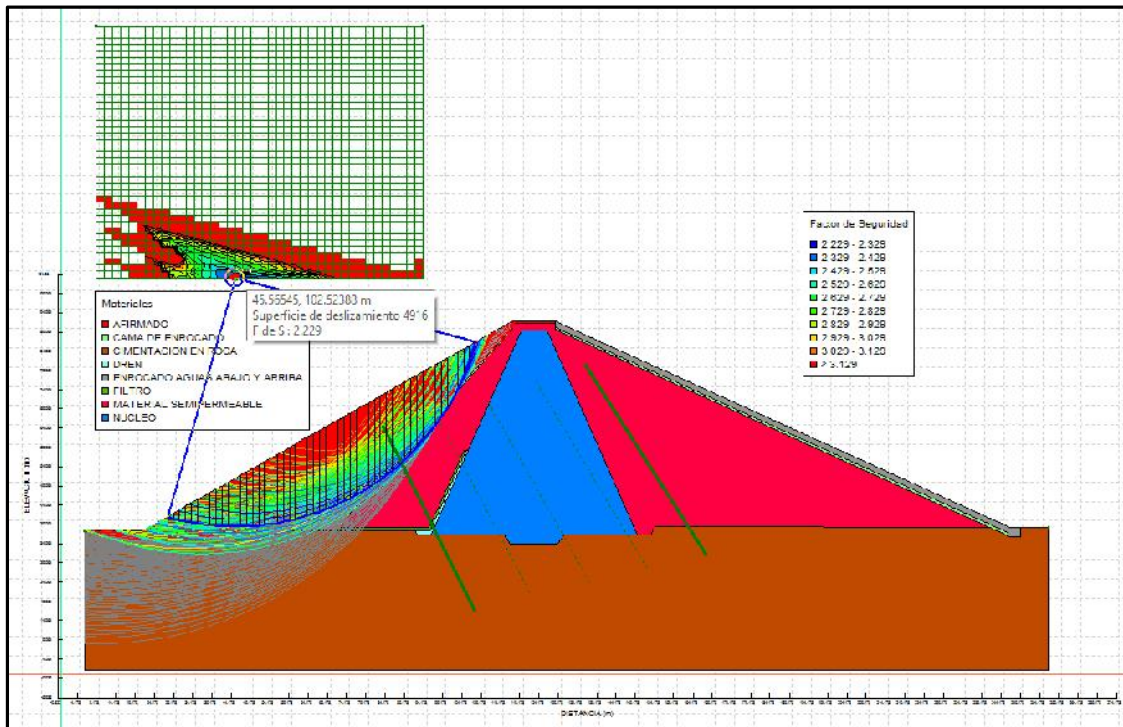


Fuente: Elaboración propia.



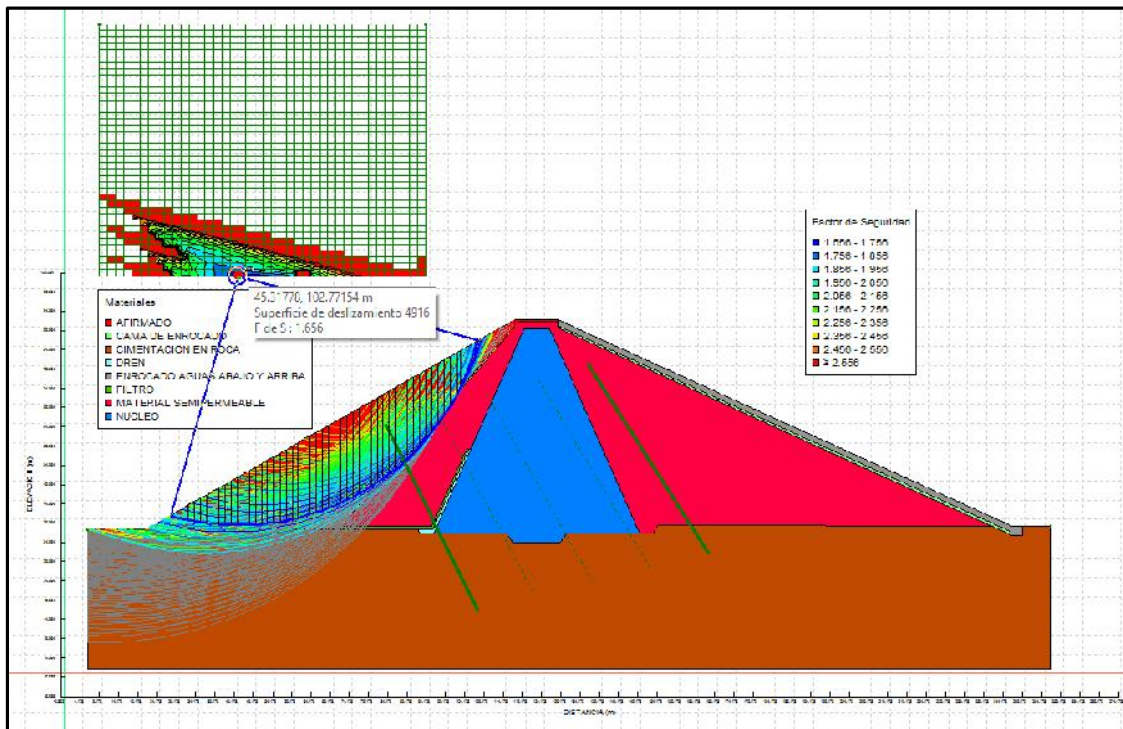
# Análisis de talud fin de construcción sin tratamiento aguas abajo

Figura 54. Análisis fin de la construcción sin tratamiento aguas abajo - sin sismo



Fuente: Elaboración propia.

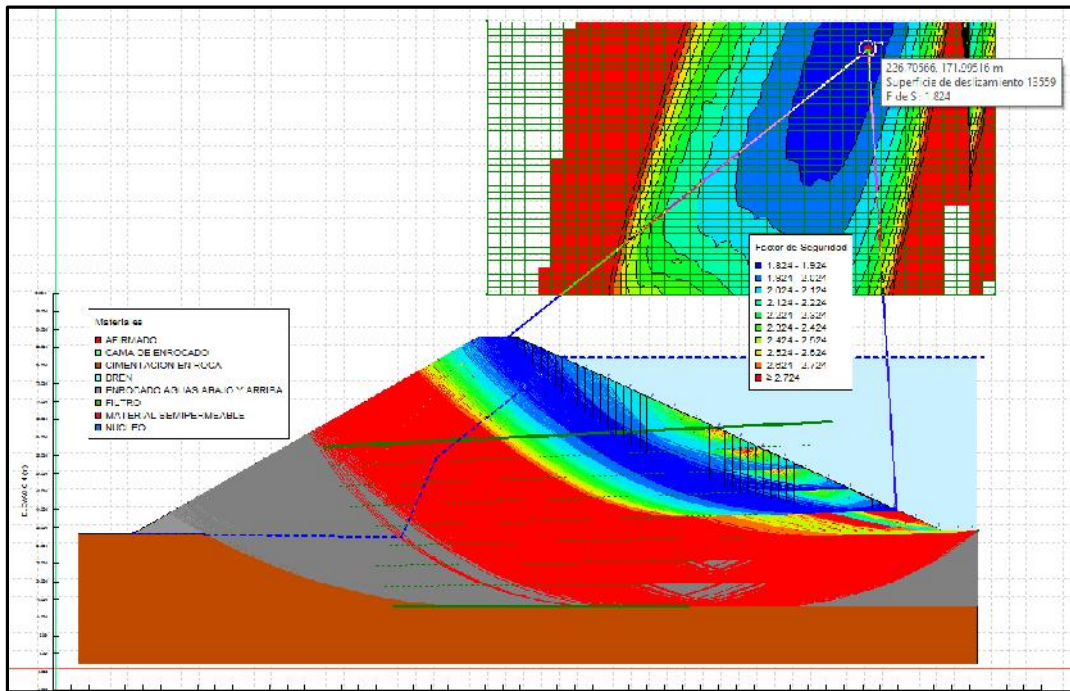
Figura 55. Análisis fin de la construcción sin tratamiento aguas abajo - con sismo.



Fuente: Elaboración propia.

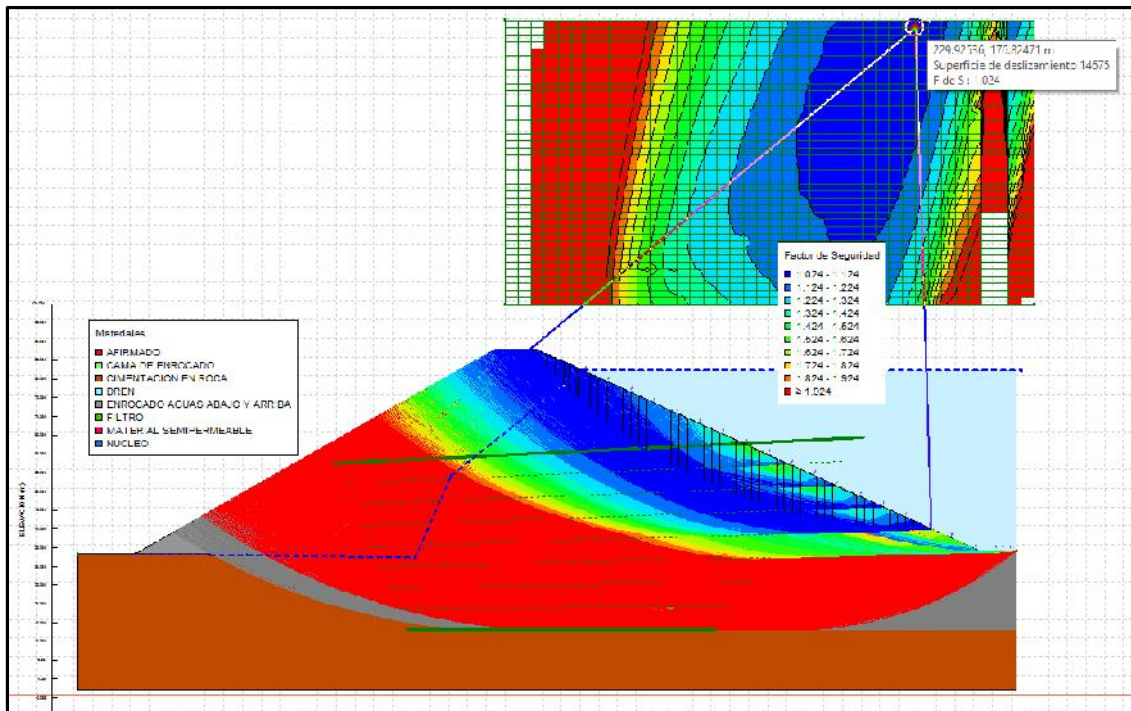
## Análisis de talud desembalse rápido en la presa sin tratamiento

Figura 56. Análisis desembalse rápido sin tratamiento aguas arriba - sin sismo.



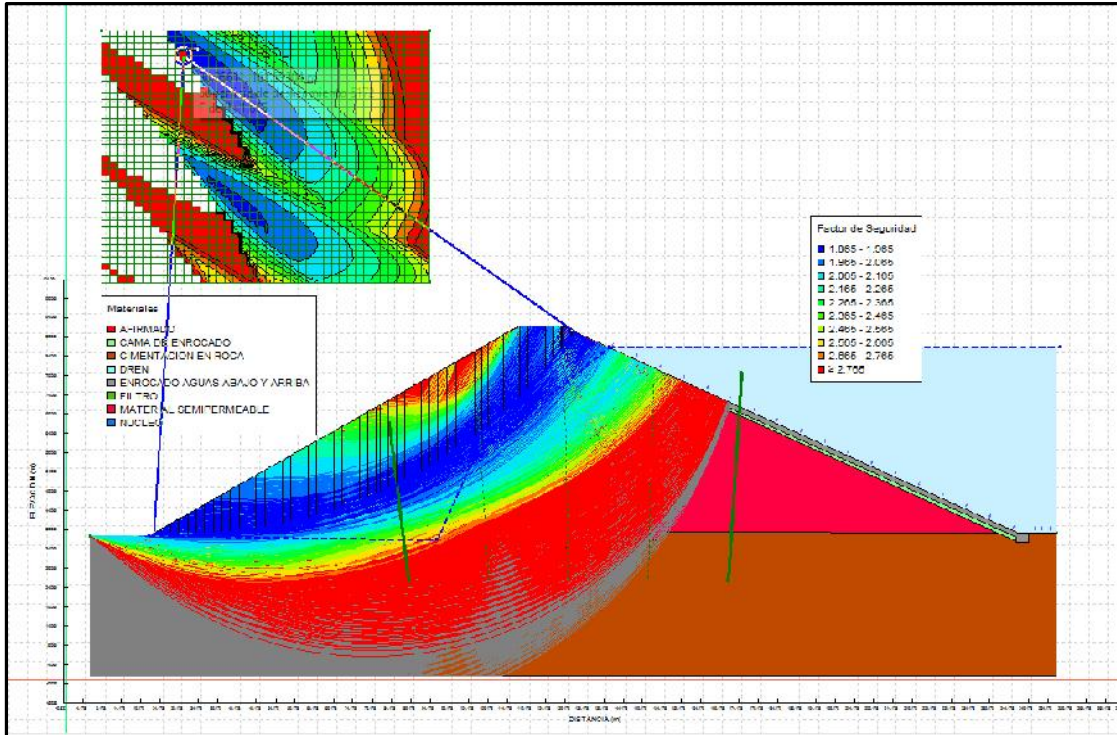
Fuente: Elaboración propia.

Figura 57. Análisis desembalse rápido sin tratamiento aguas arriba - con sismo.



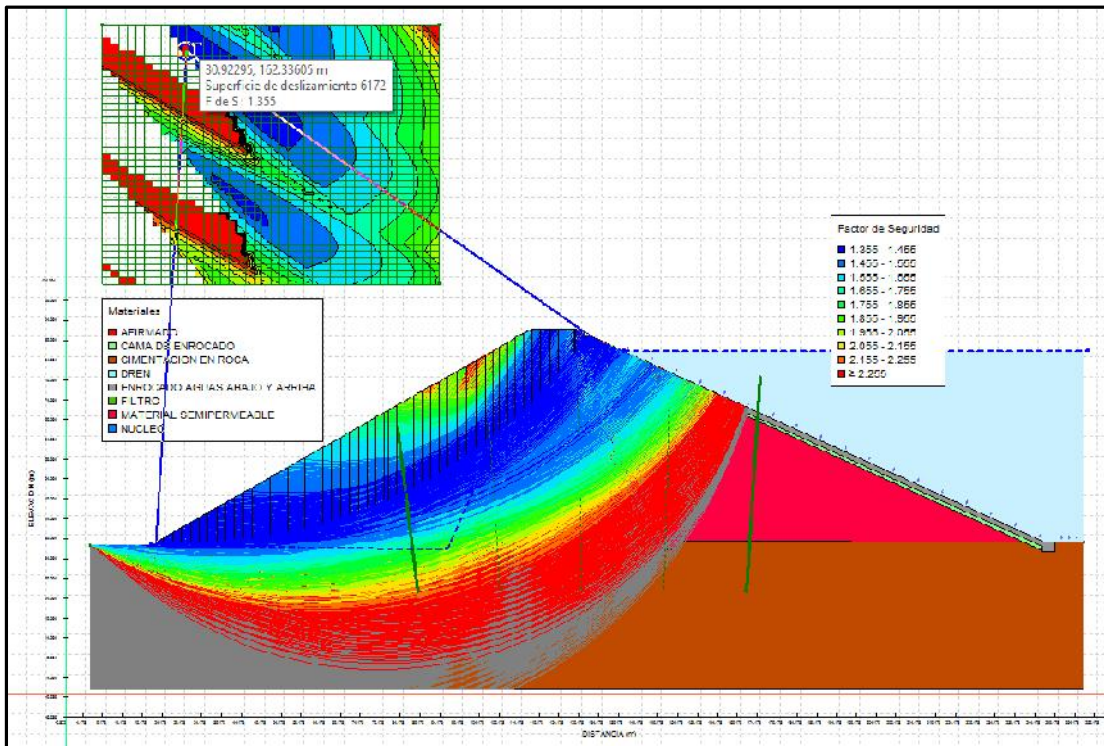
Fuente: Elaboración propia.

**Figura 58.** Análisis desembalse rápido sin tratamiento aguas abajo - sin sismo.



Fuente: Elaboración propia.

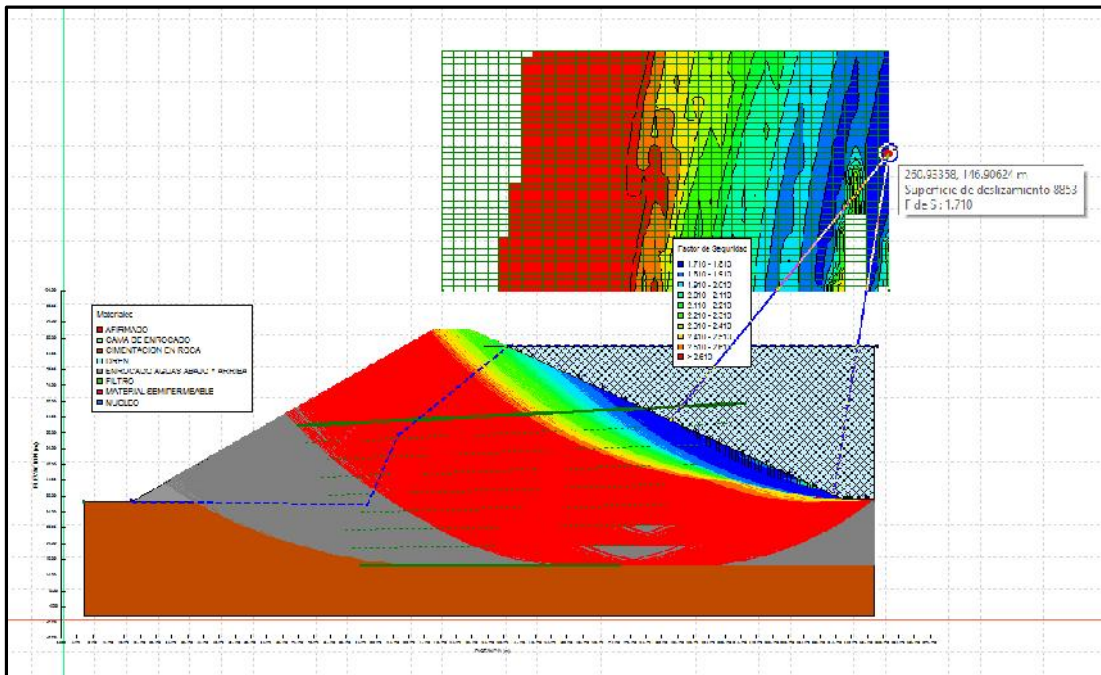
**Figura 59.** Análisis desembalse rápido sin tratamiento aguas abajo - con sismo.



Fuente: Elaboración propia.

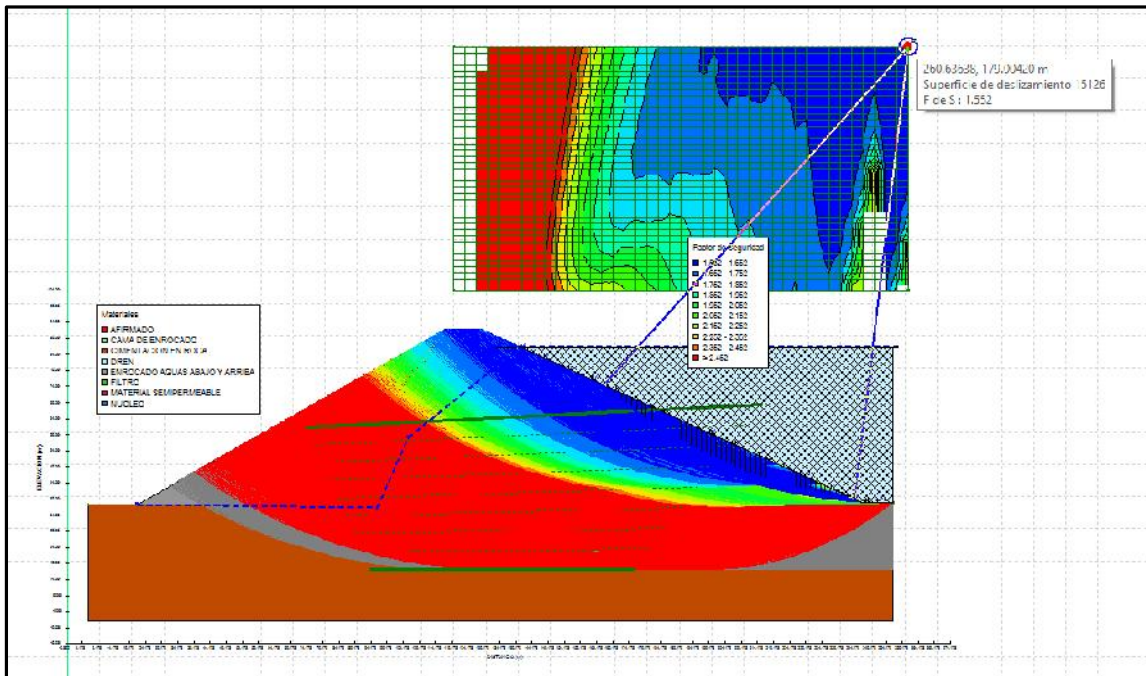
## Análisis de talud embalse totalmente lleno sin tratamiento

Figura 60. Análisis embalse totalmente lleno sin tratamiento aguas arriba - sin sismo



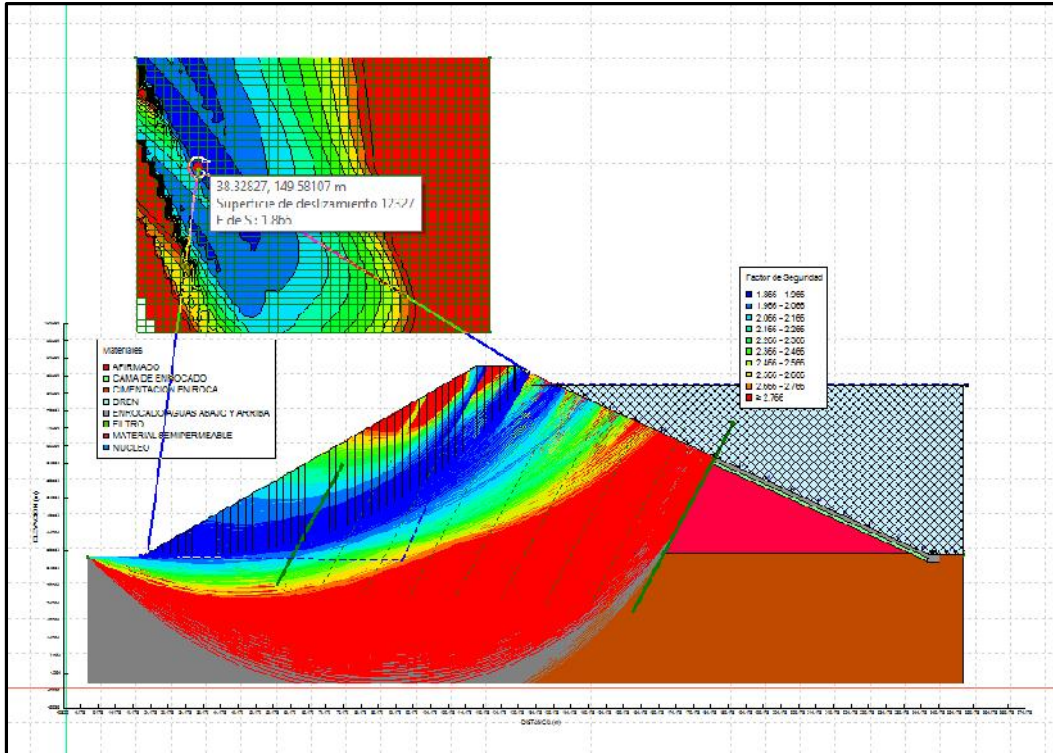
Fuente: Elaboración propia.

Figura 61. Análisis embalse totalmente lleno sin tratamiento aguas arriba - con sismo.



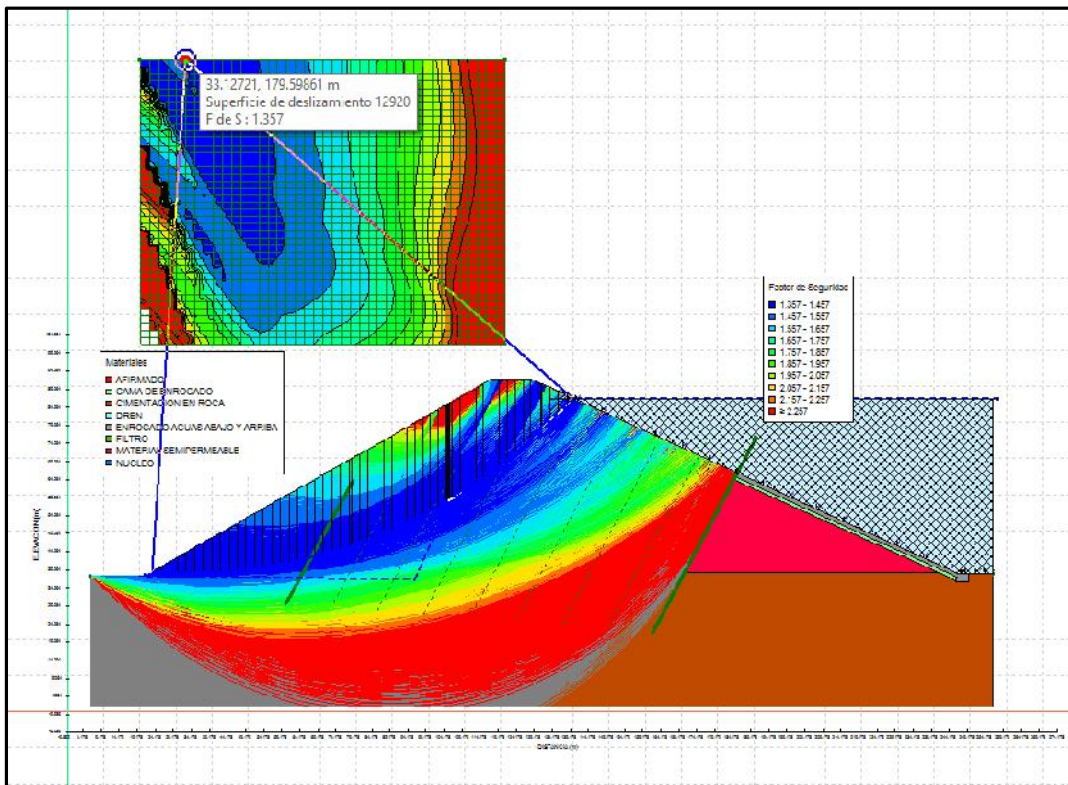
Fuente: Elaboración propia.

**Figura 62.** Análisis embalse totalmente lleno sin tratamiento aguas abajo - sin sismo.



Fuente: Elaboración propia.

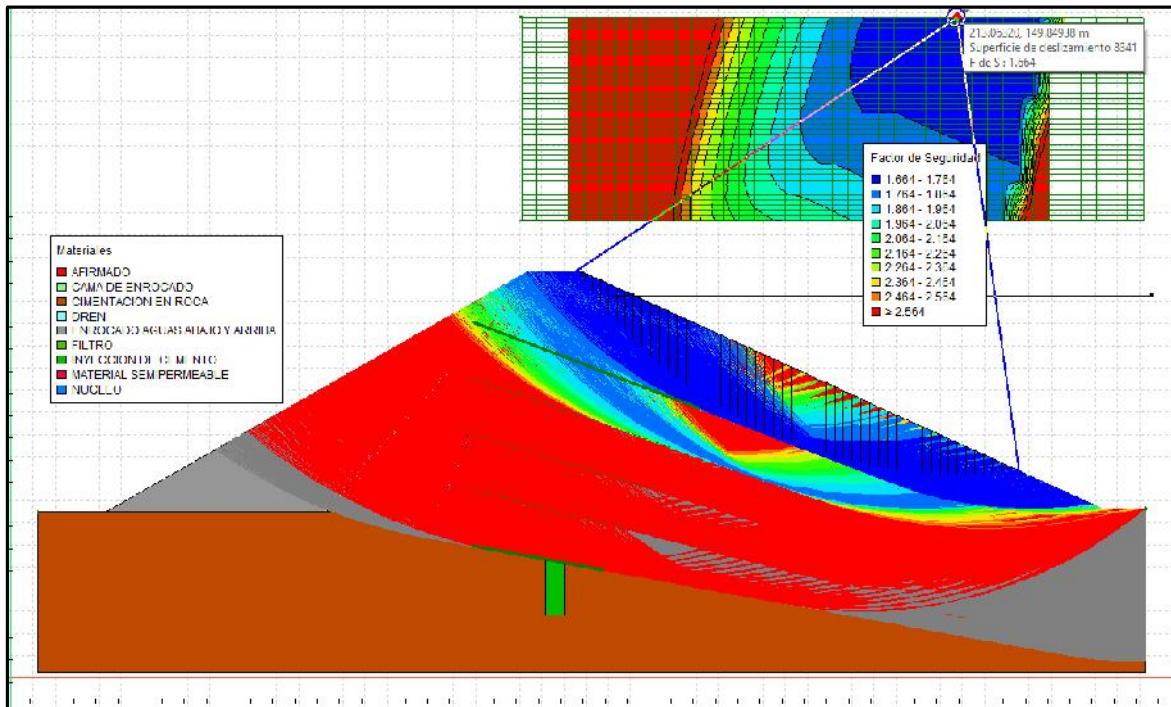
**Figura 63.** Análisis embalse totalmente lleno sin tratamiento aguas abajo - con sismo.



Fuente: Elaboración propia.

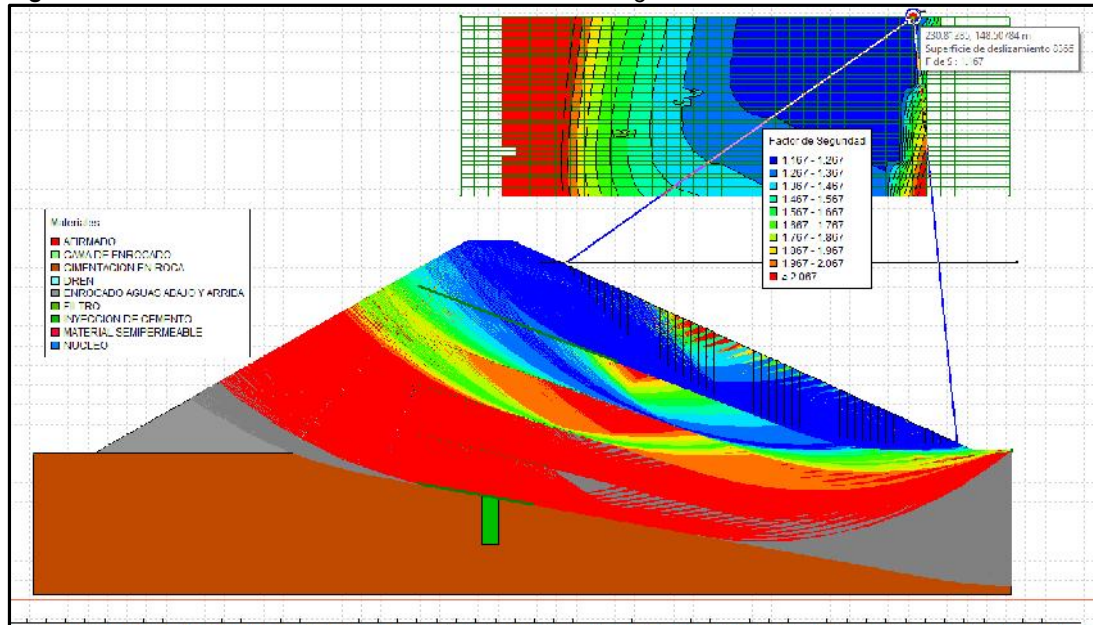
## Análisis de talud fin de construcción con tratamiento aguas arriba

Figura 64. Análisis fin de la construcción con tratamiento aguas arriba - sin sismo.



Fuente: Elaboración propia.

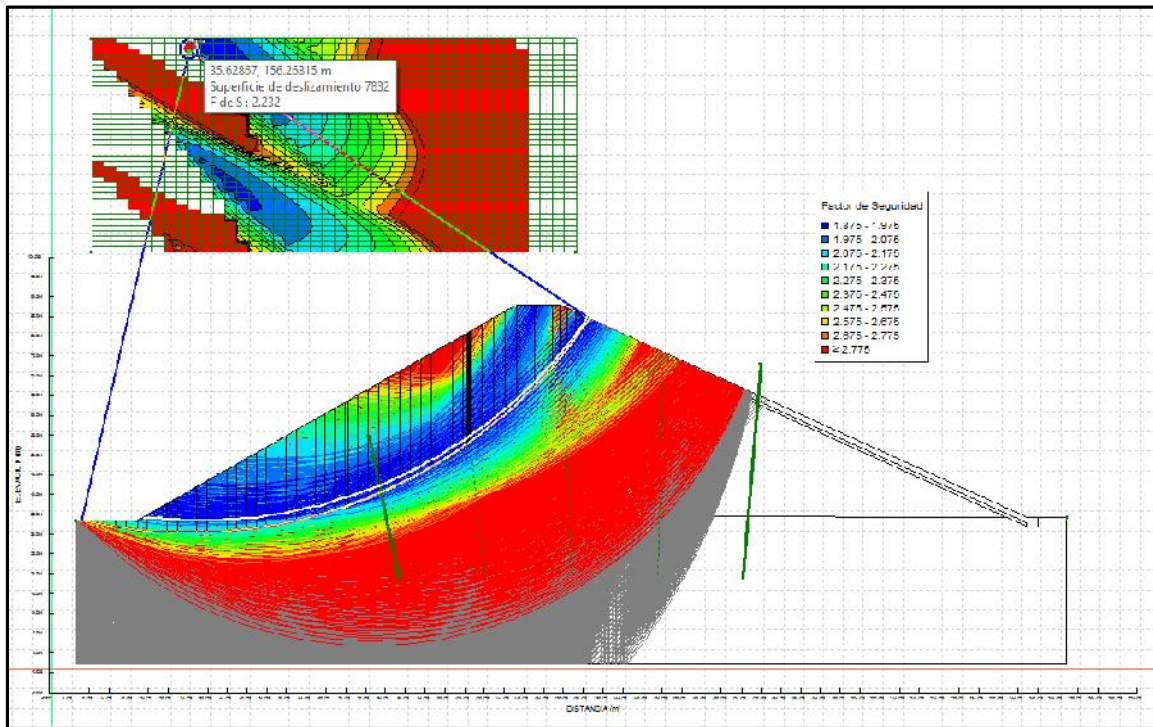
Figura 65. Análisis fin de la construcción con tratamiento aguas arriba - con sismo.



Fuente: Elaboración propia.

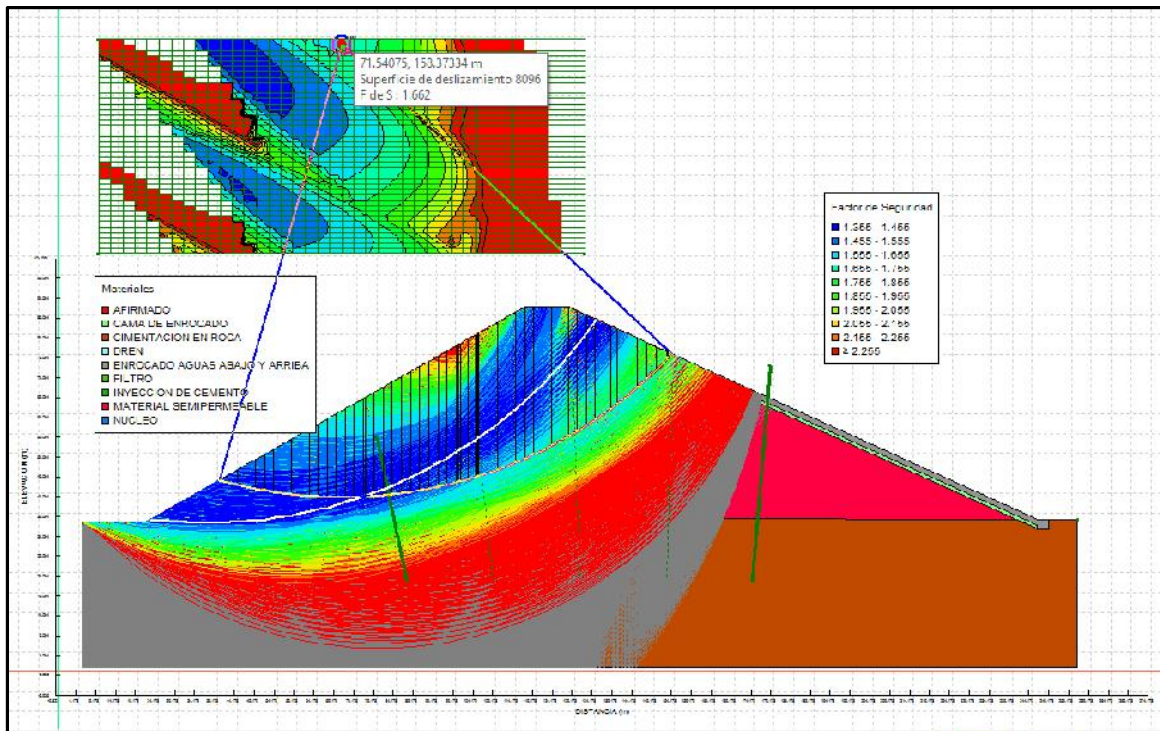
## Análisis de talud fin de construcción con tratamiento aguas abajo

Figura 66. Análisis fin de la construcción con tratamiento aguas abajo - sin sismo.



Fuente: Elaboración propia.

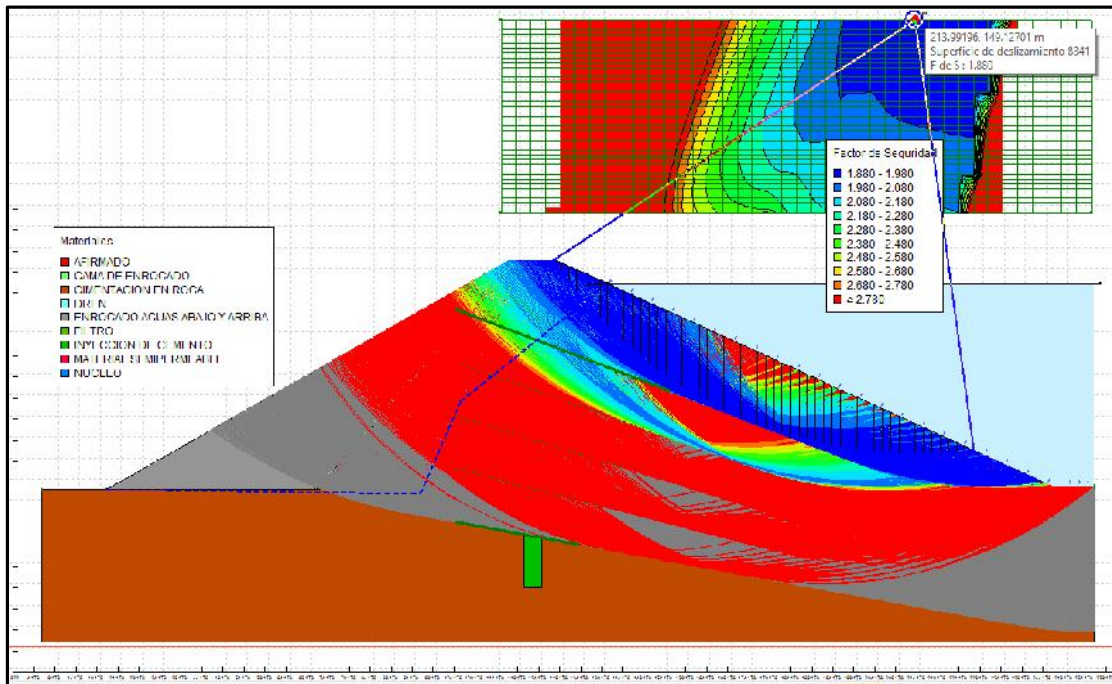
Figura 67. Análisis fin de la construcción con tratamiento aguas abajo - con sismo.



Fuente: Elaboración propia.

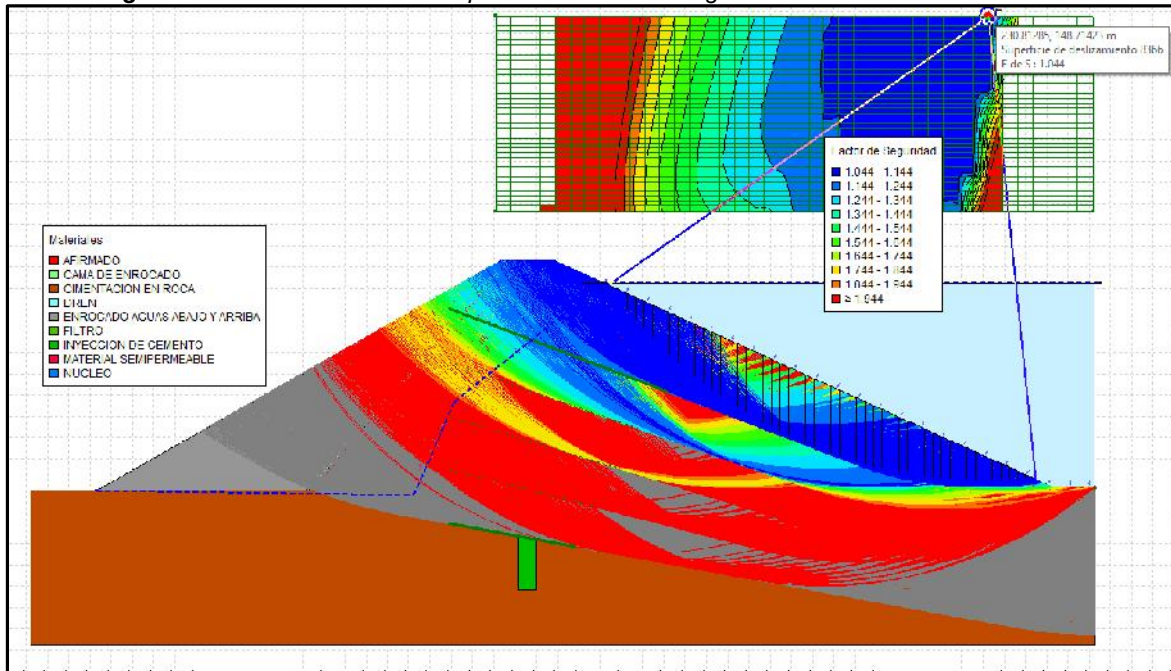
## Análisis de talud desembalse rápido con tratamiento.

Figura 68. Análisis desembalse rápido con tratamiento aguas arriba - sin sismo.



Fuente: Elaboración propia.

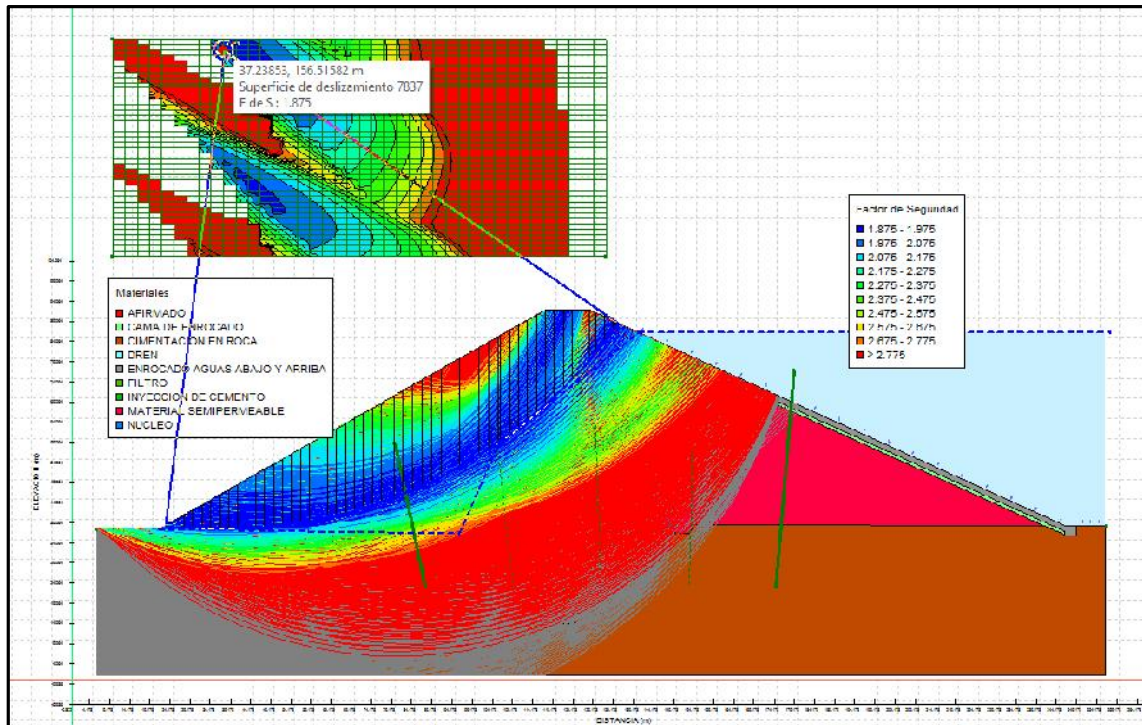
Figura 69. Análisis desembalse rápido con tratamiento aguas arriba - con sismo.



Fuente: Elaboración propia.

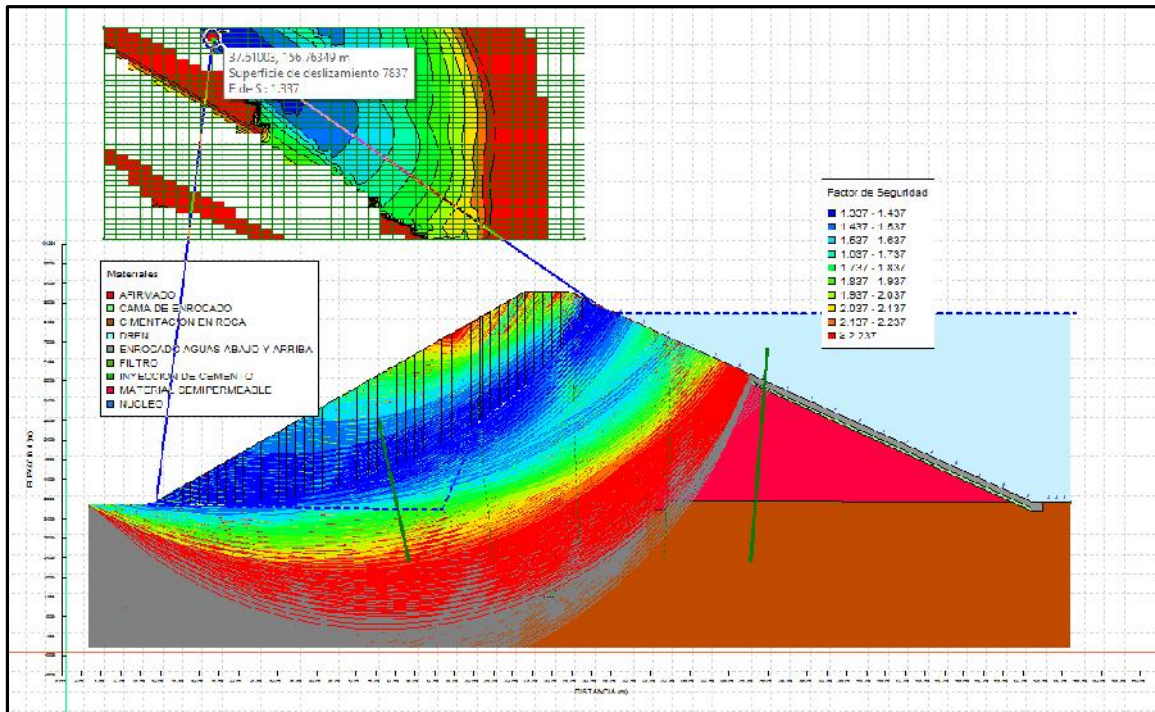


**Figura 70.** Análisis desembalse rápido con tratamiento aguas abajo - sin sismo.



Fuente: Elaboración propia.

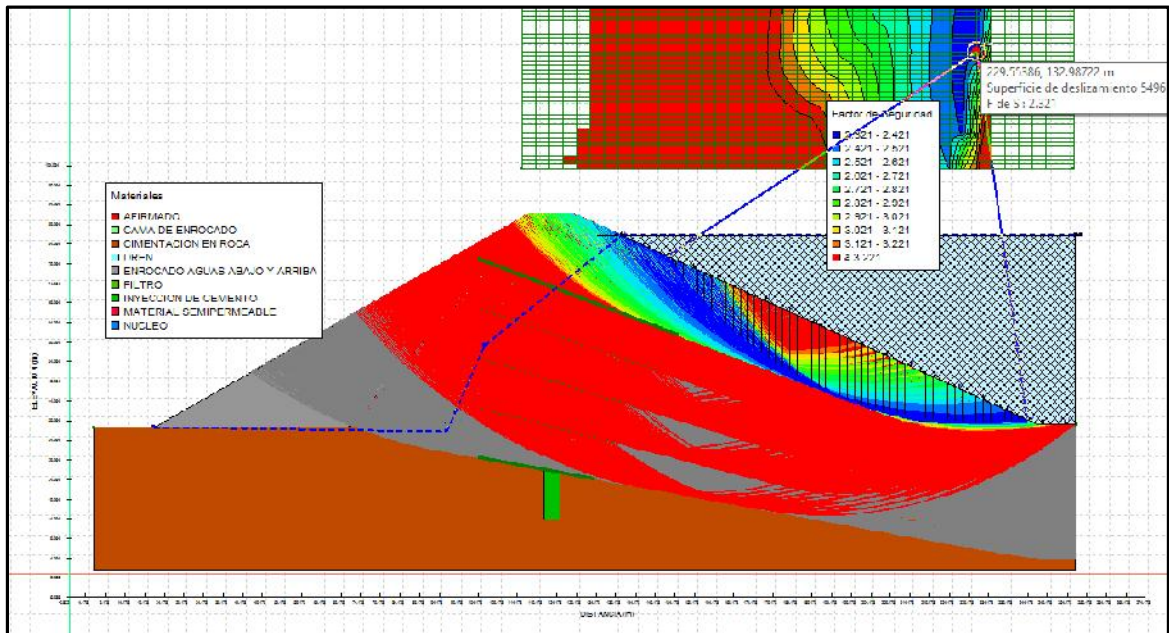
**Figura 71.** Análisis desembalse rápido con tratamiento aguas abajo - con sismo.



Fuente: Elaboración propia.

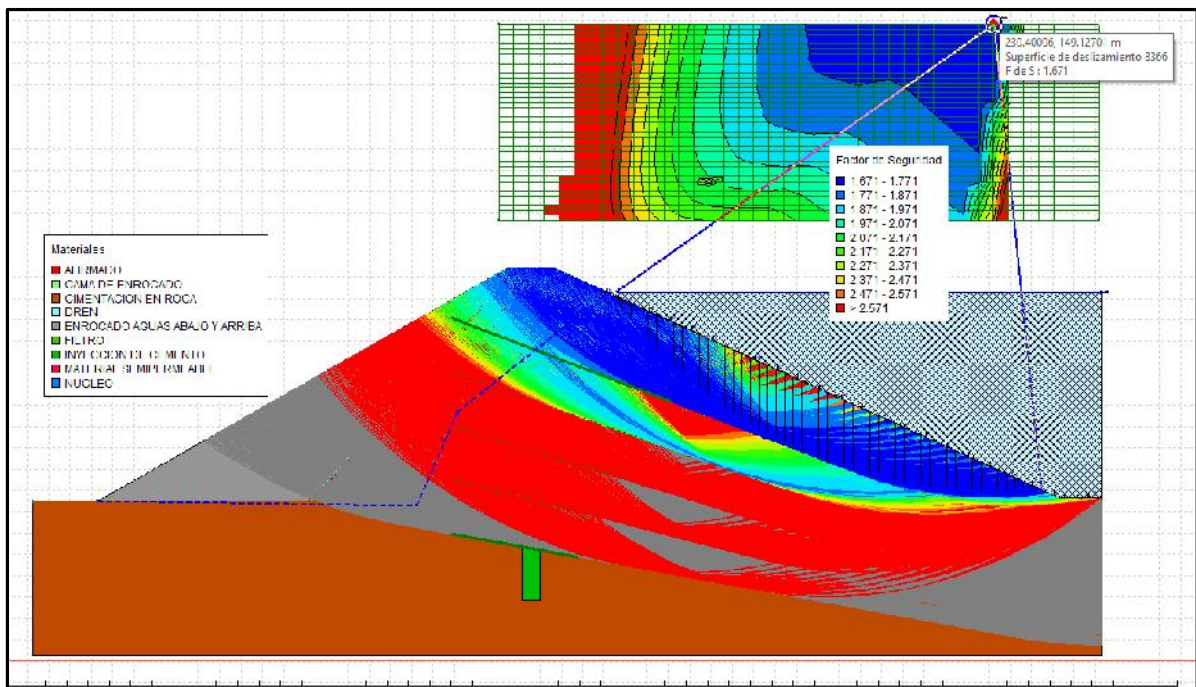
## Análisis de talud embalse totalmente lleno con tratamiento

**Figura 72.** Análisis embalse totalmente lleno con tratamiento aguas arriba - sin sismo.



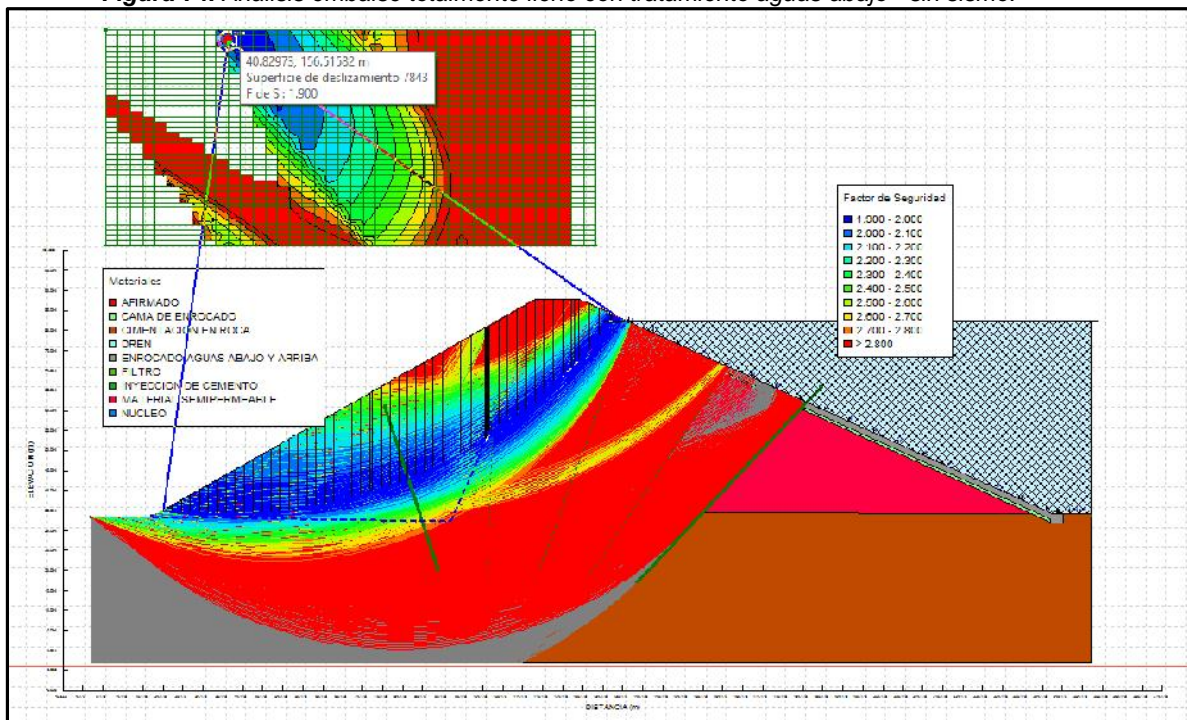
Fuente: Elaboración propia.

**Figura 73.** Análisis embalse totalmente lleno con tratamiento aguas arriba - con sismo.



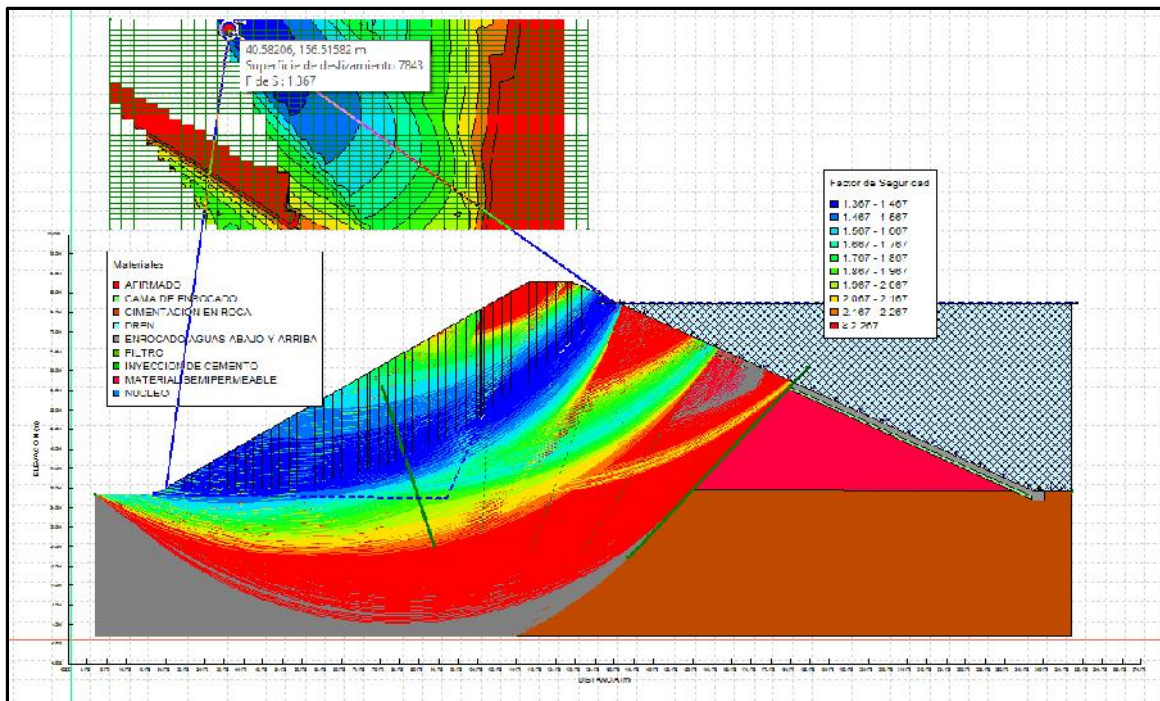
Fuente: Elaboración propia.

**Figura 74.** Análisis embalse totalmente lleno con tratamiento aguas abajo - sin sismo.



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 75.** Análisis embalse totalmente lleno con tratamiento aguas abajo - con sismo.



Fuente: Elaboración propia.

Los análisis han sido efectuados suponiendo mecanismos de falla circular, tanto para aguas arriba y aguas debajo de la presa sin tratamiento y con tratamiento.

En las figuras anteriores se muestran tales análisis, y solo se representan los gráficos de análisis por el método de Spencer

Como es de esperar, las superficies de deslizamiento aguas abajo presentan mayores factores de seguridad por tener roca acomodada, que las de aguas arriba. En términos generales, para la condición fin de construcción, el dimensionamiento adoptado presenta factores de seguridad mínimos de 1.05 aguas arriba sin tratamiento con sismo y 1.071 aguas arriba con tratamiento con sismo.

Es posible encontrar el factor de aceleración crítica para el dimensionamiento adoptado. Este factor viene a representar la fracción de la aceleración de la gravedad, para la cual los menores factores de seguridad obtenidos son próximos a uno. Esto puede encontrarse efectuando un análisis de seguridad incluyendo una fuerza horizontal que represente los efectos de los sismos (análisis pseudo estáticos).

Para la construcción se ha encontrado que este factor de aceleración crítica es igual a 0.169 g. en las anteriores figuras se ilustran los mecanismos de falla para el talud aguas abajo y arriba, de estas condiciones se deduce que no habrá fallas riesgosas en la presa.

### **Análisis de filtración a través de la presa de tierra**

Para el análisis de las filtraciones se tuvo en cuenta las consideraciones técnicas del diseño de la presa como la construcción un terraplén de material heterogéneo que contiene un núcleo impermeable de V:H, 1:0.5 de pendiente tanto aguas arriba como abajo que está cubierto con un material impermeable que está compuesto de material arcilloso en un 60% y material de agregado en un 40% con una pendiente V:H 1:2.50 aguas arriba y aguas abajo es 1:2.00 a lo largo de todo el talud correspondiente, luego se tiene una cama de enrocado y por último el enrocado de protección manteniendo la pendiente aguas arriba considerando un cimientado de enrocado al pie del talud sin embargo en lo que respecta aguas abajo también tiene la misma pendiente de 1:2.25, se considera un dentellón considerado en el punto

medio del núcleo impermeable a una profundidad de 8 m. Teniendo en cuenta también que la corona está cubierto por un afirmado.

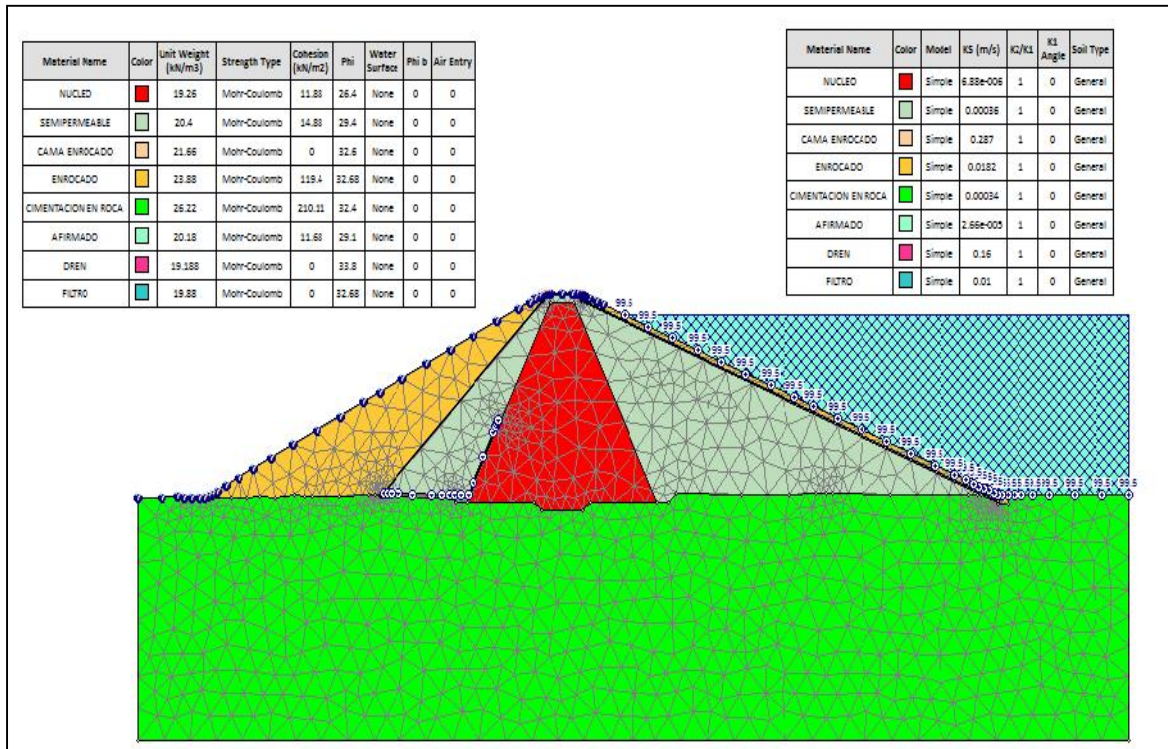
Teniendo en cuenta todas estas consideraciones constructivas, se ha elaborado un análisis en diferentes situaciones para analizar el comportamiento de la presa frente a posibles adversidades que pudiese encontrar durante su periodo operativo.

Para tal fin se recurrió a la utilización del software GeoStudio, con el cual se analizó las filtraciones producidas en la cimentación de la presa, utilizando el método de elementos finitos, verificando sus redes de flujos, velocidad de descarga y sus vectores de flujo para cada situación. Estas situaciones son las siguientes:

**Tabla 47.** Datos considerados.

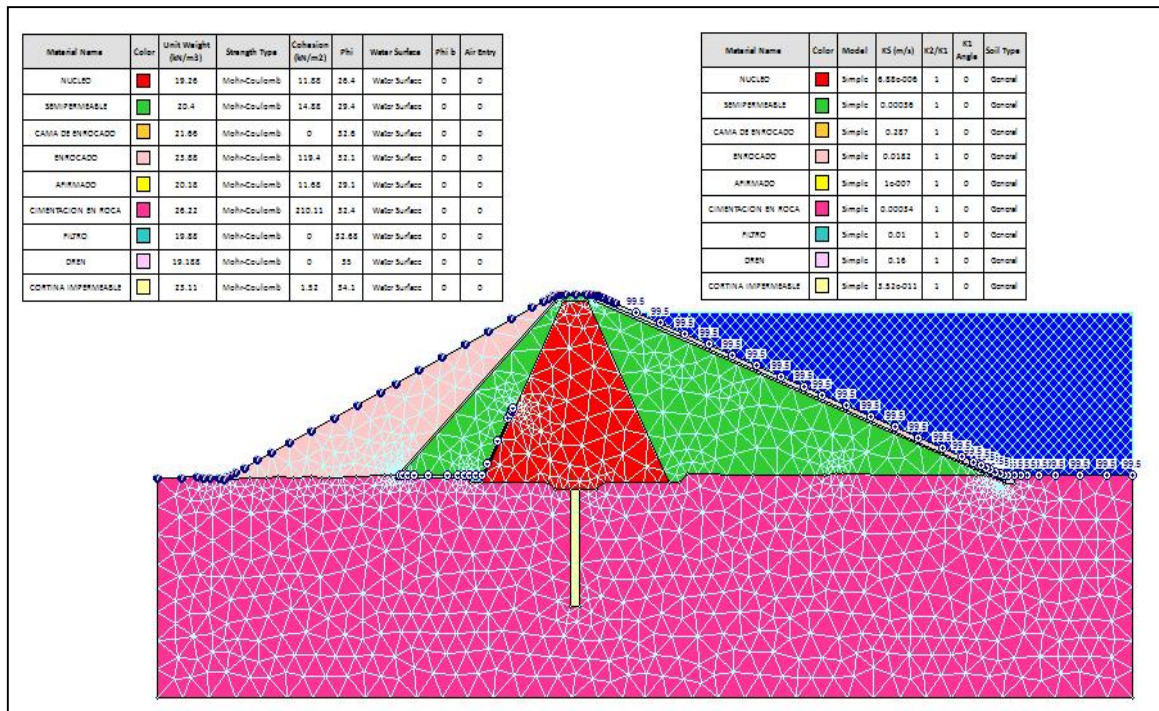
N°	MATERIAL	PERMEABILIDAD
01	Núcleo Impermeable	$6.88 \times 10^{-6}$ m/seg
02	Filtro	$1 \times 10^{-2}$ m/seg
03	Material Semipermeable	$3.60 \times 10^{-4}$ m/seg
04	Cama de Enrocado	$2.87 \times 10^{-1}$ m/seg
05	Enrocado	$1.8 \times 10^{-2}$ m/seg
06	Afirmado	$2.66 \times 10^{-5}$ m/seg
07	Dren	$1.60 \times 10^{-1}$ m/seg
08	Cimentación en Roca	$3.40 \times 10^{-4}$ m/seg
09	Pantalla Impermeabilizante	$3.52 \times 10^{-11}$ m/seg

**Figura 76.** Analisis por el método de elementos finitos sin tratamiento.



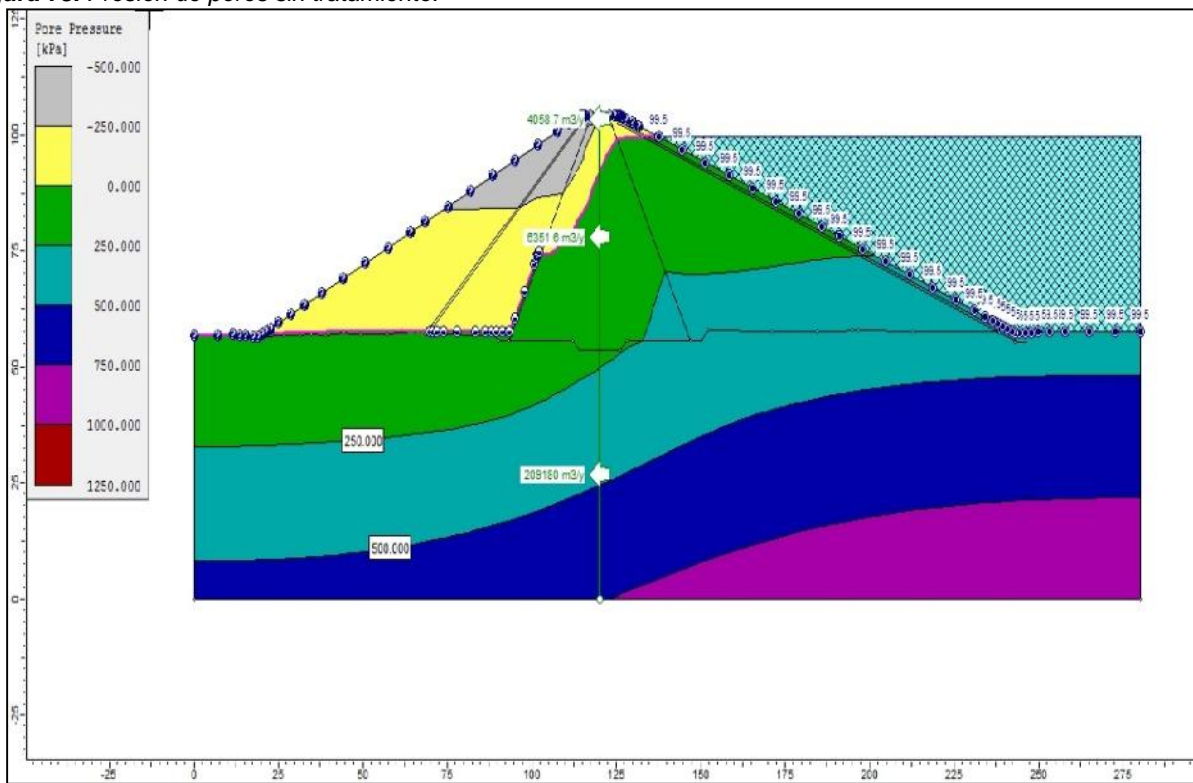
Fuente: Elaboración propia.

**Figura 77.** Análisis por el método de elementos finitos con tratamiento.



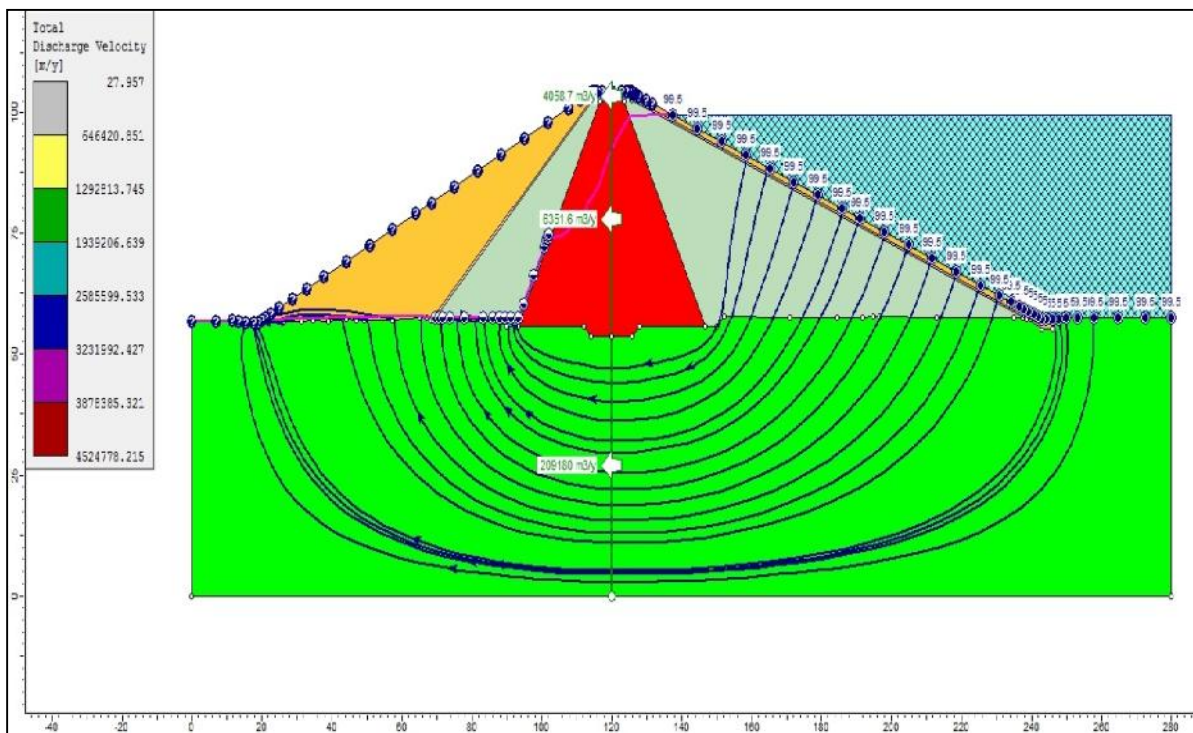
Fuente: Elaboración propia.

**Figura 78.** Presión de poros sin tratamiento.



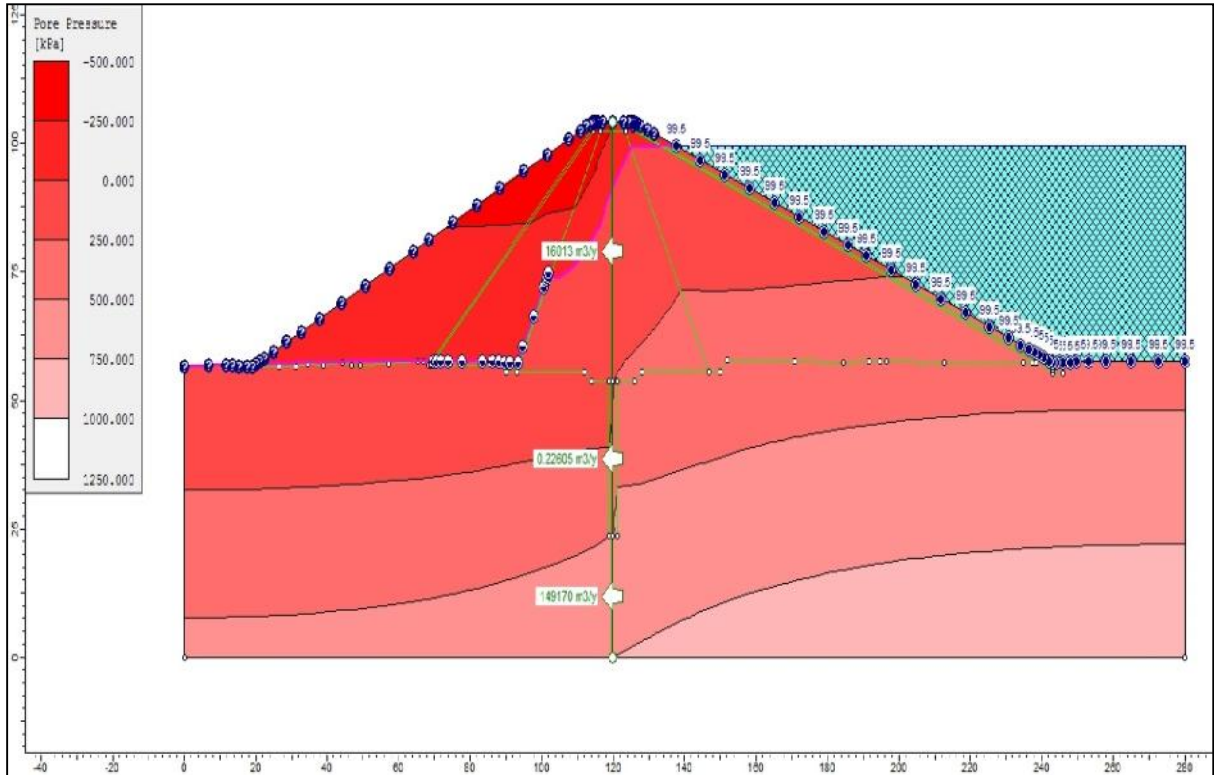
Fuente: Elaboración propia.

**Figura 79.** Redes de flujo sin tratamiento.



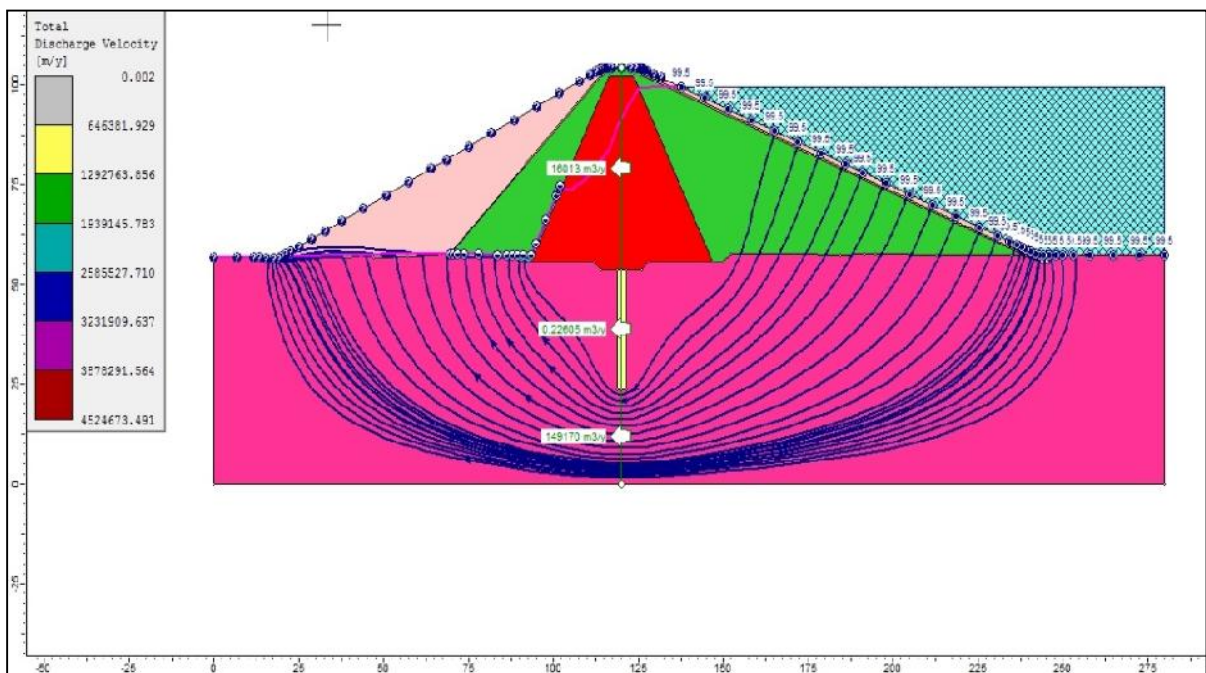
Fuente: Elaboración propia.

**Figura 80.** Presión de poros con tratamiento.



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 81.** Redes de flujo con tratamiento.



Fuente: Elaboración propia.



## Resultados de la filtración en la cimentación

**Tabla 48.** cuadro resumen resultados de filtración.

Condiciones	Longitud de Recorrido	Caudal de Perdida Anual
RESULTADOS SIN TRATAMIENTO	231.040 m	209180.00 m <sup>3</sup> /año
RESULTADOS CON TRATAMIENTO	260.40 m	149170.00 m <sup>3</sup> /año

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede apreciarse en el cuadro, la filtración sin tratamiento tendrá una filtración de 0.80 % de volumen total de embalse de la presa y con el tratamiento geotécnico (pantalla impermeable), logramos reducir aproximadamente el 0.50 % del volumen total de embalse de la presa que es relativamente aceptable.

### Redes de Flujo:

En este análisis se muestra el desarrollo de la carga hidráulica a lo largo de la cimentación generada por los máximos embalses; el análisis nos indica que la carga hidráulica disminuye a medida que se profundiza cada vez más en la cimentación y también cuando las líneas de flujo alargan su recorrido, ahora bien haciendo una comparación para cada situación se puede observar que la pantalla de impermeabilización logra que el recorrido de estos flujos se alarguen y por ende el caudal de filtración sea mínimo.

### Velocidad de Descarga:

El recorrido del flujo de agua a través de los diferentes estratos de materiales encontrados bajo la cimentación de la presa es mayor en las zonas donde existe permeabilidad debido a que el flujo sigue una ruta sinuosa a través de los vacíos del estrato, caso contrario ocurre en las zonas semipermeables a impermeables.

La velocidad de descarga está relacionada con el recorrido de las filtraciones en la cimentación de la presa, por lo que al considerar la pantalla de impermeabilización, queda determinado que se alargaran las líneas de flujo, y la velocidad de descarga será mucho menor.

## **Vectores de Flujo:**

Los vectores de flujo generados por el programa GeoStudio, nos muestran el recorrido de las corrientes de filtraciones bajo la cimentación de la presa y una magnitud aproximada en que estas se desarrollan.

## **V. DISCUSIÓN**

A partir de los resultados encontrados, aceptamos la hipótesis general, que establece que el diseño con Jet-Grouting en una presa de tierra mejorara la estabilidad de su estructura, disminuyendo las filtraciones de agua que ocasionan el sifonamiento y pérdida de agua.

Estos resultados guardan relación con lo que sostiene Araujo (2019), en su proyecto denominado “Perforación del macizo rocoso en la identificación de fisuras y fallas para la impermeabilización con lechada de cemento en la zona de wacacocha – quebrada ayash –Huari – 2018”, realiza una cantidad de 100 perforaciones con lo que se logra la identificación de las rocas fuertemente fracturadas realizando el inyectado de lechada de cemento logrando una permeabilidad baja y reduciendo la filtración. Corroborando nuestra primera hipótesis en la que señalamos que con el uso de las inyecciones de jet grouting se mejora la estructura disminuyendo las filtraciones de agua lo cual fue comprobado en el presente proyecto con el uso del diseño en software GeoStudio en donde se visualizó que la pérdida anual del caudal sin tratamiento era de 209,180.00 m<sup>3</sup>/año y con tratamiento era de 149,170.00 m<sup>3</sup>/año, observándose la disminución en las filtraciones como se observa en figuras 64 y 66 de la presente tesis. En cuanto a la estabilidad nuestros resultados guardan relación con lo que sostiene Briones (2008), en su proyecto denominado “Estudio comparativo del diseño de la presa de tierra Limón del Proyecto Olmos con pantalla de concreto versus núcleo de material arcilloso”, en donde realiza un estudio comparativo entre un diseño de una presa de material suelto con núcleo central de arcilla con inyecciones de lechada de cemento y el diseño de una presa con pantalla de concreto con inyecciones de lechada de cemento mediante el programa GeoStudio analizando la estabilidad de ambas presas en las etapas de construcción y operación aguas arriba y aguas abajo, obteniendo los siguientes factores de seguridad para la presa con núcleo de arcilla con inyección: 2.4 para fin de construcción aguas arriba estado estático, 1.56

para fin de construcción aguas arriba estado pseudoestatico, 2.32 para fin de construcción aguas abajo estado estático, 1.55 para fin de construcción aguas abajo estado pseudoestatico, 2.45 para periodo de operación aguas arriba estado estático, 1.07 para periodo de operación aguas arriba estado pseudoestatico, 1.96 para periodo de operación aguas abajo estado estático y 1.13 para periodo de operación aguas abajo estado pseudoestatico; los factores de seguridad obtenidos para la presa con pantalla de concreto con inyecciones son los siguientes: 1.54 para fin de construcción aguas arriba estado estático, 1.16 para fin de construcción aguas arriba estado pseudoestatico, 1.69 para fin de construcción aguas abajo estado estático, 1.24 para fin de construcción aguas abajo estado pseudoestatico, 3.99 para periodo de operación aguas arriba estado estático, 2.16 para periodo de operación aguas arriba estado pseudoestatico, 1.46 para periodo de operación aguas abajo estado estático y 0.98 para periodo de operación aguas abajo estado pseudoestatico; evidenciando que la presa de tierra con nucleo de arcilla con inyecciones resulta ser mas recomendable que la presa con pantalla de concreto con inyecciones para los estados pseudoestatico, ya que cumple con los factores de seguridad minimos establecidos por norma USACE. Ello acorde con los resultados obtenidos en nuestra investigación en donde se diseñó la presa de tierra sin tratamiento y con tratamiento de Jet Grouting para el sector Palca con el uso del software GeoStudio, analizando para los estados fin de construcción, desembalse rápido y embalse totalmente lleno, obteniendo los resultados que se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 49.** Factores de seguridad Sin tratamiento y Con tratamiento.

ESTADO	DESCRIPCIÓN	SIN TRATAMIENTO			CON TRATAMIENTO		
		Metodología			Metodología		
		Bishop	Janbu	Spencer	Bishop	Janbu	Spencer
Fin de Construcción	Aguas Arriba	1.13	1.066	1.135	1.665	1.549	1.664
	Aguas Arriba con Sismo	1.113	1.05	1.119	1.161	1.071	1.167
	Aguas Abajo	2.480	1.973	2.229	2.485	1.999	2.232
	Aguas abajo con Sismo	1.646	1.428	1.656	1.616	1.453	1.662
Desembalse rápido	Aguas arriba	1.823	1.726	1.824	1.879	1.755	1.88
	Aguas arriba con Sismo	1.016	0.954	1.024	1.044	0.994	1.044
	Aguas abajo	1.856	1.660	1.865	1.864	1.66	1.875
	Aguas abajo con sismo	1.336	1.200	1.355	1.329	1.205	1.337
Embalse Totalmente Lleno	Aguas Arriba	1.709	1.664	1.710	2.325	2.12	2.321
	Aguas Arriba con Sismo	1.549	1.499	1.552	1.672	1.547	1.671
	Aguas Abajo	1.856	1.679	1.866	1.889	1.73	1.9

	Aguas abajo con Sismo	1.338	1.193	1.357	1.345	1.21	1.367
--	-----------------------	-------	-------	-------	-------	------	-------

Fuente: Elaboración propia.

Como se visualiza en la tabla se puede determinar que los factores de seguridad resultaron ser mayores con el tratamiento de Jet-Grouting, esto indicaría el aumento en la capacidad de carga ultima, pon ende el incremento de la estabilidad de la presa de tierra con el tratamiento de inyecciones de lechada.

A partir de los resultados encontrados, aceptamos la hipótesis especifica 1, que establece que las mejoras que ofrece el tratamiento con Jet-grouting en las propiedades mecánicas del suelo son el incremento de la capacidad de carga y reducción de la permeabilidad.

Estos resultados guardan relación con lo que sostiene Ovando (2011), quien al realizar su investigación llevo a ensayos para determinar la resistencia a la compresión del tipo de suelo arenas y gravas sin el tratamiento y con el tratamiento de Jet-Grouting obteniendo 2kg/cm<sup>2</sup> y 60 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente, realizando el ensayo a los 7 días de la inyección por lo cual indica en sus conclusiones que la utilización del Jet grouting mejora la capacidad del suelo para soportar cargas; corroborando así la hipótesis 1 sostenida en el presente proyecto de mejorar la capacidad de carga del suelo ya que al diseñar la presa de tierra mediante el software GeoStudio se determinó nuevos factores de seguridad en los 5 puntos estudiados, resultando ser mayores a los factores de seguridad iniciales sin el tratamiento, notándose las mejoras para la capacidad de carga ultima en cada punto como se detalla a continuación en la siguiente tabla:

**Tabla 50.** Cuadro comparativo de mejora de capacidad de carga ultima.

PUNTOS DE SONDEO	CAPACIDAD ADMISIBLE (Qadm) TN/cm <sup>2</sup>	FACTOR DE SEGURIDAD SIN TRATAMIENTO	CAPACIDAD ULTIMA SIN TRATAMIENTO(qu) TN/m <sup>2</sup>	FACTOR DE SEGURIDAD CON TRATAMIENTO	CAPACIDAD ULTIMA CON TRATAMIENTO (qu) TN/m <sup>2</sup>
PPRS-01	36.86	1.71	63.03	2.32	85.55
PPRS-02	37.63	1.82	68.64	1.88	70.74
PPRS-03	138.28	1.14	156.95	1.66	230.10
PPRS-04	244.15	1.87	455.58	1.90	463.89
PPRS-05	122.11	1.87	227.74	1.88	228.96

Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a la permeabilidad Vargas (2020), realizando en su investigación inyecciones con el método Jet-Grouting con la finalidad de impermeabilizar la represa Ancascococha, lo cual fue puesto a prueba en los taladros exploratorios con pruebas de inyección, posteriormente corroborados con taladros de verificación y pruebas de permeabilidad in situ, realizando la comparación con los valores antes y después del tratamiento, obteniendo los siguientes resultados: en el estribo derecho en donde se redujo de una permeabilidad de  $1.50E-04$  cm/s a  $1.50E-06$  cm/s, para estribo izquierdo se redujo de  $1.11E-04$  promedio de  $2.63 E-05$  cm/s. Ello es acorde con los resultados obtenidos en nuestro diseño mediante el software GeoStudio, en donde se demuestra la disminución de la permeabilidad al observarse que el caudal de pérdida sin tratamiento es de 209,180.00 m<sup>3</sup>/año y con tratamiento es de 149,170.00 m<sup>3</sup>/año, observando un disminución de 28.68% de pérdida de caudal, lo que significa un mayor almacenamiento de agua en la presa a diseñar.

A partir de los resultados encontrados, aceptamos la hipótesis específica 2, que establece que, con respecto a las fallas en la presa de tierra, la aplicación de Jet-Grouting en el diseño disminuirá el riesgo de sifonamiento y reducirá las pérdidas por filtración.

Estos resultados guardan relación con lo que sostiene Del rio (2016), que al realizar su investigación cualitativa con respecto al sifonamiento de presas de tierra (causas y métodos de solución), estudia diferentes casos de presas que fallaron y la solución que aplicaron en las mismas, llegando a la conclusión que uno de los métodos que dan solución a este tipo fallas son las inyecciones con lechada de cemento, ello es acorde con los resultados de nuestra investigación, en donde realizamos el diseño de una presa de tierra utilizando el software GeoStudio en donde se observa que la longitud de recorrido sin tratamiento es de 231.40m y con tratamiento es de 260.40m, esto indica que al realizar las inyecciones con lechada de cemento el flujo de agua tendrá un mayor recorrido, ya que deberá atravesar por debajo de las inyecciones realizadas, lo cual impedirá la socavación de la cimentación de la presa al no pasar directamente, evitando así la falla por sifonamiento, tal como se observa en las figuras 64 y 66, sin y con tratamiento respectivamente.

A partir de los resultados encontrados, aceptamos la hipótesis específica 3, que establece que, con el diseño con Jet-Grouting reducirá los asentamientos en la cimentación de la presa de tierra.

Estos resultados guardan relación con lo que sostiene Briones (2008) quien, al realizar la comparación de dos tipos de diseños para presa de tierra, siendo el primer diseño una presa de material suelto con núcleo central de arcilla sin inyecciones de lechada de cemento y el segundo diseño de una presa con pantalla de concreto con inyecciones de lechada de cemento; obteniendo un asentamiento de 0.45m en la sección más alta del eje de la presa para el primer caso y un asentamiento de 0.34m en la sección más alta del eje de la presa para el segundo caso, con lo que evidencia una disminución notable en el asentamiento de la presa, esto acorde con los resultados de nuestra investigación en donde nosotros analizamos el punto más crítico siendo este el PPRS-04 en donde se analizó los asentamientos de la presa de tierra sector Palca sin tratamiento, realizando los cálculos y obteniendo los siguientes asentamientos: asiento carga rígida 0.06cm y asientos carga flexible 0.04 cm en la esquina, 0.07cm en el centro y 0.06 cm valor medio; y con tratamiento se obtuvo los siguientes resultados: asiento carga rígida 0.04cm y asientos carga flexible 0.02 cm en la esquina, 0.05 cm en el centro y 0.04 cm valor medio. Notándose la disminución de los asentamientos de la presa con tratamiento de Jet-Grouting.

## **VI. CONCLUSIONES**

1. En el presente proyecto de investigación se aplicó la técnica del Jet-Grouting para diseño de una presa de tierra en el sector Palca, utilizando el software GeoStudio, en el cual se diseñó la presa de tierra sin el tratamiento y con el tratamiento, observándose la mejora de la estabilidad en el suelo de fundación, lo cual se evidencia por la variación de los factores de seguridad en el diseño, disminución de la permeabilidad y aumento de la longitud de recorrido del flujo; lo que disminuye las posibilidades de una falla por sifonamiento.
2. En el presente proyecto de investigación se mejoró las propiedades mecánicas del suelo de fundación, tales como la capacidad de carga y la permeabilidad del mismo, realizando el diseño con el software GeoStudio,

en el caso de la capacidad de carga la mejora se evidencia verificando el aumento del factor de seguridad con tratamiento, por ende, se tiene un aumento en la capacidad de carga ultima de la presa, como se evidencia en la Tabla N°49. Para el caso de la permeabilidad se puede apreciar la mejora a través del caudal de pérdida anual, siendo este sin tratamiento 209,108.0 m<sup>3</sup>/año y con tratamiento 149,170.0 m<sup>3</sup>/año, notándose una disminución 28.68% de pérdida del caudal.

3. Se realizó el diseño con Jet-Grouting para disminuir las fallas más comunes en presas de tierra como son el sifonamiento y perdidas por filtración, esto se evidencio en el aumento de la longitud de recorrido de 231.04m sin tratamiento a 260.40m con tratamiento y con una disminución de caudal de pérdida anual con respecto a los resultados sin tratamiento; reduciendo de esta manera el riesgo de Sifonamiento y evitando la pérdida de agua, por lo que se estaría garantizando la estanqueidad del embalse.
4. Al realizar el diseño con la aplicación de inyecciones de lechada en la cimentación de la presa, se logra un aumento en el módulo de Young, por consiguiente, se da una disminución en el asentamiento de la presa.

## **VII. RECOMENDACIONES**

- Se recomienda utilizar las inyecciones de cemento para mejorar la cimentación de las presas de tierras, para evitar la pérdida de agua y posibles fallas por sifonamiento, para no poner en riesgo la estructura al realizar este tipo de obras.
- Se recomienda el uso de la técnica de inyecciones por Jet-Grouting, ya que es comúnmente utilizado en diferentes tipos de estabilización de suelos, sobretodo en construcción de túneles y muros de construcción, ya que usa la energía de erosión en el terreno para poder introducir la lechada de inyección, lo que posibilita el uso de esta técnica en cualquier tipo de terreno.
- Tomar en cuenta un adecuado estudio geológico y geotécnico, ya que cada cimentación posee características únicas, por lo que es necesario realizar un diseño de la lechada que se acondicione a las propiedades de la cimentación en donde se desea aplicar.

## REFERENCIA

- Alvarez Ordoñez, F. (2012). Análisis del gasto de filtración a través de las ataguías aguas arriba y abajo de la presa de HCR en el proyecto hidroeléctrico minas San Francisco- La Union. *Tesis (Magister en Geología Aplicada y Geotecnia)*. Cuenca, Ecuador: Universidad de Cuenca.
- Araujo Aguedo, D. U. (2019). Perforación del macizo rocoso en la identificación de fisuras y fallas para la impermeabilización con lechada de cemento en la zona de Wacacocha-Quebrada Ayash-Huari 2018. *Tesis (Titulo Ingeniero de Minas)*. Huaraz, Peru: Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo.
- Armijo Palacio, G. (2001). Pre-boveda de jet grouting - micro- túnel en la 9na avenida, entre las calles 62 y 63 Brooklyn New York. *Geocisa US*.
- Batres Avalos, I. (2012). *Presas de Enrocamiento*. El Salvador: Universidad de el Salvador.
- Bayesteh, H., & Sabermahani, M. (2020). Field study on performance of jet grouting in low water content clay. *Engineering geology, volumen 264*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2019.105314>
- Braja M., D. (2016). *Fundamentos de la Ingeniería de cimentaciones*. Mexico: Thompson.
- Briones Zevallos, J. (2008). Estudio comparativo del diseño de la presa de tierra Limón del Proyecto Olmos con pantalla de concreto versus núcleo de material arcilloso. *TESIS (Titulo en Ingeniería Civil)*. Lima: Universidad Ricardo Palma.
- Cambefort, h. (1999). *Inyección de Suelos*. barcelona: Omega.
- Cordero Mejias, L. (2017). Análisis de filtraciones y estabilidad de taludes en presas de tierra para suelos parcialmente saturados. *Tesis (Titulo de Ingeniero civil)*. Santa Clara, Cuba: Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.



- Del rio, S. M. (2016). Sifonamiento en presas de tierra: causas y métodos de solución. *Tesis (Titulo de Ingeniero Hidraulico)*. La habana, Cuba: Instituto Superior politécnico José Antonio Echeverría.
- Ewert, F. K. (2003). Discussion of rock type related criteria for curtain grouting. *Proceedings of the third international conference on grouting and ground improvement*. ASCE special publication.
- Güllü, H. (2015). On the viscous behavior of cement mixtures with clay, sand, lime AND bottom Ash for jet grouting. *Construction and building materials, volume 93*, 891-910. doi:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.05.072>
- Güllü, H. (2017). A new prediction method for the rheological behavior of grout with bottom Ash for jet grouting columns. *Soils and foundations, volume 57*, 384-396. doi:<https://doi.org/10.1016/j.sandf.2017.05.006>
- Hernandez Juarez, P. G. (2013). Evaluación del método Gin (número de intensidad de inyectado) en inyección de pantallas de impermeabilización en macizos rocosos. *Tesis (Magister en Ingenieria)*. D.F, Mexico: Universidad Nacional Autonoma de Mexico.
- Hernandez Sampieri, r. (2014). *Metodologia de la Investigacion*. Mexico: McGraw-Hill.
- Hernandez Sampieri, R., Fernandez Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2010). *Metodologia de la Investigacion*. Mexico: McGraw-Hill.
- Herrera de la Cruz, C. E. (2019). Impermeabilización mediante inyecciones de cemento en macizo rocoso para evitar la surgencia de agua en explotación subterránea Cajamarca, 2019. *Tesis (Titulo de Ingeniero de minas)*. Cajamarca, Peru: Universidad Privada del Norte.
- Kova evi , M. S., Juri -Ka uni , D., & Ivankovi , A. (2015). Interactive geotechnical design of bridge foundations. *researchgate*. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/237749672\\_INTERACTIVE\\_GEO\\_TECHNICAL\\_DESIGN\\_OF\\_BRIDGE\\_FOUNDATIONS](https://www.researchgate.net/publication/237749672_INTERACTIVE_GEO_TECHNICAL_DESIGN_OF_BRIDGE_FOUNDATIONS)

- Littejohn, G. S. (1992). *Acceptable water flows for rock anchor grouting*. Ground Engineering.
- Liu, H., Zhou, H., Kong, G., Qin, H., & Zha, Y. (2017). High pressure jet- grouting column installation effect in soft soil: theoretical model and field application. *Computers and geotechnic*, volume 88, 74-94. doi:<https://doi.org/10.1016/j.compgeo.2017.03.005>
- Llanque Ayala, G. R., Chagas Da silva Filho, F., Ferreira Leme , R., & Mahler, C. F. (2019). Estudio de estabilidad de taludes en presas de tierra en condiciones no saturadas cuando ocurre descenso rápido de nivel de agua. *Geotechnical Engineering in the XXI Century*, 1804-1814. doi:10.3233/STAL190237
- Makovetskiy, O. (2016). Application of "jet grouting" for installation of substructures of estates. *Procedia engineering*, volume 150, 2228-2231. doi:<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.07.269>
- Makovetskiy, O., & Zuev, S. (2016). Practice device artificial improvement basis of soil technologies jet grouting. *Procedia engineering*, volume 165, 504-509. doi:<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.11.726>
- Maldonado, Y. (2018). *Geologia web*. Obtenido de <https://geologiaweb.com/ingenieria-geologica/ensayo-lefranc/>
- Modoni, G., Wanik, L., Mascolo, M., Salvatore, E., Bzówka, J., Shen, S.-L., . . . Pingué, L. (2019). Strength of Sandy and clayey soils cemented with single and double fluid jet grouting. *Soils and foundations*, volume 59, 942-945. doi:<https://doi.org/10.1016/j.sandf.2019.03.007>
- Ni, J., & Cheng, W.-C. (2014). Quality control of double fluid jet grouting below groundwater table: case history. *Soils and foundations*, volume 54, 1039-1053. doi:<https://doi.org/10.1016/j.sandf.2014.11.001>
- Ochma ski, M., Modoni, G., & Bzówka, J. (2015). Prediction of the diameter of jet grouting columns with artificial neural networks. *Soils and foundations*, volume 55, 425-436. doi:<https://doi.org/10.1016/j.sandf.2015.02.016>

- Olgun, M., Kanat, A., Senkaya, A., & Erkan, I. (2021). Investigating the properties of jet grouting columns with fine-grained cement and silica fume. *Construction and building materials*, volume 267. doi:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120637>
- Ovando Pineda, H. A. (2011). Inyección de suelo por medio de la técnica de Jet Grouting. *Tesis (Titulo en Ingenieria Civil)*. Guatemala: Universidad San Carlos de Guatemala.
- Perdigon, P. C. (28 de Marzo de 2016). *Estructurando*. Obtenido de <https://estructurando.net/2016/03/28/tecnica-de-jet-grouting-aspectos-analiticos-para-casos-de-taponos-de-fondo/>
- Rimachi, E. J. (2016). Aplicación del método gin para la pantalla de impermeabilización de la presa Pumamayo – distrito de Macusani – provincia de Carabaya – departamento de Puno. *TESIS (titulo en Ingenieria Geologica)*. Arequipa, Peru: UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTIN DE AREQUIPA.
- Sandoval Erazo, W. R. (2018). *Diseño de obras Hidrotécnicas*. Ecuador: EDIESPE.
- Tapia, C., Oñate, E., & Larese, A. (2009). *Análisis numérico del proceso de filtración en presas de escollera*. Barcelona: Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería.
- Valderrama Mendoza, S. (2015). *Pasos para elaborar proyectos de investigacion científica*. Lima-Peru: San Marcos.
- Vargas Huaman, L. M. (2020). Aplicación del método Jet Grouting para la impermeabilización de la represa Ancascococha y disponibilidad hídrica en minera las Bambas- Apurimac. *Tesis (Titulo Ingeniero de Minas)*. Cusco, Peru: Universidad nacional San Antonio de abad del cusco.
- Wang, Z.-F., Shen, S., & Modoni, G. (2019). Enhancing discharge of spoil to mitigate disturbance induced by horizontal jet grouting in clayey soil: theoretical model and application. *Computers and geotechnics*, volume 111, 222-228. doi:<https://doi.org/10.1016/j.compgeo.2019.03.012>

- Wang, Z.-F., Shen, S., Modoni, G., & Zhou, A. (2020). Excess Pore water pressure caused by the installation of jet grouting columns in clay. *Computers and geotechnics*, *volume* 125. doi:<https://doi.org/10.1016/j.compgeo.2020.103667>
- Yepes Piqueras, V. (4 de julio de 2019). *Poliblogs*. Obtenido de <https://victoryepes.blogs.upv.es/2019/07/04/inyecciones-de-fracturacion/>
- Yepes Piqueras, V. (09 de junio de 2020). *Poliblogs*. Obtenido de <https://victoryepes.blogs.upv.es/tag/inyeccion-de-desplazamiento/>
- Yuan, Y., Shen, S., Wang, Z.-F., & Wu, H.-N. (2016). Automatic pressure - control equipment for horizontal jet-grouting. *Automation in construction*, *volume* 69, 11-20. doi:<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.05.025>
- Zhang, W., Hong, L., Zhang, R., Goh, A., & Liu, H. (2021). Effects of jet grouting slabs no responses for deep braced excavations. *Underground space*, *volume* 6, 185-194. doi:<https://doi.org/10.1016/j.undsp.2020.02.002>

# **ANEXOS**

## ANEXO 1. MATRIZ DE OPERACIONALIZACION DE VARIABLES.

**Título: Diseño con Jet-Grouting para mejorar la estabilidad de la presa de tierra sector Palca, provincia de Lampa-Puno.**

VARIABLE DE ESTUDIO	DEFINICIÓN CONCEPTUAL (A)	DEFINICIÓN OPERACIONAL A + B+ C + D	DIMENSIONES (B)	INDICADOR (C)	INSTRUMENTO (D)	ESCALA DE MEDICIÓN
VARIABLE INDEPENDIENTE: <b>DISEÑO CON JET-GROUTING</b>	El Jet-Grouting es un tipo de inyección que se utiliza en aplicaciones geotécnicas con la finalidad de mejorar las condiciones geo mecánicas de todo tipo de suelo o roca, esto a través de inyección de lechada de cemento (Vargas, 2020).	El diseño con Jet-Grouting dependerá de las siguientes dimensiones como el levantamiento topográfico, clasificación de suelos y diseño de presa; cuyos indicadores son coordenadas y cotas del área de estudio, calicatas y modelamiento de presa respectivamente, para ello se hace uso de hojas de recolección de datos, ensayos de laboratorio y software GeoStudio.	LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO	COORDENADAS Y COTAS DEL ÁREA DE ESTUDIO	HOJA DE RECOLECCIÓN DE DATOS	NOMINAL
			CLASIFICACIÓN DE SUELOS	CALICATAS	ENSAYOS DE LABORATORIO.	
			DISEÑO DE PRESA	MODELAMIENTO DE PRESA	SOFTWARE GEO STUDIO	
VARIABLE DEPENDIENTE: <b>ESTABILIDAD DE LA PRESA DE TIERRA</b>	La estabilidad de una presa depende de las características físico-mecánicas de los suelos que constituyen los diferentes elementos y, especialmente, de la inclinación de los taludes y de las condiciones de filtración a través del cuerpo y la cimentación (Sandoval, 2018)	La estabilidad de la presa de tierra dependerá de las propiedades mecánicas del suelo de fundación, fallas en presas de tierra y asentamientos en la cimentación; cuyos indicadores son capacidad de carga, permeabilidad, pérdida por filtración, sifonamiento y dimensiones de la presa, para ello se hará uso de ensayos de laboratorio, hojas de cálculo y software GEO STUDIO.	PROPIEDADES MECÁNICAS DEL SUELO DE FUNDACIÓN	CAPACIDAD DE CARGA	HOJA DE CALCULO	NOMINAL
				PERMEABILIDAD	ENSAYOS DE PERMEABILIDAD TIPO LUGEON ENSAYOS DE PERMEABILIDAD TIPO LEFRANC	
			FALLAS EN PRESAS DE TIERRA	PERDIDAS POR FILTRACIÓN	SOFTWARE GEO STUDIO	NOMINAL
				SIFONAMIENTO	SOFTWARE GEO STUDIO	
			ASENTAMIENTOS EN LA CIMENTACIÓN	ALTURA DE LA PRESA	HOJA DE CALCULO	ORDINAL
				ANCHO DE CIMENTACIÓN	HOJA DE CALCULO	
				LARGO DE CIMENTACIÓN	HOJA DE CALCULO	
VOLUMEN DE EMBALSE	HOJA DE CALCULO					
	ANCHO DE CORONA	HOJA DE CALCULO				

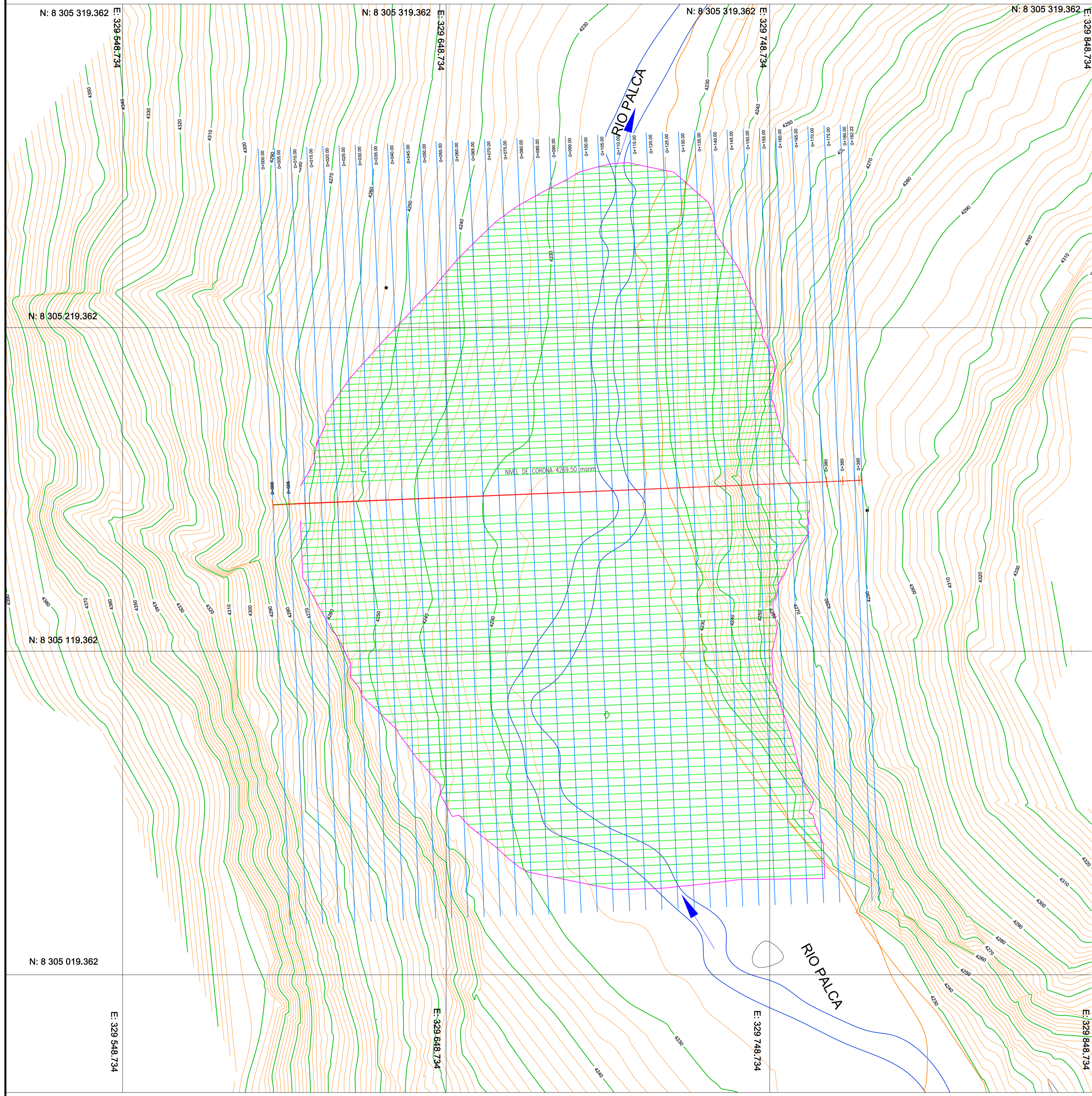
## ANEXO 2. MATRIZ DE CONSISTENCIA

**Título: Diseño con Jet-Grouting para mejorar la estabilidad de la presa de tierra sector Palca, provincia de Lampa-Puno.**

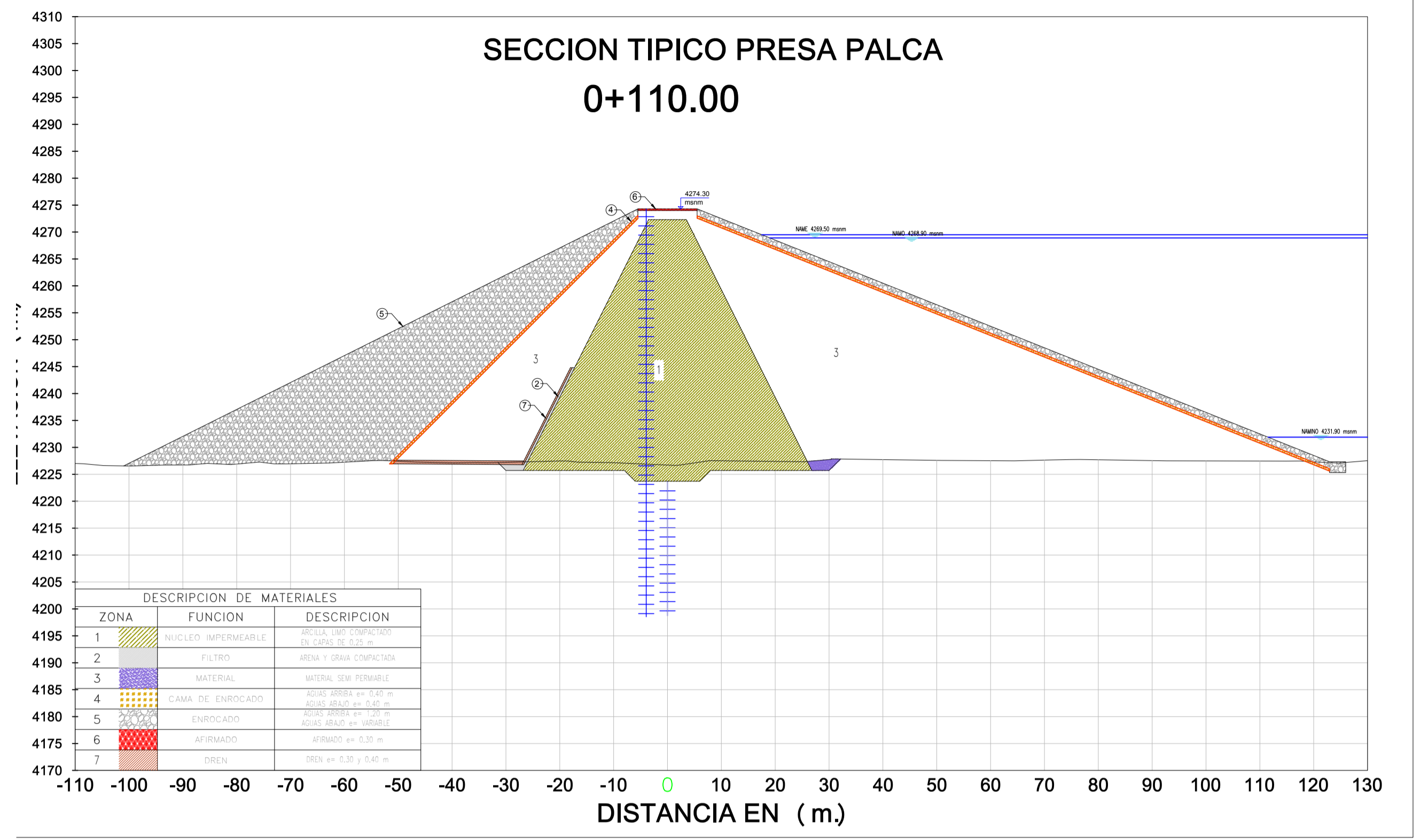
PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES	METODOLOGÍA
GENERAL	GENERAL	GENERAL				
¿De qué manera el diseño con Jet-Grouting mejorará la estabilidad de la presa de tierra sector palca, provincia de lampa-puno?	Diseñar con la técnica Jet-Grouting para mejorar la estabilidad de la presa de tierra en el sector palca provincia Lampa-Puno.	El diseño con Jet-Grouting en una presa de tierra mejorara la estabilidad de su estructura, disminuyendo las filtraciones de agua que ocasionan el sifonamiento y pérdida de agua.	VARIABLE INDEPENDIENTE: <b>DISEÑO CON JET-GROUTING</b>	LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO	COORDENADAS Y COTAS DEL ÁREA DE ESTUDIO	Tipo de investigación: Aplicada
				CLASIFICACIÓN DE SUELOS	CALICATAS	
				DISEÑO DE PRESA	MODELAMIENTO DE PRESA	Diseño de investigación: experimental.
ESPECÍFICOS	ESPECÍFICOS	ESPECÍFICOS	VARIABLE DEPENDIENTE: <b>ESTABILIDAD DE LA PRESA DE TIERRA</b>	PROPIEDADES MECÁNICAS DEL SUELO DE FUNDACIÓN	CAPACIDAD DE CARGA	Población: La población está conformada por el tramo correspondiente del eje de la presa
¿De qué manera el diseño con JET-GROUTING mejorará las propiedades mecánicas del suelo de fundación de la presa de tierra sector Palca?	Mejorar las propiedades mecánicas del suelo de fundación en el diseño con Jet-Grouting de la presa de tierra sector Palca.	Las mejoras que ofrece el tratamiento con Jet-Grouting en las propiedades mecánicas del suelo son el incremento de la capacidad de carga y reducción de la permeabilidad.			PERMEABILIDAD	
				FALLAS EN PRESAS DE TIERRA	PERDIDAS POR FILTRACIÓN	Muestra: La muestra que se tomó en el presente proyecto de investigación está conformada por cinco puntos que se encuentran ubicados dentro del eje de la cimentación
					SIFONAMIENTO	
¿De qué manera el diseño con JET-GROUTING disminuirá las fallas en la presa de tierra sector Palca?	Disminuir las fallas en el diseño con Jet-Grouting de la presa de tierra sector Palca.	Con respecto a las fallas en la presa de tierra, la aplicación de Jet-Grouting en el diseño disminuirá el riesgo de sifonamiento y reducirá las pérdidas por filtración.		ASENTAMIENTOS EN LA CIMENTACIÓN	ALTURA DE LA PRESA	Muestreo: El tipo de muestreo que se empleó en la presente investigación es no probabilístico por conveniencia
					ANCHO DE CIMENTACIÓN	
					LARGO DE CIMENTACIÓN	
			VOLUMEN DE EMBALSE			
¿De qué manera el diseño con JET-GROUTING disminuirá los asentamientos en la cimentación de la presa de tierra sector Palca?	Evaluar la reducción de asentamientos en el diseño con Jet-Grouting para la presa de tierra sector Palca.	El diseño con Jet-Grouting reducirá los asentamientos en la cimentación de la presa de tierra.		ANCHO DE CORONA		

## **Anexo 3. Plano topográfico**





VISTA EN PLANTA  
ESCALA 1/750



VISTA PERFIL DE LA PRESA  
ESCALA 1/750

DESCRIPCION DE MATERIALES		
ZONA	FUNCION	DESCRIPCION
1	NUCLEO IMPERMEABLE	ARCILLA, LIMO COMPACTADO EN CAPAS DE 0.25 m
2	FILTRO	ARENA Y GRAVA COMPACTADA
3	MATERIAL	MATERIAL SEMI PERMIABLE
4	CAMA DE ENROCADO	AGUAS ARRIBA e= 0.40 m AGUAS ABAJO e= 0.40 m
5	ENROCADO	AGUAS ARRIBA e= 1.20 m AGUAS ABAJO e= VARIABLE
6	AFIRMADO	AFIRMADO e= 0.30 m
7	DREN	DREN e= 0.30 y 0.40 m



UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

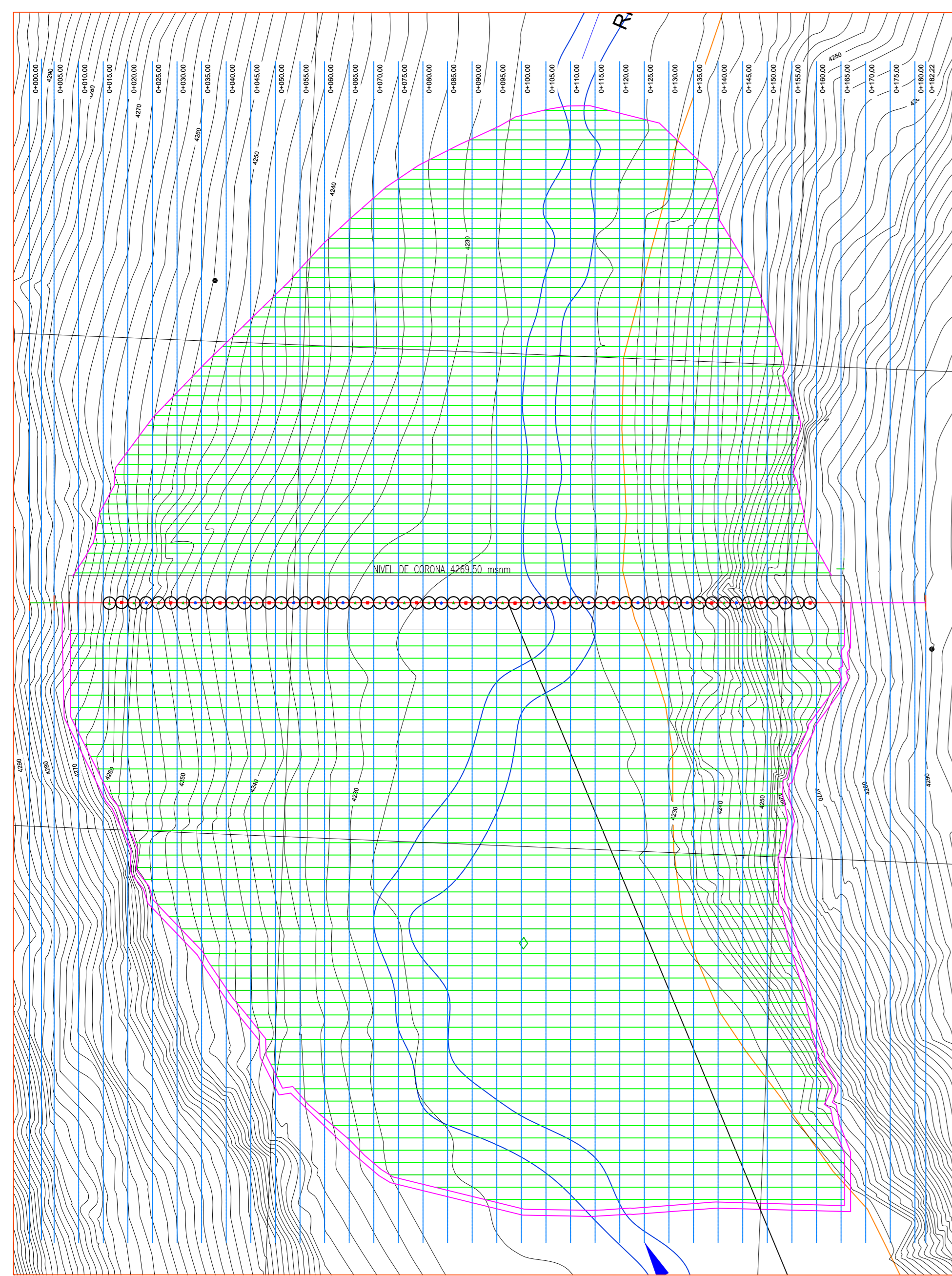
DISEÑO CON JET-GROUTING PARA MEJORAR LA ESTABILIDAD DE LA PRESA DE TIERRA SECTOR PALCA, PROVINCIA DE LAMPA-PUNO

### PLANO TOPOGRAFICO PRESA PALCA

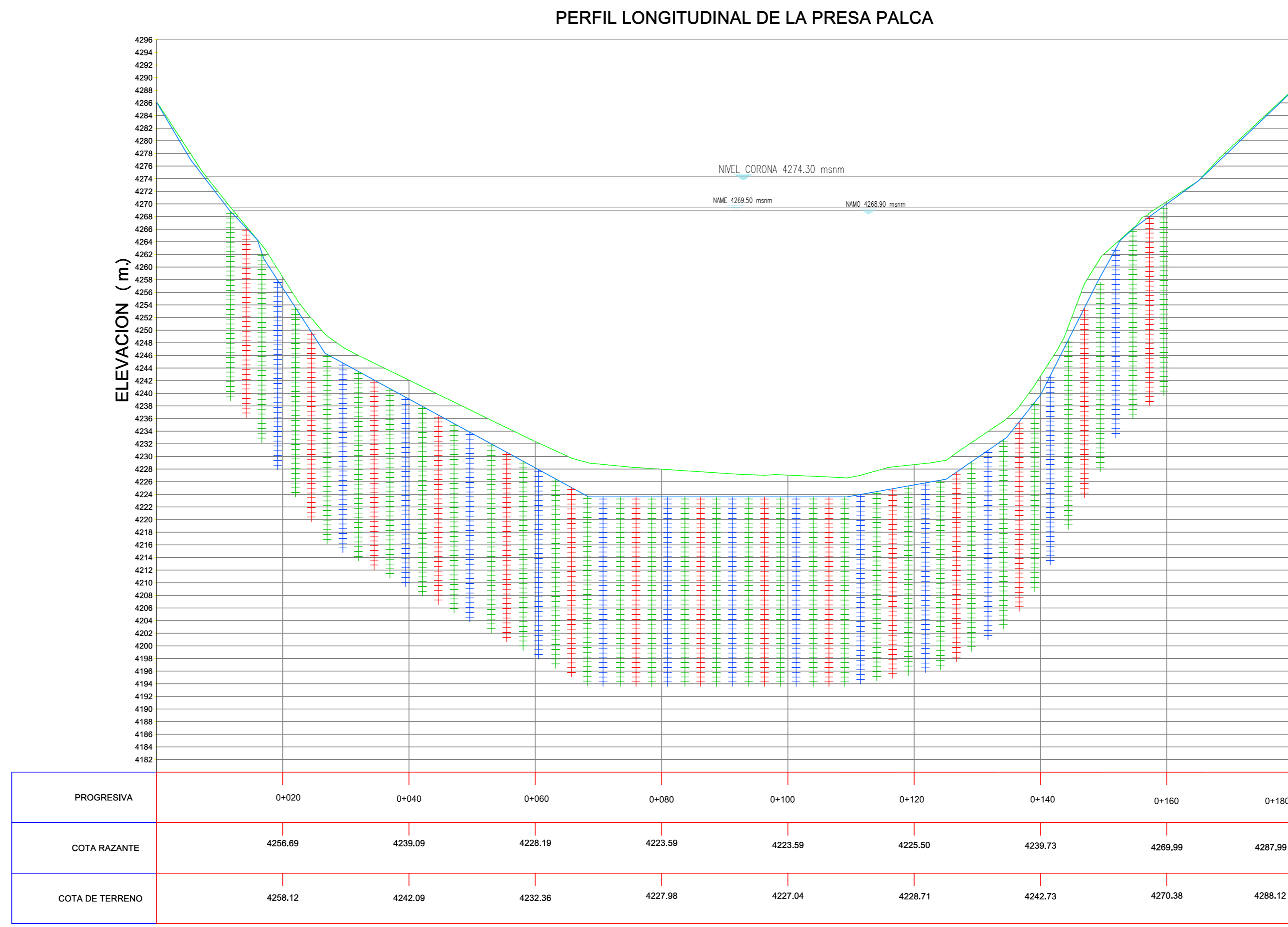
PRESA PALCA

UBICACIÓN: PALCA-PUNO	SECTOR: PALCA	PROV: LAMPA	REG: PUNO	PROYECTO DE TESIS
ESCALA: INDICADA	AUTORES: YUCRA MEDINA DAYANA ELIZABETH ACHATA DUEÑAS INDIRA YUBEL		ASESOR: MG. SAMIR AUGUSTO AREVALO VIDAL	LÁMINA: 01
FECHA: JULIO-2021				

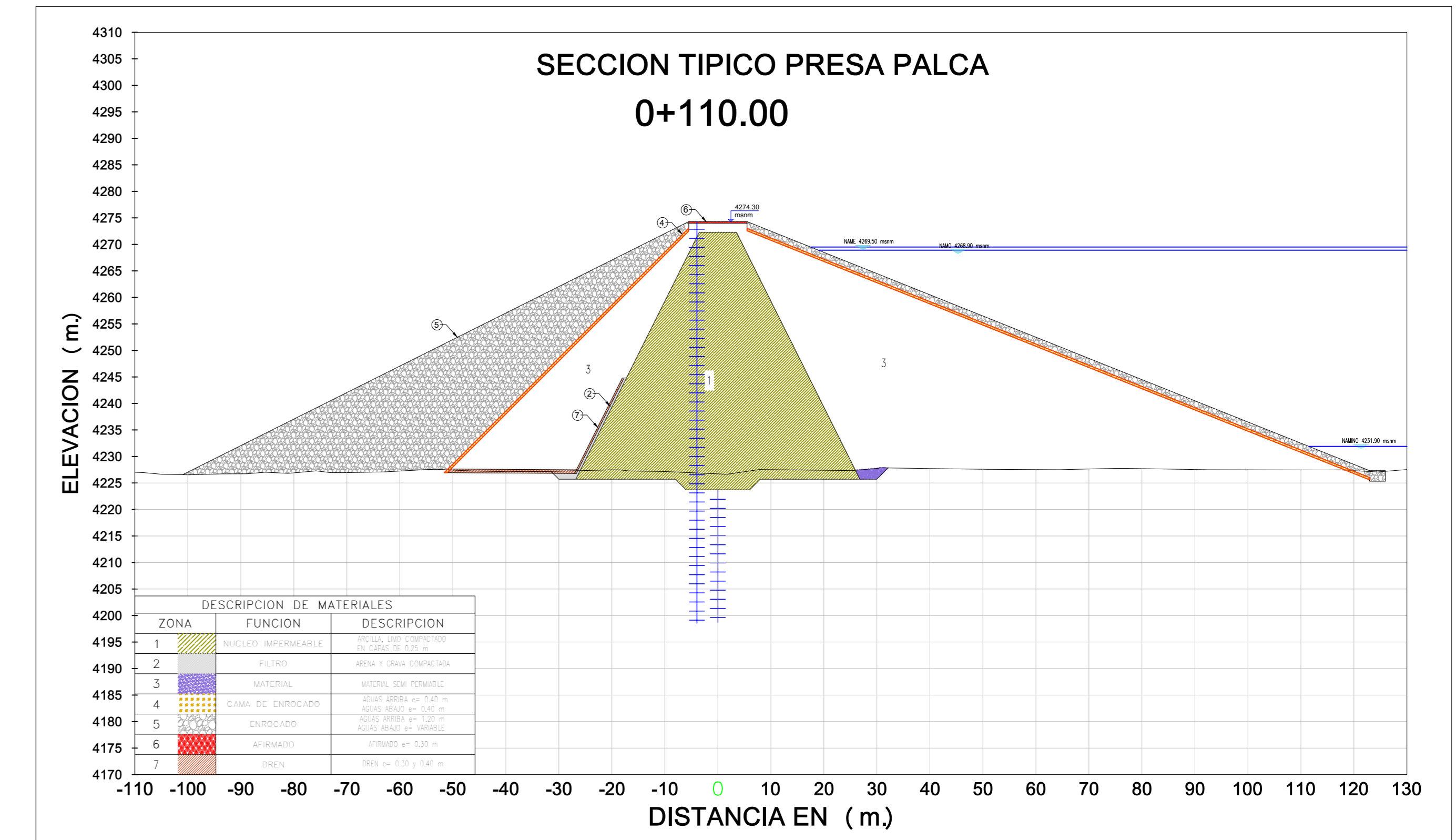
**Anexo 4. Plano de secciones, planta y perfil longitudinal.**



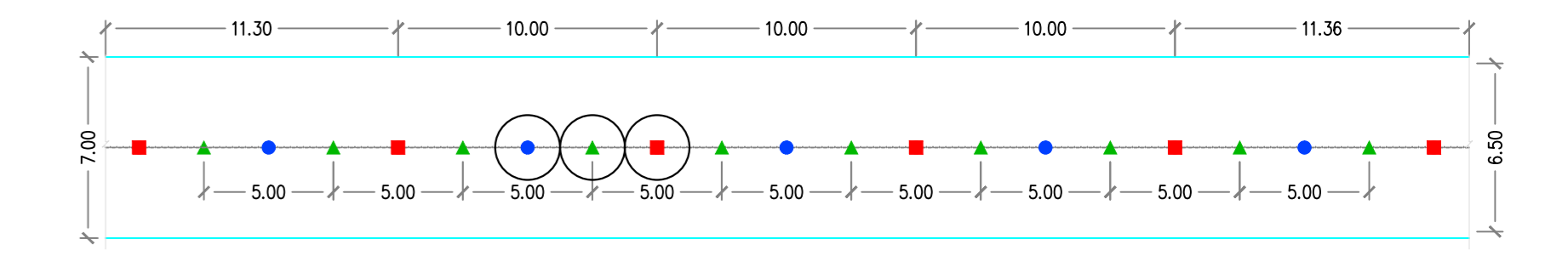
VISTA EN PLANTA DE SECCION LONGITUDINAL DE LA PRESA  
ESCALA 1/750



VISTA FRONTAL DE SECCION LONGITUDINAL DE LA PRESA  
ESCALA 1/750

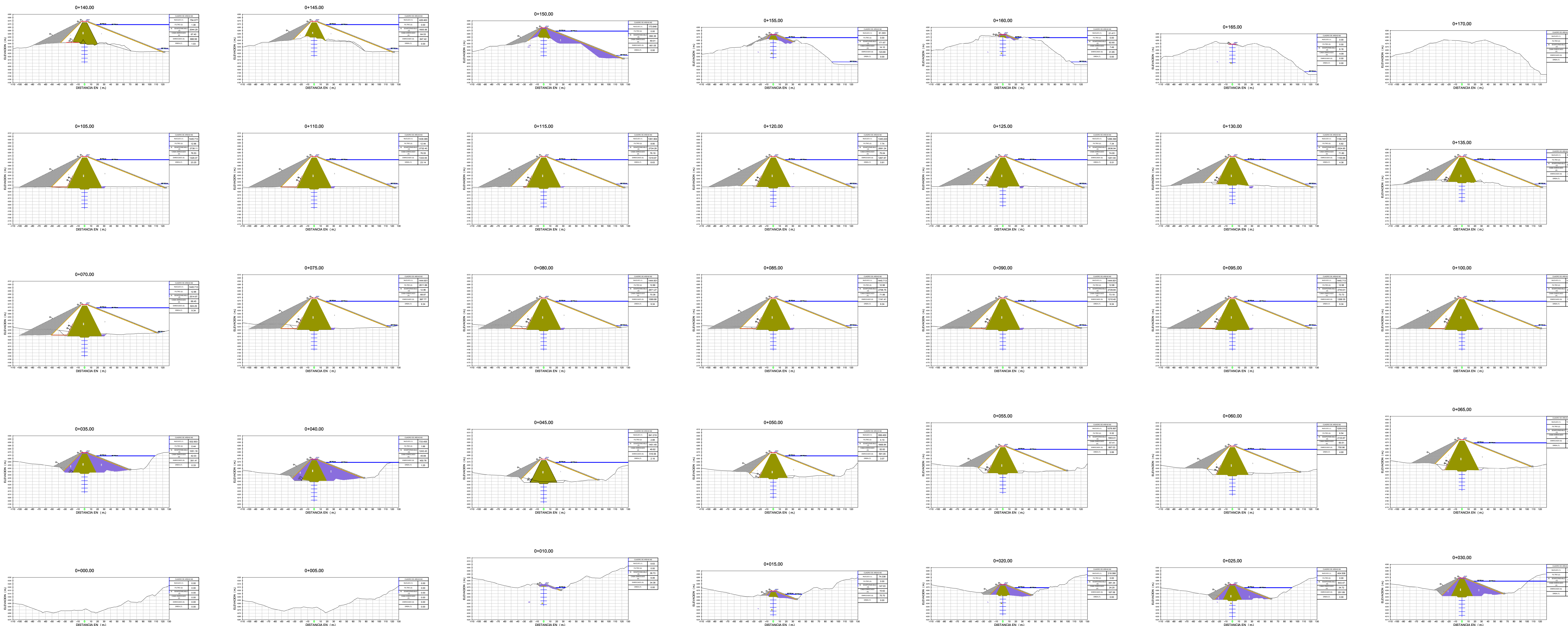


VISTA DE SECCION TRANSVERSAL DE LA PRESA  
ESCALA 1/750



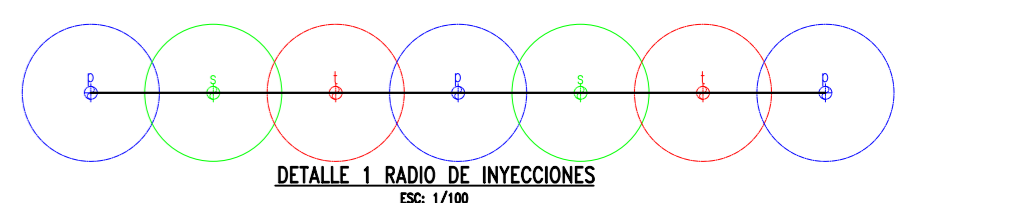
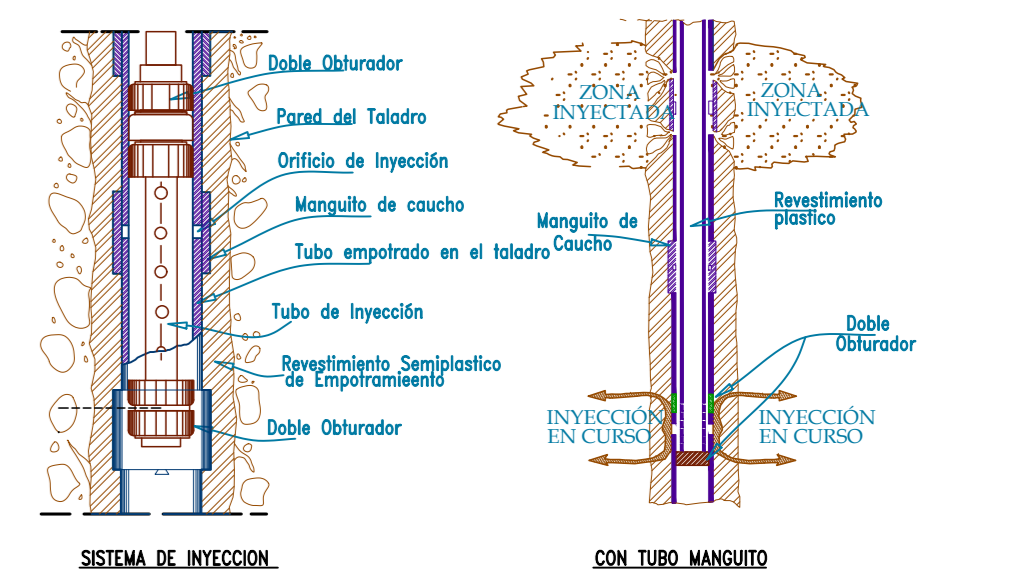
DISTRIBUCION DE PERFORACIONES E INYECCIONES

- PERFORACION PRIMARIA
- ▲ PERFORACION SECUNDARIA
- PERFORACION TERCARIA



VISTA CORTES DE SECCION TRANSVERSAL DE LA PRESA  
ESCALA 1/2500

ZONA	FUNCION	DESCRIPCION
1	NUCLEO IMPERMEABLE	ARCILLA LIMO COMPACTADO EN CAPAS DE 0.25 m
2	FILTRO	ARENA Y GRAVA COMPACTADA
3	MATERIAL	MATERIAL SEMI PERMEABLE
4	CAMA DE ENROCADO	AGUJAS ARriba ±± 0.40 m AGUJAS Abajo ±± 0.40 m
5	ENROCADO	AGUJAS ARriba ±± 1.00 m AGUJAS Abajo ±± VARIABLE
6	AFIRMADO	AFIRMADO ±± 0.30 m
7	DREN	DREN ±± 0.30 y 0.40 m

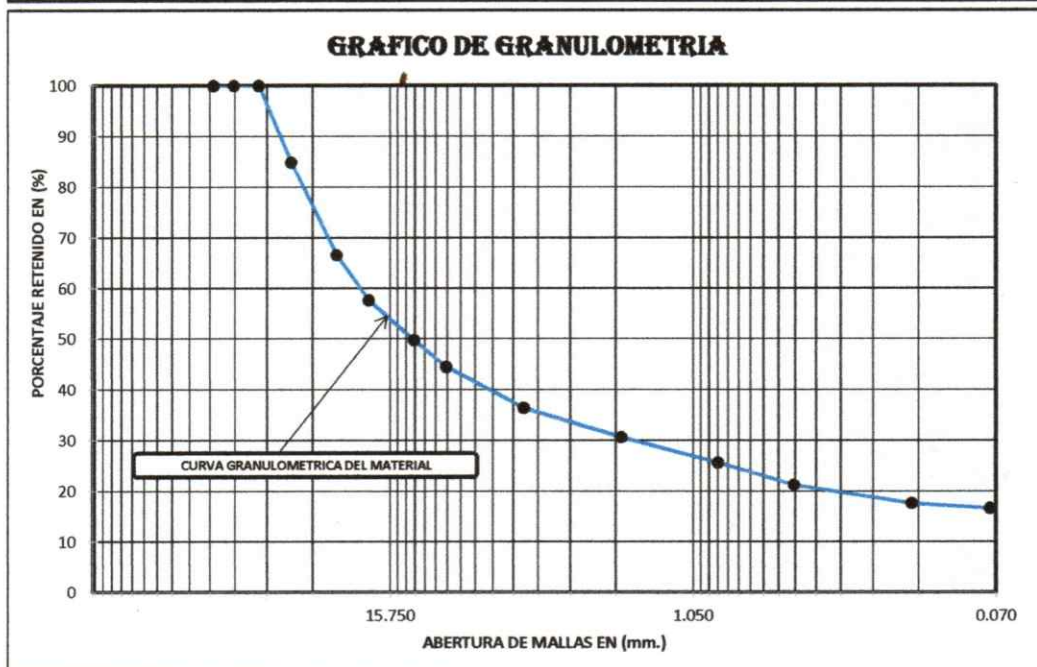


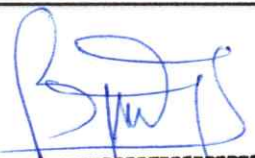
## **Anexo 5. Ensayos de campo y laboratorio**



**ESTUDIO DE SUELOS PARA PAVIMENTOS, IRRIGACIONES,  
SANEAMIENTO, EDIFICACIONES, ALQUILER DE EQUIPOS Y ENSAYOS  
DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO, ROCAS Y  
PAVIMENTOS**

<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO</b>							
<b>PROYECTO DE TESIS</b>			: APLICACIÓN DE JET-GROUTING PARA MEJORAR LA ESTABILIDAD DE LA PRESA DE TIERRA SECTOR PALCA, PROVINCIA DE LAMPA-PUNO.			<b>CALICATA</b>	: C-01
<b>UBICACIÓN</b>			: PALCA-LAMPA-PUNO			<b>ESTRATO</b>	: 0.20 - 1.30 m.
<b>SOLICITANTES</b>			: DAYANA E. YUCRA MEDINA INDIRA Y. ACHATA DUEÑAS			<b>ENCARGADO</b>	: ING. BRUNO TURPO SUCARI
						<b>FECHA</b>	: MAYO 2021
<b>NORMA : ASTM D422, AASHTO T88, MTC E-107.</b>							
Nº DE MALLAS	ABERTURA DE MALLAS (mm)	PESO RETENIDO	% RETEN. PARCIAL	% RETEN. ACUMUL.	% QUE PASA	ESPECIFICACIONES	<b>Peso Inicial</b> : 2,635.20 Gr.
3"	76.200	0.00	0.00	0.00	100.00		<b>Peso Fracción</b> : 0.00 Gr.
2 1/2"	63.500	0.00	0.00	0.00	100.00		<b>Humedad Natural</b> : 2.70 %
2"	50.600	0.00	0.00	0.00	100.00		<b>Limite Líquido</b> : N.P.
1 1/2"	38.100	396.85	15.06	15.06	84.94		<b>Limite Plástico</b> : 0.0
1"	25.400	482.24	18.30	33.36	66.64		
3/4"	19.050	236.78	8.99	42.34	57.66		
1/2"	12.700	206.22	7.83	50.17	49.83		
3/8"	9.525	140.42	5.33	55.50	44.50		
1/4"	6.350						
Nº 4	4.760	213.36	8.10	63.60	36.40		
Nº 8	2.380						
Nº 10	2.000	152.42	5.78	69.38	30.62		
Nº 16							
Nº 20	0.840	131.44	4.99	74.37	25.63		
Nº 30	0.590						
Nº 40	0.426	115.38	4.38	78.75	21.25		
Nº 50							
Nº 60							
Nº 80							
Nº 100	0.149	95.88	3.64	82.38	17.62		
Nº 200	0.074	25.00	0.95	83.33	16.67		
-200	0	439.21	16.67	100.00			
<b>CLASIFICACION</b>							
AASHTO :							<b>A-1-b (0)</b>
SUCS :							<b>GM</b>
Densidad Máxima :							1.70
Humedad Óptima :							24.46
I.G. :							0.00
CC :							0.00
CU :							0.00
D50 :							12.84
D65 :							24.24
<b>OBSERVACIONES:</b> ES UN MATERIAL CONFORMADO POR GRAVA LIMOSA							



  
**INGº BRUNO TURPO SUCARI**  
 RESPONSABLE DE LABORATORIO DE  
 SUELOS - CONCRETO - ASFALTO  
 CIP - 106875



**ESTUDIO DE SUELOS PARA PAVIMENTOS, IRRIGACIONES,  
SANEAMIENTO, EDIFICACIONES, ALQUILER DE EQUIPOS Y ENSAYOS  
DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO, ROCAS Y  
PAVIMENTOS**

**ENSAYOS DE CONSTANTES FISICOS ASTM D-4318**

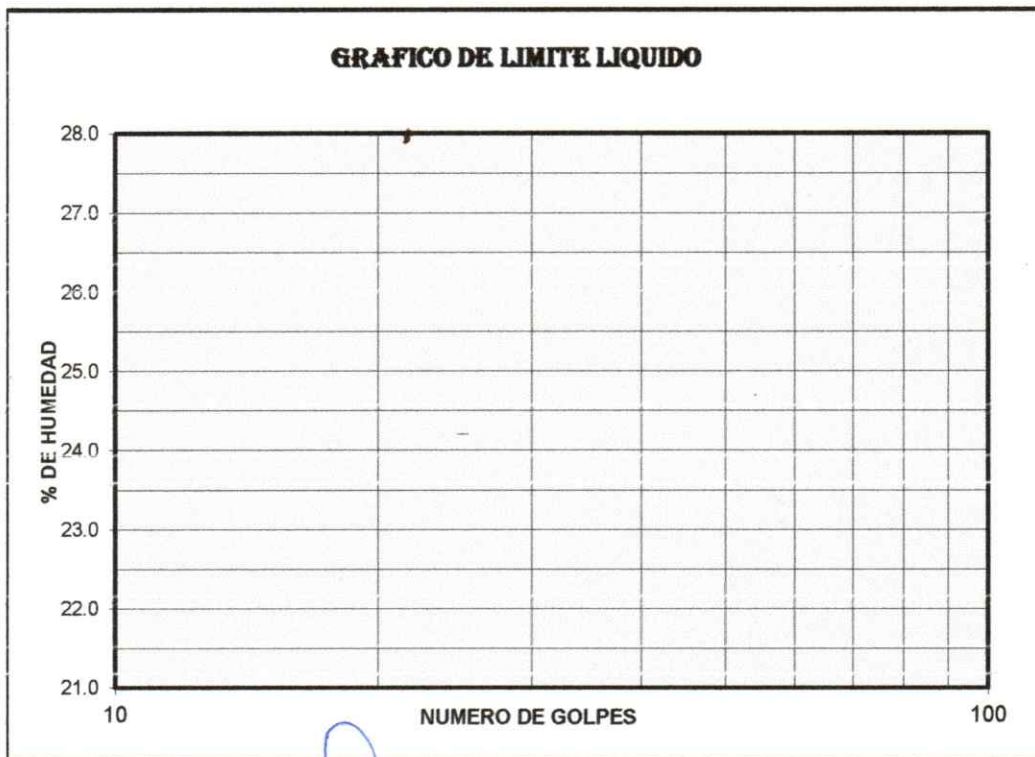
PROYECTO DE TESIS	: APLICACIÓN DE JET-GROUTING PARA MEJORAR LA ESTABILIDAD DE LA PRESA DE TIERRA SECTOR PALCA, PROVINCIA DE LAMPA-PUNO.	CALICATA	: C-01
UBICACIÓN	: PALCA-LAMPA-PUNO	ESTRATO	: 0.20 - 1.30 m.
SOLICITANTES	: DAYANA E. YUCRA MEDINA INDIRA Y. ACHATA DUEÑAS	ENCARGADO	: ING. BRUNO TURPO SUCARI
		FECHA	: MAYO 2021

LIMITE LIQUIDO			
Nro. De Tarro	Nº		
T. + Suelo Húmedo	Gr.		
T. + Suelo Seco	Gr.		
Agua	Gr.	N.P.	
Peso del Tarro	Gr.		
Suelo Seco	Gr.		
% de Humedad	%		
Nro. De Golpes	Nº		

DETERMINACIÓN DE HUMEDAD NATURAL			
Nro. De Tarro	Nº	103	74
T. + Suelo Húmedo	Gr.	383.42	354.94
T. + Suelo Seco	Gr.	374.90	346.43
Agua	Gr.	8.52	8.51
Peso del Tarro	Gr.	8.13	70.62
Suelo Seco	Gr.	386.77	275.81
% de Humedad	%	2.32	3.09
Humedad Natural	%	2.70	

LIMITE PLASTICO			
Nro. De Tarro	Nº		
T. + Suelo Húmedo	Gr.		
T. + Suelo Seco	Gr.		
Agua	Gr.	N.P.	
Peso del Tarro	Gr.		
Suelo Seco	Gr.		
% de Humedad	%		
Humedad Promedio	%		

LL = $W_n * (N/25) + 0.121$			
DONDE:			
LL	:	Limite líquido	
W <sub>n</sub>	:	Contenido de humedad promedio	
N	:	Número de golpes	
DETERMINACIÓN DE INDICE DE PLASTICIDAD			
L.L.	=	0.00	%
L.P.	=	0	N.P.
I.P.	=	0.00	%



  
**ING° BRUNO TURPO SUCARI**  
 RESPONSABLE DE LABORATORIO DE  
 ENSAYOS CONCRETO - ASFALTO  
 CIP - 105875



**ESTUDIO DE SUELOS PARA PAVIMENTOS, IRRIGACIONES,  
SANEAMIENTO, EDIFICACIONES, ALQUILER DE EQUIPOS Y ENSAYOS  
DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO, ROCAS Y  
PAVIMENTOS**

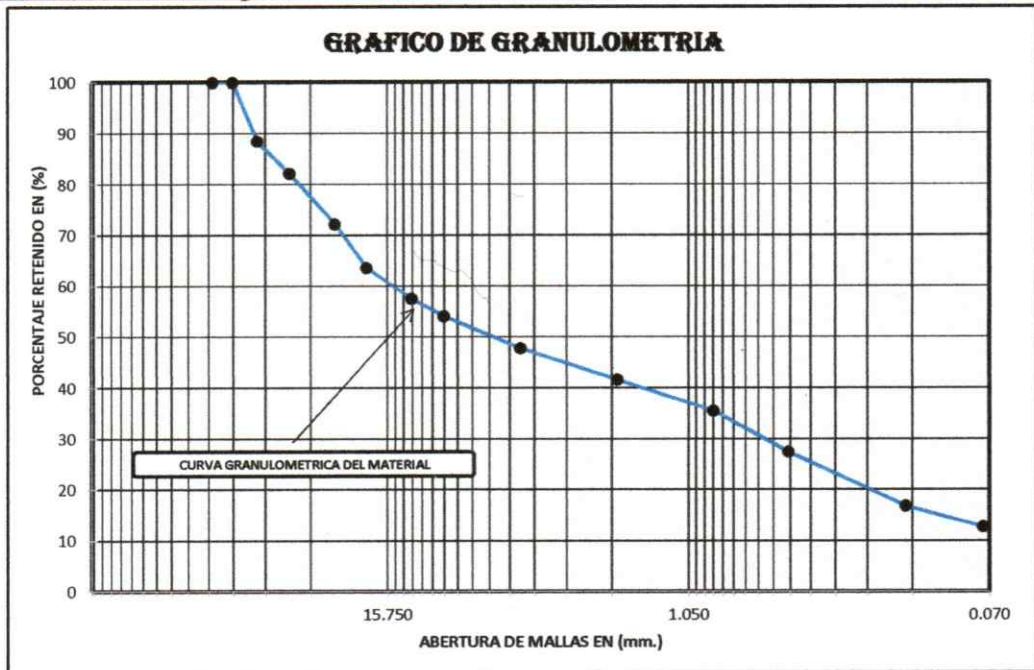
REGISTRO DE EXPLORACIONES							
<b>PROYECTO DE TESIS</b> : APLICACIÓN DE JET-GROUTING PARA MEJORAR LA ESTABILIDAD DE LA PRESA DE TIERRA SECTOR PALCA, PROVINCIA DE LAMPA-PUNO.		<b>UBICACIÓN</b> : PALCA-LAMPA-PUNO		<b>CALICATA</b> : C-01			
<b>SOLICITANTES</b> : DAYANA E. YUCRA MEDINA INDIRA Y. ACHATA DUEÑAS				<b>ESTRATO</b> : 0.20 - 1.30 m.		<b>ENCARGADO</b> : ING. BRUNO TURPO SUCARI	
				<b>FECHA</b> : MAYO 2021			
FOTO DE CALICATA 01							
ESCALA GRAFICA	PROFUNDIDAD m.	LONGITUD DE TRAMO m.	N.F. m.	MUESTRA OBTENIDA	SIMBOLOGIA	CLASIFICACION EN SUCS AASHTO	DESCRIPCION
	0.00	0.20 m	EL N.F. ESTA A 0.90 m	E-1		ML	CAPA SUPERFICIAL CONFORMADA POR MEZCLA DE LIMOS Y RAICES DE PLANTAS TÍPICAS DE LUGAR
	0.10						
	0.20						
	0.30						
	0.40	1.10 m		E-2		GM	ESTRATO CONFORMADO POR GRAVA LIMOSA DE COLOR MARRON CLARO A GRIS DE DENSIDAD NATURAL SUELTA A SEMI COMPACTO SEGÚN A LA PROFUNDIDAD CON PRESENCIA DE 63.60% DE MATERIAL DE GRAVA, 19.74% DE ARENA, 16.67% DE MATERIAL FINO QUE PASA EL TAMIZ N°200, NO TIENE PLASTICIDAD, CON PRESENCIA DE BLOQUES DE ROCA EN FORMA MUY AISLADA, SE ENCUENTRA SATURADO DE AGUA DESDE LA PROFUNDIDAD DE 0.90 M
	0.50						
	0.60						
	0.70						
	0.80						
	0.90						
	1.00	0.70 m		E-3		ROCA VOLCANICA	ANDESITAS BASALTICAS DE TIPO MASIVO DE CLASE II, III Y IV DE COLOR GRIS OSCURO A VERDUSCO
	1.10						
	1.20						
	1.30						
	1.40						
	1.50						
	1.60						
	1.70						
	1.80						
	1.90						
	2.00						
	2.10						
	2.20						
	2.30						
	2.40						
	2.50						

ING. BRUNO TURPO SUCARI  
 RESPONSABLE DE LABORATORIO DE  
 SUELOS - CONCRETO - ASFALTO  
 CIP - 106875



**ESTUDIO DE SUELOS PARA PAVIMENTOS, IRRIGACIONES,  
SANEAMIENTO, EDIFICACIONES, ALQUILER DE EQUIPOS Y ENSAYOS  
DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO, ROCAS Y  
PAVIMENTOS**

<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO</b>						
<b>PROYECTO DE TESIS</b>			: APLICACIÓN DE JET-GROUTING PARA MEJORAR LA ESTABILIDAD DE LA PRESA DE TIERRA SECTOR PALCA, PROVINCIA DE LAMPA-PUNO.		<b>CALICATA</b> : C-02	
<b>UBICACIÓN</b>			: PALCA-LAMPA-PUNO		<b>ESTRATO</b> : 0.20 - 1.30 m E-1	
<b>SOLICITANTES</b>			: DAYANA E. YUCRA MEDINA INDIRA Y. ACHATA DUEÑAS		<b>ENCARGADO</b> : ING. BRUNO TURPO SUCARI <b>FECHA</b> : MAYO 2021	
<b>NORMA : ASTM D422, AASHTO T88, MTC E-107.</b>						
Nº DE MALLAS	ABERTURA DE MALLAS (mm)	PESO RETENIDO	% RETEN. PARCIAL	% RETEN. ACUMUL.	% QUE PASA	ESPECIFICACIONES
3"	76.200	0.00	0.00	0.00	100.00	Peso Inicial : 2,992.00 Gr.
2 1/2"	63.500	0.00	0.00	0.00	100.00	Peso Fracción : 0.00 Gr.
2"	50.600	345.12	11.53	11.53	88.47	Humedad Natural : 2.68 %
1 1/2"	38.100	187.37	6.26	17.80	82.20	Limite Liquido : 0.0
1"	25.400	301.37	10.07	27.87	72.13	Limite Plastico : N.P.
3/4"	19.050	254.83	8.52	36.39	63.61	Indice Plastico : 0.0
1/2"	12.700	182.46	6.10	42.48	57.52	<b>CLASIFICACION</b> AASHTO : A-1-a (0) SUCS : GM I.G. : 0.00 CC : 0.00 CU : 0.00 D50 mm : 6.43 D65 mm : 20.08 D84 mm : 41.74 Dm mm : 16.65
3/8"	9.525	103.28	3.45	45.94	54.06	
1/4"	6.350					
Nº 4	4.760	186.88	6.25	52.18	47.82	
Nº 8	2.380					
Nº 10	2.000	186.36	6.23	58.41	41.59	
Nº 16	1.190					
Nº 20	0.840	182.90	6.11	64.52	35.48	
Nº 30	0.590					
Nº 40	0.426	239.11	7.99	72.52	27.48	
Nº 50	0.297					
Nº 60						<b>OBSERVACIONES:</b> ES UN MATERIAL CONFORMADO POR ARENA LIMOSA
Nº 80	0.177					
Nº 100	0.149	317.87	10.62	83.14	16.86	
Nº 200	0.074	122.72	4.10	87.24	12.76	
-200	0	381.73	12.76	100.00		



INGº BRUNO TURPO SUCARI  
RESPONSABLE DE LABORATORIO DE  
SUELOS - CONCRETO - ASFALTO  
CIP - 105875





**ESTUDIO DE SUELOS PARA PAVIMENTOS, IRRIGACIONES,  
SANEAMIENTO, EDIFICACIONES, ALQUILER DE EQUIPOS Y ENSAYOS  
DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO, ROCAS Y  
PAVIMENTOS**

**ENSAYOS DE CONSTANTES FISICAS ASTM D-4318**

PROYECTO DE TESIS	: APLICACIÓN DE JET-GROUTING PARA MEJORAR LA ESTABILIDAD DE LA PRESA DE TIERRA SECTOR PALCA, PROVINCIA DE LAMPA-PUNO.	CALICATA	: C-02
UBICACIÓN	: PALCA-LAMPA-PUNO	ESTRATO	: 0.20 - 1.30 m E-1
LUGAR	: SECTOR PALCA	ENCARGADO	: ING. BRUNO TURPO SUCARI
SOLICITANTES	: DAYANA E. YUCRA MEDINA INDIRA Y. ACHATA DUEÑAS	FECHA	: MAYO 2021

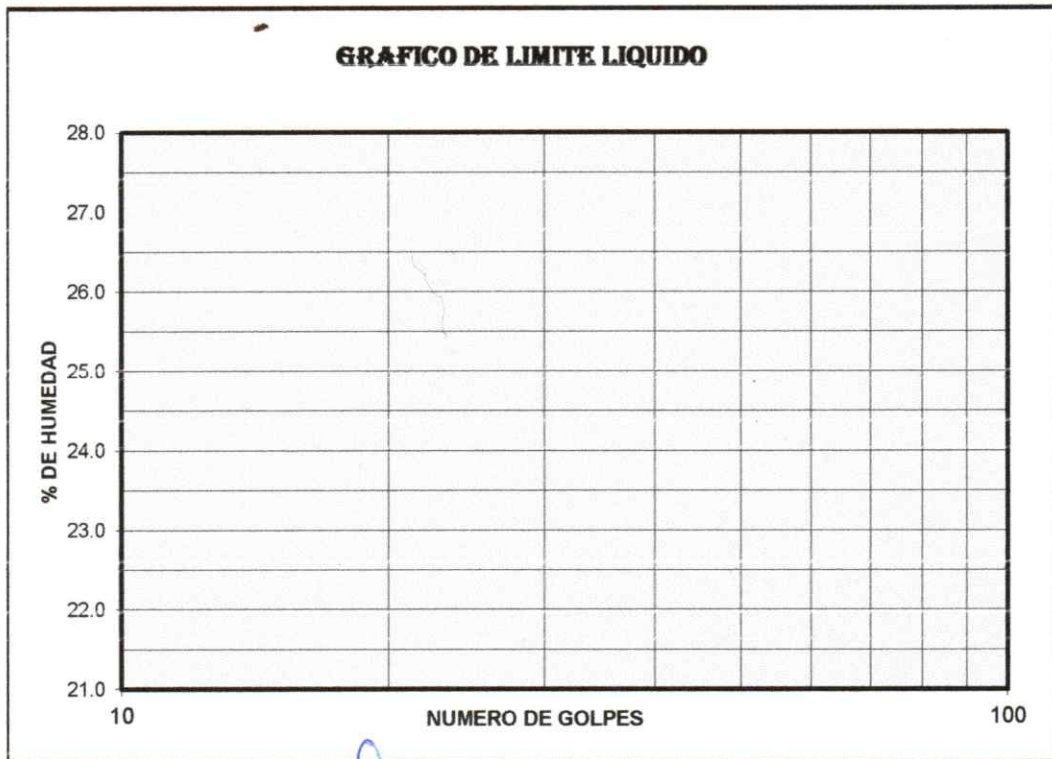
LIMITE LIQUIDO			
Nro. De Tarro	Nº		
T. + Suelo Húmedo	Gr.		
T. + Suelo Seco	Gr.		
Agua	Gr.	N.P.	
Peso del Tarro	Gr.		
Suelo Seco	Gr.		
% de Humedad	%		
Nro. De Golpes	Nº		

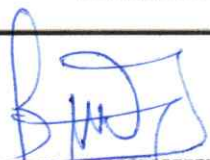
DETERMINACIÓN DE HUMEDAD NATURAL			
Nro. De Tarro	Nº	12	15
T. + Suelo Húmedo	Gr.	333.88	294.58
T. + Suelo Seco	Gr.	326.78	289.24
Agua	Gr.	7.10	5.34
Peso del Tarro	Gr.	70.85	83.21
Suelo Seco	Gr.	255.93	206.03
% de Humedad	%	2.77	2.59
Humedad Natural	%	2.68	

LIMITE PLASTICO			
Nro. De Tarro	Nº		
T. + Suelo Húmedo	Gr.		
T. + Suelo Seco	Gr.		
Agua	Gr.	N.P.	
Peso del Tarro	Gr.		
Suelo Seco	Gr.		
% de Humedad	%		
Humedad Promedio	%		

<b>LL = Wn * (N/25) + 0.121</b>			
<b>DONDE:</b>			
LL	:	Limite líquido	
Wn	:	Contenido de humedad promedio	
N	:	Número de golpes	
<b>DETERMINACIÓN DE INDICE DE PLASTICIDAD</b>			
L.L.	=	0.00	%
L.P.	=	N.P.	%
I.P.	=	0.00	%

**GRAFICO DE LIMITE LIQUIDO**

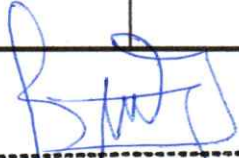


  
 ING° BRUNO TURPO SUCARI  
 RESPONSABLE DE LABORATORIO DE  
 SUELOS - CONCRETO - ASFALTO  
 CIP - 105875



**ESTUDIO DE SUELOS PARA PAVIMENTOS, IRRIGACIONES,  
SANEAMIENTO, EDIFICACIONES, ALQUILER DE EQUIPOS Y ENSAYOS  
DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO, ROCAS Y  
PAVIMENTOS**

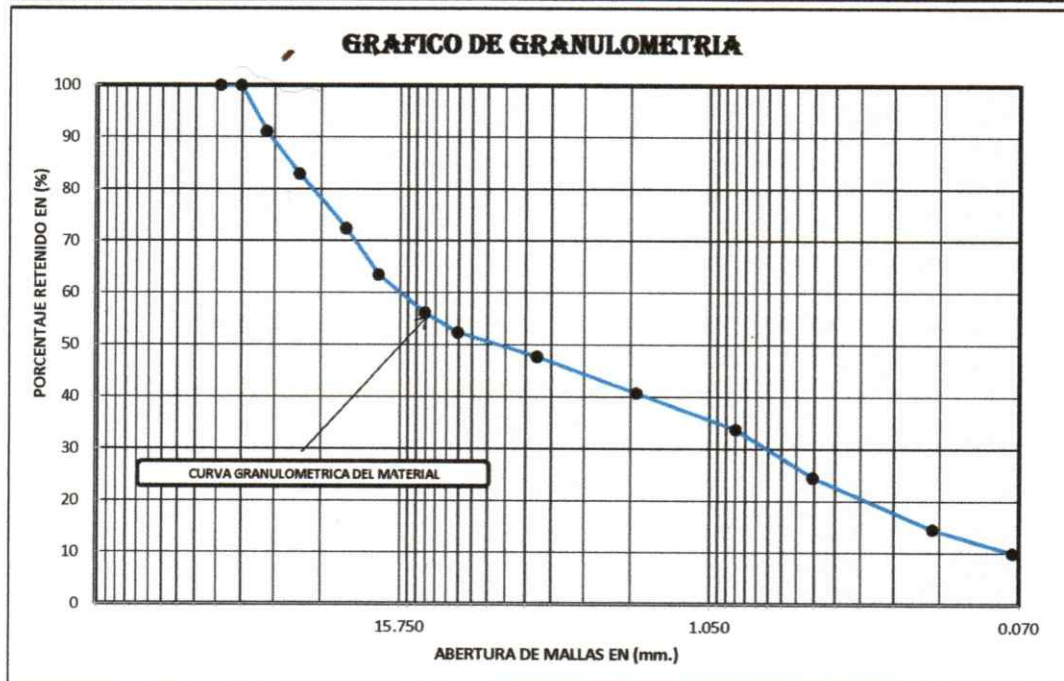
REGISTRO DE EXPLORACIONES							
PROYECTO DE TESIS	: APLICACIÓN DE JET-GROUTING PARA MEJORAR LA ESTABILIDAD DE LA PRESA DE TIERRA SECTOR PALCA, PROVINCIA DE LAMPA-PUNO.				CALICATA	: C-02	
UBICACIÓN	: PALCA-LAMPA-PUNO				ESTRATO	: 0.20 - 1.30 m E-1	
LUGAR	: SECTOR PALCA				ENCARGADO	: ING. BRUNO TURPO SUCARI	
SOLICITANTES	: DAYANA E. YUCRA MEDINA. INDIRA Y. ACHATA DUEÑAS				FECHA	: MAYO 2021	
FOTO DE CALICATA 02							
ESCALA GRAFICA	PROFUNDIDAD m.	LONGITUD DE TRAMO m.	N.F. m.	MUESTRA OBTENIDA	SIMBOLOGIA	CLASIFICACION EN SUCS AASHTO	DESCRIPCION
	0.00 0.10 0.20	0.20 m	N.F. ESTA A 0.60 m.	E-1		ML	CAPA SUPERFICIAL CONFORMADO POR MEZCLA DE LIMOS Y RAICES DE PLANTAS TÍPICAS DEL LUGAR.
	0.30 0.40 0.50 0.60 0.70 0.80 0.90 1.00 1.10 1.20	1.00 m		E-2		A-1-a (0) GM	ESTRATO CONFORMADO POR POR GRAVA LIMOSA CON PRESENCIA DE BOLONERIAS AISLADAMENTE DE TAMAÑO 3"-10" EN 15% DE COLOR GRIS AMARILLENTO DE COMPACIDAD MEDIA A SUELTO NO TIENE PLASTICIDAD Y ESTA CONSTITUIDO POR EL 52.18% DE GRAVA, 35.06% DE ARENAS, 12.76% DE MATERIAL FINO QUE PASA LA MALLA 200, HAY PRESENCIA DE NIVEL FREÁTICO A UNA PROFUNDIDAD DE 0.60M.
	1.30 1.40 1.50 1.60 1.70 1.80 1.90 2.00	0.80 m		E-3		ROCA VOLCANICA	ANDESITAS BASALTICAS DE TIPO MASIVO DE CLASE II, III Y IV DE COLOR GRIS OSCURO A VERDUSCO.
	2.10 2.20 2.30 2.40 2.50						

  
 ING° BRUNO TURPO SUCARI  
 RESPONSABLE DE LABORATORIO DE  
 SUELOS - CONCRETO - ASFALTO  
 CIP - 105875



# ESTUDIO DE SUELOS PARA PAVIMENTOS, IRRIGACIONES, SANEAMIENTO, EDIFICACIONES, ALQUILER DE EQUIPOS Y ENSAYOS DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO, ROCAS Y PAVIMENTOS

<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO</b>						
<b>PROYECTO DE TESIS</b>		: APLICACIÓN DE JET-GROUTING PARA MEJORAR LA ESTABILIDAD DE LA PRESA DE TIERRA SECTOR PALCA, PROVINCIA DE LAMPA-PUNO.			<b>CALICATA</b> : C-03	
<b>UBICACIÓN</b>		: PALCA-LAMPA-PUNO			<b>ESTRATO</b> : 0.20 - 1.40 m E-1	
<b>SOLICITANTES</b>		: DAYANA E. YUCRA MEDINA INDIRA Y. ACHATA DUEÑAS			<b>ENCARGADO</b> : ING. BRUNO TURPO SUCARI	
					<b>FECHA</b> : MAYO 2021	
<b>NORMA : ASTM D422, AASHTO T88, MTC E-107.</b>						
N° DE MALLAS	ABERTURA DE MALLAS (mm)	PESO RETENIDO	% RETEN. PARCIAL	% RETEN. ACUMUL.	% QUE PASA	ESPECIFICACIONES
3"	76.200	0.00	0.00	0.00	100.00	
2 1/2"	63.500	0.00	0.00	0.00	100.00	
2"	50.800	254.65	8.87	8.87	91.13	
1 1/2"	38.100	234.54	8.17	17.05	82.95	
1"	25.400	301.22	10.50	27.55	72.45	
3/4"	19.050	257.43	8.97	36.52	63.48	
1/2"	12.700	210.33	7.33	43.85	56.15	
3/8"	9.525	110.32	3.84	47.69	52.31	
1/4"	6.350					
N° 4	4.760	132.43	4.62	52.31	47.69	
N° 8	2.380					
N° 10	2.000	199.32	6.95	59.25	40.75	
N° 16	1.190					
N° 20	0.840	199.40	6.95	66.20	33.80	
N° 30	0.590					
N° 40	0.426	266.32	9.28	75.48	24.52	
N° 50	0.297					
N° 60						
N° 80	0.177					
N° 100	0.149	287.32	10.01	85.50	14.50	
N° 200	0.074	132.22	4.61	90.11	9.89	
-200	0	283.93	9.89	100.00		
<b>CLASIFICACION</b>						
AASHTO : <b>A-1-a (0)</b>						
SUCS : <b>GP-GM</b>						
I.G. : 0.00						
CC : 0.37						
CU : 211.77						
D50 mm : 7.14						
D65 mm : 20.12						
D84 mm : 39.73						
Dm mm : 16.38						
<b>OBSERVACIONES:</b> ES UN MATERIAL CONFORMADO POR ARENA LIMOSA						



ING° BRUNO TURPO SUCARI  
RESPONSABLE DE LABORATORIO DE  
SUELOS - CONCRETO - ASFALTO  
CIP - 105875



**ESTUDIO DE SUELOS PARA PAVIMENTOS, IRRIGACIONES,  
SANEAMIENTO, EDIFICACIONES, ALQUILER DE EQUIPOS Y ENSAYOS  
DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO, ROCAS Y  
PAVIMENTOS**

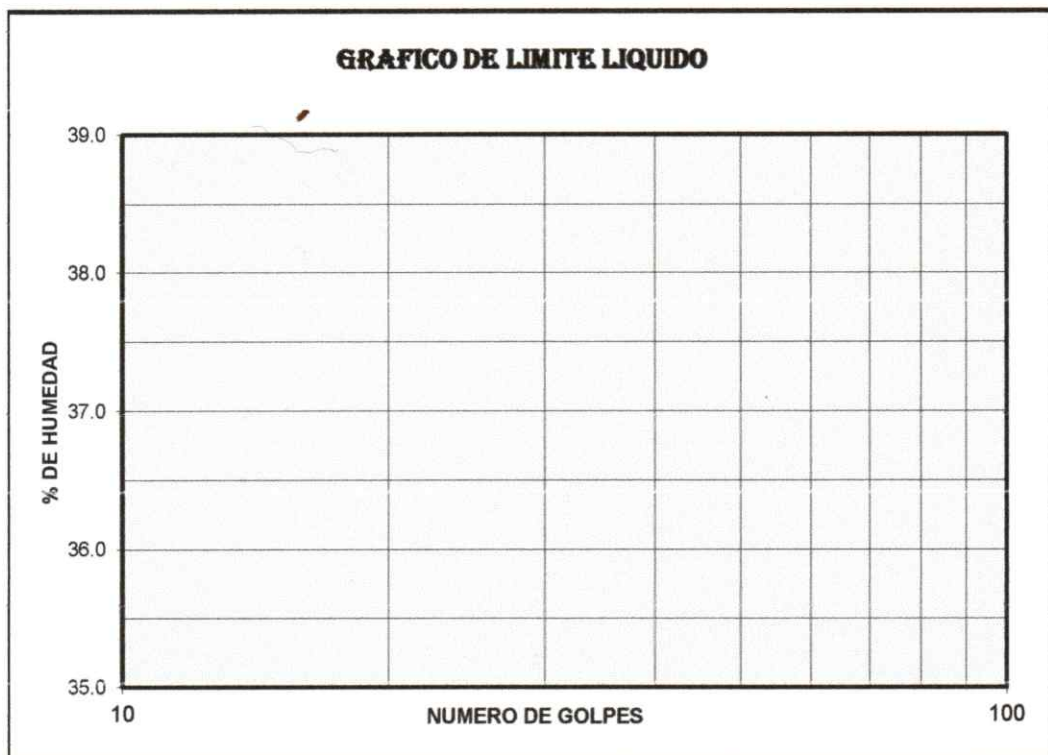
<b>ENSAYOS DE CONSTANTES FISICOS ASTM D-4318</b>			
PROYECTO	: APLICACIÓN DE JET-GROUTING PARA MEJORAR LA ESTABILIDAD DE LA PRESA DE TIERRA SECTOR PALCA, PROVINCIA DE LAMPA-PUNO.	CALICATA	: C-03
UBICACIÓN	: PALCA-LAMPA-PUNO	ESTRATO	: 0.20 - 1.40 m E-1
SOLICITANTES	: DAYANA E. YUCRA MEDINA INDIRA Y. ACHATA DUEÑAS	ENCARGADO	: ING. BRUNO TURPO SUCARI
		FECHA	: MAYO 2021

<b>LIMITE LIQUIDO</b>			
Nro. De Tarro	Nº		
T. + Suelo Húmedo	Gr.		
T. + Suelo Seco	Gr.		
Agua	Gr.	<b>N.P.</b>	
Peso del Tarro	Gr.		
Suelo Seco	Gr.		
% de Humedad	%		
Nro. De Golpes	Nº		

<b>DETERMINACIÓN DE HUMEDAD NATURAL</b>			
Nro. De Tarro	Nº	20	50
T. + Suelo Húmedo	Gr.	323.54	244.55
T. + Suelo Seco	Gr.	289.54	222.54
Agua	Gr.	34.00	22.01
Peso del Tarro	Gr.	71.32	80.54
Suelo Seco	Gr.	218.22	142.00
% de Humedad	%	15.58	15.50
Humedad Natural	%	15.54	

<b>LIMITE PLASTICO</b>			
Nro. De Tarro	Nº		
T. + Suelo Húmedo	Gr.		
T. + Suelo Seco	Gr.		
Agua	Gr.	<b>N.P.</b>	
Peso del Tarro	Gr.		
Suelo Seco	Gr.		
% de Humedad	%		
Humedad Promedio	%		

<b>LL = Wn * (N/25) + 0.121</b>			
<b>DONDE:</b>			
LL	:	Limite liquido	
Wn	:	Contenido de humedad promedio	
N	:	Número de golpes	
<b>DETERMINACIÓN DE INDICE DE PLASTICIDAD</b>			
L.L.	=	0.00	%
L.P.	=	<b>N.P.</b>	
I.P.	=	0.00	%



  
**ING. BRUNO TURPO SUCARI**  
 RESPONSABLE DE LABORATORIO DE  
 SUELOS - CONCRETO - ASFALTO  
 CIP - 105875



**ESTUDIO DE SUELOS PARA PAVIMENTOS, IRRIGACIONES,  
SANEAMIENTO, EDIFICACIONES, ALQUILER DE EQUIPOS Y ENSAYOS  
DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO, ROCAS Y  
PAVIMENTOS**

**REGISTRO DE EXPLORACIONES**

<b>PROYECTO</b>	: APLICACIÓN DE JET-GROUTING PARA MEJORAR LA ESTABILIDAD DE LA PRESA DE TIERRA SECTOR PALCA, PROVINCIA DE LAMPA-PUNO.	<b>CALICATA</b>	: C-03	
	<b>UBICACIÓN</b>	: LAMPA-LAMPA-PUNO	<b>ESTRATO</b>	: 0.20 - 1.40 m E-1
	<b>SOLICITANTES</b>	: DAYANA E. YUCRA MEDINA INDIRA Y. ACHATA DUEÑAS	<b>ENCARGADO</b>	: ING. BRUNO TURPO SUCARI
			<b>FECHA</b>	: MAYO 2021

FOTO DE CALICATA 03



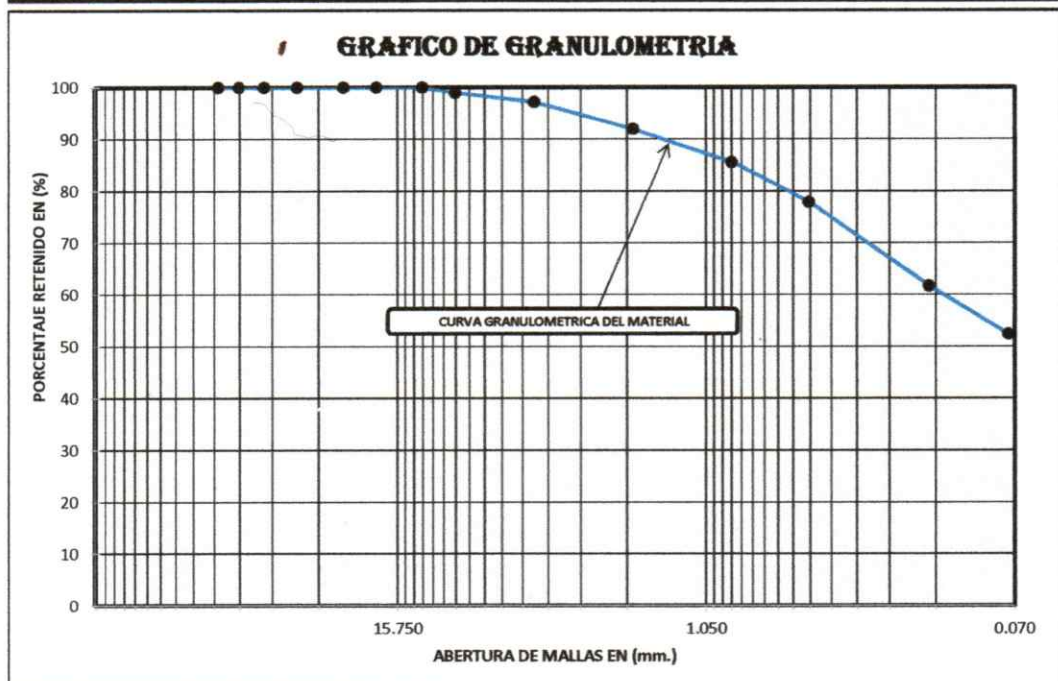
ESCALA GRAFICA	PROFUNDIDAD m.	LONGITUD DE TRAMO m.	N.F. m.	MUESTRA OBTENIDA	SIMBOLOGIA	CLASIFICACION EN SUCS AASHTO	DESCRIPCION
0.00 0.10 0.20	0.20 m	0.20 m	N.F. ESTA A 1.00 m.	E - 1		ML	CAPA SUPERFICIAL CONFORMADO POR MEZCLA DE LIMOS Y RAICES DE PLANTAS TÍPICAS DEL LUGAR.
				E - 2		A-1-a (0) GP-GM	ESTRATO CONFORMADO POR POR GRAVA LIMOSA CON PRESENCIA DE BOLONERIAS Y BLOQUES DE ROCA AISLADAMENTE DE TAMAÑO 3"-10" EN 15% DE COLOR GRIS AMARILLENTO DE COMPACIDAD MEDIA A SUELTO NO TIENE PLASTICIDAD Y ESTA CONSTITUIDO POR EL 52.31% DE GRAVA, 37.80% DE ARENAS, 9.89% DE MATERIAL FINO QUE PASA LA MALLA 200. HAY PRESENCIA DE NIVEL FREÁTICO A UNA PROFUNDIDAD DE 1.00M.
				E - 3		ROCA VOLCANICA	ANDESITAS BASALTICAS DE TIPO MASIVO DE CLASE II, III Y IV DE COLOR GRIS OSCURO A VERDUSCO.
0.30 0.40 0.50 0.60 0.70 0.80 0.90 1.00 1.10 1.20 1.30 1.40 1.50 1.60 1.70 1.80 1.90 2.00 2.10 2.20 2.30 2.40 2.50	1.20 m	0.80 m					


**ING. BRUNO TURPO SUCARI**  
 RESPONSABLE DE LABORATORIO DE  
 SUELOS - CONCRETO - ASFALTO  
 CIP - 105875



**ESTUDIO DE SUELOS PARA PAVIMENTOS, IRRIGACIONES,  
SANEAMIENTO, EDIFICACIONES, ALQUILER DE EQUIPOS Y ENSAYOS  
DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO, ROCAS Y  
PAVIMENTOS**

<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO</b>						
<b>PROYECTO DE TESIS</b>		: APLICACIÓN DE JET-GROUTING PARA MEJORAR LA ESTABILIDAD DE LA PRESA DE TIERRA SECTOR PALCA, PROVINCIA DE LAMPA-PUNO.			<b>CALICATA</b> : C-01 ZONA DE EMBALSE	
<b>UBICACIÓN</b>		PALCA-LAMPA-PUNO			<b>ESTRATO</b> : E2 (0.20 - 1.20 m).	
<b>SOLICITANTES</b>		: DAYANA E. YUCRA MEDINA INDIRA Y. ACHATA DUEÑAS			<b>ENCARGADO</b> : ING. BRUNO TURPO SUCARI	
					<b>FECHA</b> : MAYO 2021	
						<b>NORMA</b> : ASTM D422, AASHTO T88, MTC E-107.
Nº DE MALLAS	ABERTURA DE MALLAS (mm)	PESO RETENIDO	% RETEN. PARCIAL	% RETEN. ACUMUL.	% QUE PASA	ESPECIFICACIONES
3"	76.200	0.00	0.00	0.00	100.00	Peso Inicial : 0,555.39 Gr.
2 1/2"	63.500	0.00	0.00	0.00	100.00	Peso Fracción : 0.00 Gr.
2"	50.600	0.00	0.00	0.00	100.00	Humedad Natural : 18.51 %
1 1/2"	38.100	0.00	0.00	0.00	100.00	Limite Liquido : 25.9
1"	25.400	0.00	0.00	0.00	100.00	Limite Plastico : 21.4
3/4"	19.050	0.00	0.00	0.00	100.00	Indice Plastico : 4.5
1/2"	12.700	0.00	0.00	0.00	100.00	<b>CLASIFICACION</b>
3/8"	9.525	5.57	1.00	1.00	99.00	AASHTO : A-4 (3)
1/4"	6.350					SUCS : ML-CL
Nº 4	4.760	9.88	1.78	2.78	97.22	Densidad Máxima : 0.00
Nº 8	2.380					Humedad Optima : 0.00
Nº 10	2.000	29.08	5.24	8.02	91.98	I.G. : 3.00
Nº 16						CC : 0.00
Nº 20	0.840	35.10	6.32	14.34	85.66	CU : 0.00
Nº 30	0.590					D50 :
Nº 40	0.426	43.14	7.77	22.11	77.89	D65 :
Nº 50						
Nº 60						
Nº 80						<b>OBSERVACIONES</b> : ES UN MATERIAL CONFORMADO POR LIMO Y ARCILLA DE BAJA PLASTICIDAD
Nº 100	0.149	89.81	16.17	38.28	61.72	
Nº 200	0.074	51.89	9.34	47.62	52.38	
-200	0	290.92	52.38	100.00		



  
 ING. BRUNO TURPO SUCARI  
 RESPONSABLE DE LABORATORIO DE  
 SUELOS - CONCRETO - ASFALTO  
 CIP - 105875



**ESTUDIO DE SUELOS PARA PAVIMENTOS, IRRIGACIONES,  
SANEAMIENTO, EDIFICACIONES, ALQUILER DE EQUIPOS Y ENSAYOS  
DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO, ROCAS Y  
PAVIMENTOS**

**ENSAYOS DE CONSTANTES FISICAS ASTM D-4318**

PROYECTO DE TESIS	: APLICACIÓN DE JET-GROUTING PARA MEJORAR LA ESTABILIDAD DE LA PRESA DE TIERRA SECTOR PALCA, PROVINCIA DE LAMPA-PUNO.	CALICATA	: C-01 ZONA DE EMBALSE
UBICACIÓN	: PALCA-LAMPA-PUNO	ESTRATO	: E2 (0.20 - 1.20 m).
SOLICITANTES	: DAYANA E. YUCRA MEDINA INDIRA Y. ACHATA DUEÑAS	ENCARGADO	: ING. BRUNO TURPO SUCARI
		FECHA	: MAYO 2021

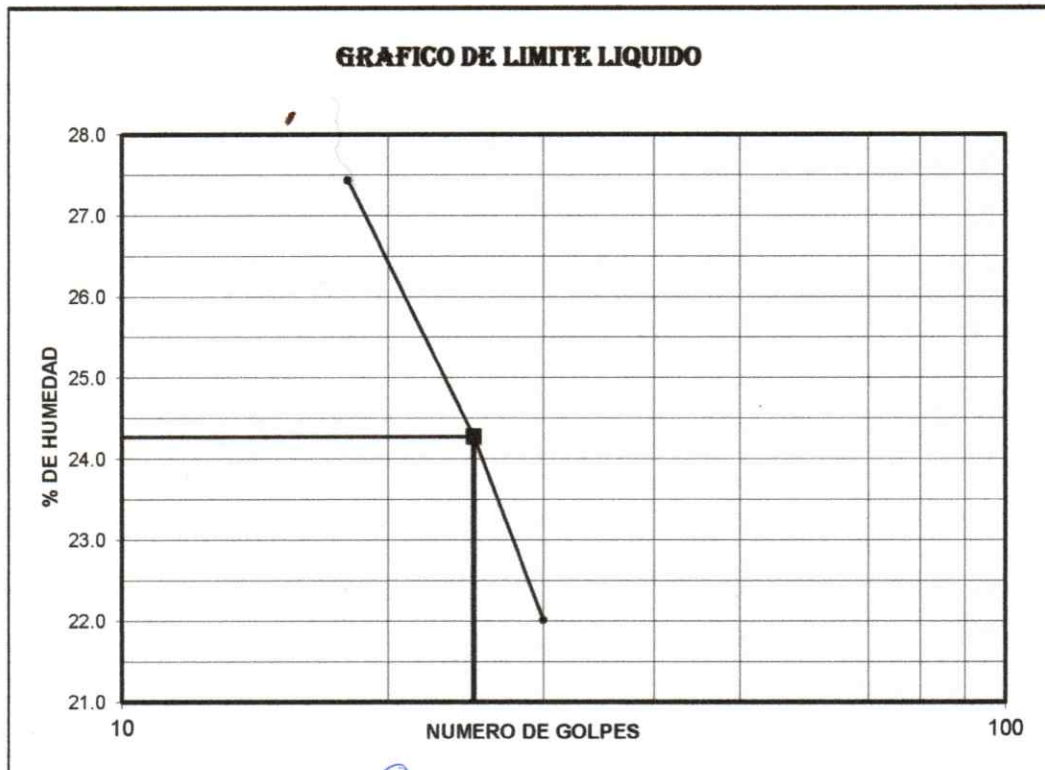
LIMITE LIQUIDO			
Nro. De Tarro	Nº	105	106
T. + Suelo Húmedo	Gr.	39.33	43.28
T. + Suelo Seco	Gr.	34.18	36.98
Agua	Gr.	5.15	6.30
Peso del Tarro	Gr.	13.96	13.96
Suelo Seco	Gr.	20.22	23.02
% de Humedad	%	25.47	27.37
Nro. De Golpes	Nº	28	15

DETERMINACIÓN DE HUMEDAD NATURAL			
Nro. De Tarro	Nº	50	51
T. + Suelo Húmedo	Gr.	234.73	232.46
T. + Suelo Seco	Gr.	209.45	205.78
Agua	Gr.	25.28	26.68
Peso del Tarro	Gr.	66.84	67.45
Suelo Seco	Gr.	142.61	138.33
% de Humedad	%	17.73	19.29
Humedad Natural	%	18.51	

LIMITE PLASTICO			
Nro. De Tarro	Nº	71	12
T. + Suelo Húmedo	Gr.	11.05	11.86
T. + Suelo Seco	Gr.	10.35	10.59
Agua	Gr.	0.70	1.27
Peso del Tarro	Gr.	7.10	4.62
Suelo Seco	Gr.	3.25	5.97
% de Humedad	%	21.54	21.27
Humedad Promedio	%	21.41	

<b>LL = Wn * (N/25) + 0.121</b>			
<b>DONDE:</b>			
LL	:	Limite líquido	
Wn	:	Contenido de humedad promedio	
N	:	Número de golpes	
<b>DETERMINACIÓN DE INDICE DE PLASTICIDAD</b>			
L.L.	=	25.91	%
L.P.	=	21.41	%
I.P.	=	4.50	%

**GRAFICO DE LIMITE LIQUIDO**

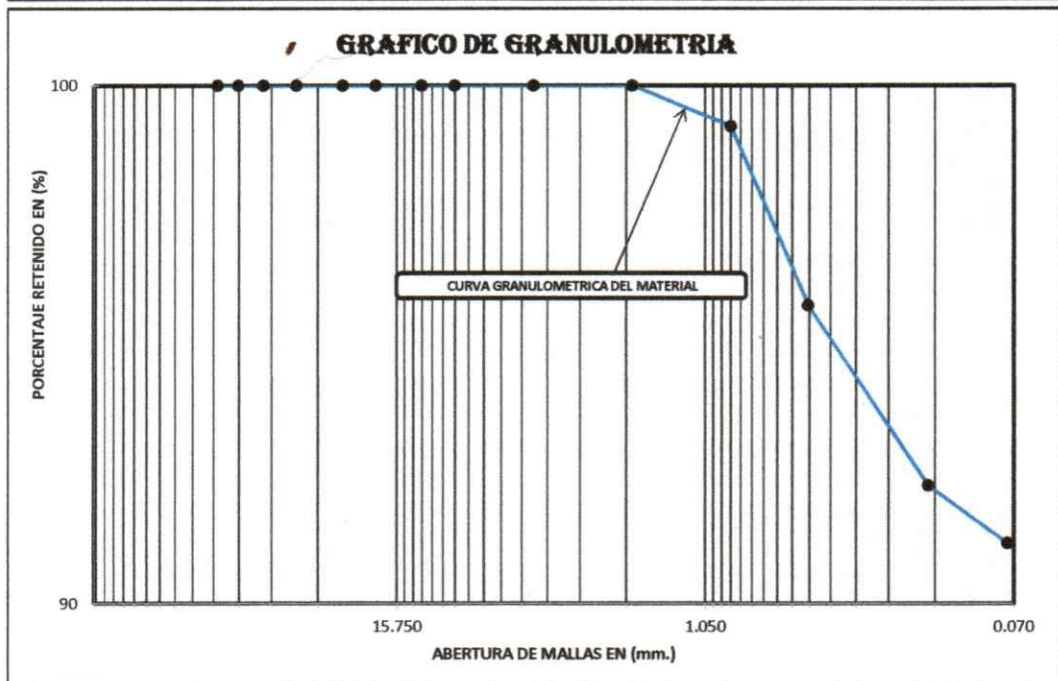


  
 ING° BRUNO TURPO SUCARI  
 RESPONSABLE DE LABORATORIO DE  
 SUELOS - CONCRETO - ASFALTO  
 CIP - 105875



**ESTUDIO DE SUELOS PARA PAVIMENTOS, IRRIGACIONES,  
SANEAMIENTO, EDIFICACIONES, ALQUILER DE EQUIPOS Y ENSAYOS  
DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO, ROCAS Y  
PAVIMENTOS**

<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO</b>						
<b>PROYECTO DE TESIS</b>		: APLICACIÓN DE JET-GROUTING PARA MEJORAR LA ESTABILIDAD DE LA PRESA DE TIERRA SECTOR PALCA, PROVINCIA DE LAMPA-PUNO.			<b>CALICATA</b> : C-01 ZONA EMBALSE	
<b>UBICACIÓN</b>		: PALCA-LAMPA-PUNO			<b>ESTRATO</b> : E3 (1.20 - 2.00 m)	
<b>SOLICITANTES</b>		: DAYANA E. YUCRA MEDINA INDIRA Y. ACHATA DUEÑAS			<b>ENCARGADO</b> : ING. BRUNO TURPO SUCARI	
					<b>FECHA</b> : MAYO 2021	
						<b>NORMA</b> : ASTM D422, AASHTO T88, MTC E-107.
Nº DE MALLAS	ABERTURA DE MALLAS (mm)	PESO RETENIDO	% RETEN. PARCIAL	% RETEN. ACUMUL.	% QUE PASA	ESPECIFICACIONES
3"	76.200	0.00	0.00	0.00	100.00	Peso Inicial : 0,607.72 Gr.
2 1/2"	63.500	0.00	0.00	0.00	100.00	Peso Fracción : 0.00 Gr.
2"	50.600	0.00	0.00	0.00	100.00	Humedad Natural : 1.25 %
1 1/2"	38.100	0.00	0.00	0.00	100.00	Limite Liquido : 53.8
1"	25.400	0.00	0.00	0.00	100.00	Limite Plastico : 41.5
3/4"	19.050	0.00	0.00	0.00	100.00	Indice Plastico : 12.3
1/2"	12.700	0.00	0.00	0.00	100.00	
3/8"	9.525	0.00	0.00	0.00	100.00	<b>CLASIFICACION</b>
1/4"	6.350					AASHTO : <b>A-7-5 (12)</b>
Nº 4	4.760	0.00	0.00	0.00	100.00	SUCS : <b>MH</b>
Nº 8	2.380					Densidad Máxima : 0.00
Nº 10	2.000	0.00	0.00	0.00	100.00	Humedad Optima : 0.00
Nº 16						I.G. : 12.00
Nº 20	0.840	4.79	0.79	0.79	99.21	CC : 0.00
Nº 30	0.590					CU : 0.00
Nº 40	0.426	21.00	3.46	4.24	95.76	D50 :
Nº 50						D65 :
Nº 60						
Nº 80						<b>OBSERVACIONES</b> : ES UN MATERIAL CONFORMADO POR LIMO DE ALTA PLASTICIDAD
Nº 100	0.149	21.08	3.47	7.71	92.29	
Nº 200	0.074	6.80	1.12	8.83	91.17	
-200	0	554.05	91.17	100.00		



  
**ING. BRUNO TURPO SUCARI**  
 RESPONSABLE DE LABORATORIO DE  
 SUELOS - CONCRETO - ASFALTO  
 CIP - 105875





**ESTUDIO DE SUELOS PARA PAVIMENTOS, IRRIGACIONES,  
SANEAMIENTO, EDIFICACIONES, ALQUILER DE EQUIPOS Y ENSAYOS  
DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO, ROCAS Y  
PAVIMENTOS**

**ENSAYOS DE CONSTANTES FISICOS ASTM D-4318**

PROYECTO DE TESIS	: APLICACIÓN DE JET-GROUTING PARA MEJORAR LA ESTABILIDAD DE LA PRESA DE TIERRA SECTOR PALCA, PROVINCIA DE LAMPA-PUNO.	CALICATA	: C-01 ZONA EMBALSE
UBICACIÓN	: PALCA-LAMPA-PUNO	ESTRATO	: E3 (1.20 - 2.00 m)
SOLICITANTES	: DAYANA E. YUCRA MEDINA INDIRA Y. ACHATA DUEÑAS	ENCARGADO	: ING. BRUNO TURPO SUCARI
		FECHA	: MAYO 2021

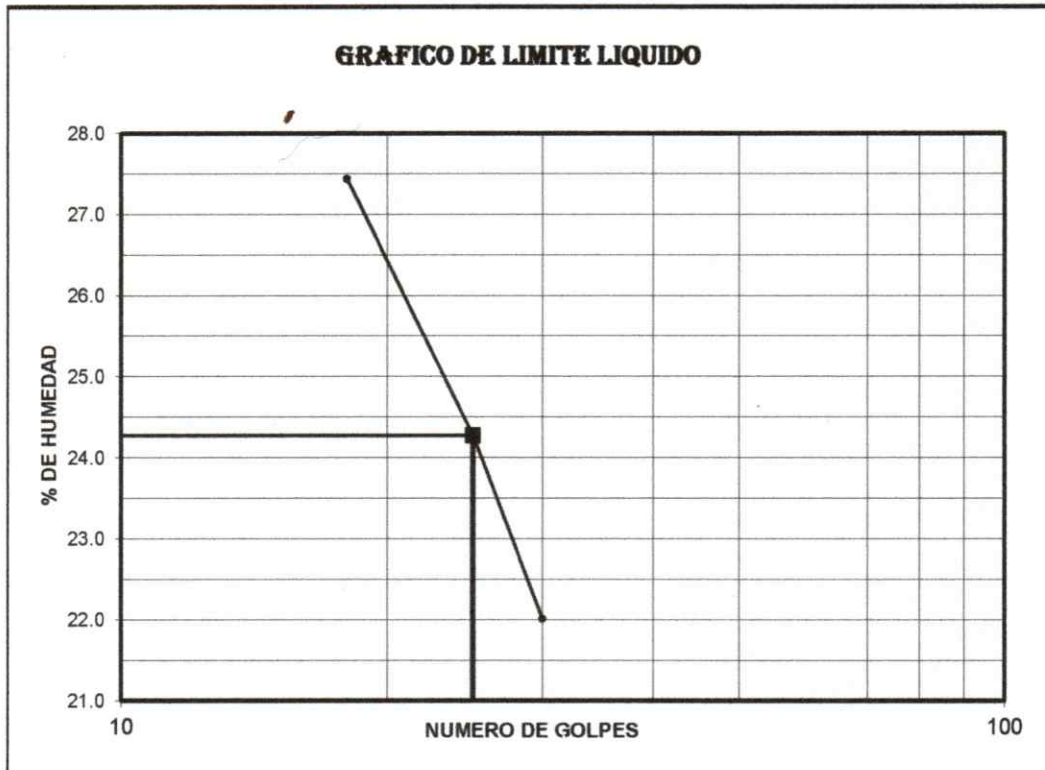
LIMITE LIQUIDO			
Nro. De Tarro	Nº	2	23
T. + Suelo Húmedo	Gr.	39.31	33.85
T. + Suelo Seco	Gr.	29.59	25.60
Agua	Gr.	9.72	8.25
Peso del Tarro	Gr.	11.07	10.65
Suelo Seco	Gr.	18.52	14.95
% de Humedad	%	52.48	55.18
Nro. De Golpes	Nº	30	20

DETERMINACIÓN DE HUMEDAD NATURAL			
Nro. De Tarro	Nº	52	53
T. + Suelo Húmedo	Gr.	175.29	176.85
T. + Suelo Seco	Gr.	174.21	175.23
Agua	Gr.	1.08	1.62
Peso del Tarro	Gr.	67.45	65.71
Suelo Seco	Gr.	106.76	109.52
% de Humedad	%	1.01	1.48
Humedad Natural	%	1.25	

LIMITE PLASTICO			
Nro. De Tarro	Nº	28	31
T. + Suelo Húmedo	Gr.	12.72	11.42
T. + Suelo Seco	Gr.	10.22	9.32
Agua	Gr.	2.50	2.10
Peso del Tarro	Gr.	4.24	4.23
Suelo Seco	Gr.	5.98	5.09
% de Humedad	%	41.81	41.26
Humedad Promedio	%	41.53	

<b>LL = Wn * (N/25) + 0.121</b>			
<b>DONDE:</b>			
LL	:	Límite líquido	
Wn	:	Contenido de humedad promedio	
N	:	Número de golpes	
<b>DETERMINACIÓN DE INDICE DE PLASTICIDAD</b>			
L.L.	=	53.83	%
L.P.	=	41.53	%
I.P.	=	12.30	%

**GRAFICO DE LIMITE LIQUIDO**



*Handwritten signature*

ING° BRUNO TURPO SUCARI  
RESPONSABLE DE LABORATORIO DE  
SUELOS - CONCRETO - ASFALTO  
CIP - 105875



**ESTUDIO DE SUELOS PARA PAVIMENTOS, IRRIGACIONES,  
SANEAMIENTO, EDIFICACIONES, ALQUILER DE EQUIPOS Y ENSAYOS  
DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO, ROCAS Y  
PAVIMENTOS**

**REGISTRO DE EXPLORACIONES**

<b>PROYECTO DE TESIS</b>	: APLICACIÓN DE JET-GROUTING PARA MEJORAR LA ESTABILIDAD DE LA PRESA DE TIERRA SECTOR PALCA, PROVINCIA DE LAMPA-PUNO.	<b>CALICATA</b>	: C-01 ZONA EMBALSE
<b>UBICACIÓN</b>	PALCA-LAMPA-PUNO	<b>ESTRATO</b>	: E2(0.20-1.20M) E3(1.20-2.00M)
<b>SOLICITANTES</b>	: DAYANA E. YUCRA MEDINA INDIRA Y. ACHATA DUEÑAS	<b>ENCARGADO</b>	: ING. BRUNO TURPO SUCARI
		<b>FECHA</b>	: MAYO 2021

FOTO DE CALICATA 01-ZONA EMBALSE



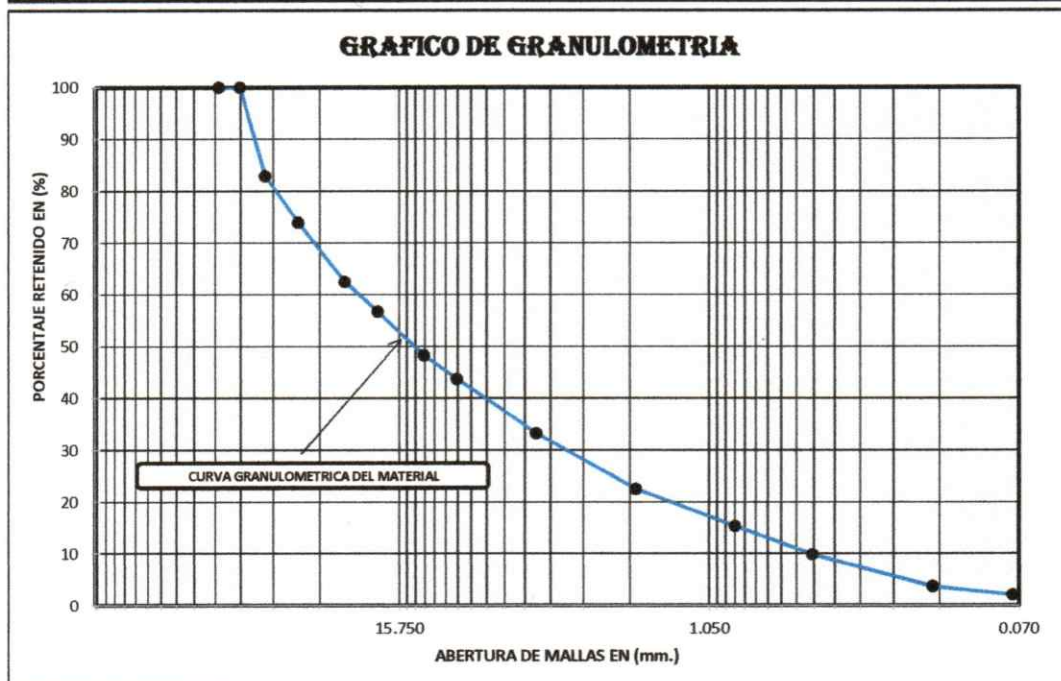
ESCALA GRAFICA	PROFUNDIDAD m.	LONGITUD DE TRAMO m.	N.F. m.	MUESTRA OBTENIDA	SIMBOLOGIA	CLASIFICACION EN SUCS AASHTO	DESCRIPCION
	0.00	0.20M	SI EXISTE N.F. 1.30M	E - 1		ML	ESTRATO SUPERFICIAL CONFORMADO POR MEZCLA DE LIMO CON RAICES DE PLANTAS TÍPICAS DEL LUGAR
	0.10						
	0.20						
	0.30						
	0.40						
	0.50						
	0.60	1.00 M		E - 2		A4-(3) ML-CL	ESTRATO COMPUESTO POR LIMO Y ARCILLA DE BAJA PLASTICIDAD DE COLOR CAFEOSCURO DE CONSISTENCIA SEMI COMPACTO Y ESTA CONSTITUIDO POR 2.78% DE GRAVA, 52.38% DE MATERIAL FINO QUE PASA LA MALLA N°200, CON LL=25.90 IP=4.50
	0.70						
	0.80						
	0.90						
	1.00						
	1.10						
	1.20	0.80 M		E - 3		A-7-5 (12) MH	ESTRATO CONFORMADO POR LIMO DE ALTA PLASTICIDAD DE COLOR GRIS OSCURO DE CONSISTENCIA SEMICOMPACTA Y ESTA CONSTITUIDO POR 9.17% DE MATERIAL FINO QUE PASA LA MALLA N°200 CON LL=53.80 IP=12.30, NO TIENE GRAVA, Y SU NIVEL FREÁTICO ESTA A UNA PROFUNDIDAD DE 1.30M
	1.30						
	1.40						
	1.50						
	1.60						
	1.70						
	1.80						
1.90							
2.00							


ING° BRUNO TURPO SUCARI  
RESPONSABLE DE LABORATORIO DE  
SUELOS - CONCRETO - ASFALTO  
CIP - 105875



# ESTUDIO DE SUELOS PARA PAVIMENTOS, IRRIGACIONES, SANEAMIENTO, EDIFICACIONES, ALQUILER DE EQUIPOS Y ENSAYOS DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO, ROCAS Y PAVIMENTOS

<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO</b>						
<b>PROYECTO DE TESIS</b>		APLICACIÓN DE JET-GROUTING PARA MEJORAR LA ESTABILIDAD DE LA PRESA DE TIERRA SECTOR PALCA, PROVINCIA DE LAMPA-PUNO.			<b>CALICATA</b> : C-02 zona de embalse	
<b>UBICACIÓN</b>		LAMPA-LAMPA-PUNO			<b>ESTRATO</b> : 0.30 - 2.00 m E-2	
<b>SOLICITANTES</b>		DAYANA E. YUCRA MEDINA INDIRA Y. ACHATA DUEÑAS			<b>ENCARGADO</b> : ING. BRUNO TURPO SUCARI <b>FECHA</b> : MAYO 2021	
						<b>NORMA</b> : ASTM D422, AASHTO T88, MTC E-107.
Nº DE MALLAS	ABERTURA DE MALLAS (mm)	PESO RETENIDO	% RETEN PARCIAL	% RETEN. ACUMUL.	% QUE PASA	ESPECIFICACIONES
3"	76.200	0.00	0.00	0.00	100.00	
2 1/2"	63.500	0.00	0.00	0.00	100.00	
2"	50.800	490.77	17.03	17.03	82.97	
1 1/2"	38.100	259.18	8.99	26.02	73.98	
1"	25.400	330.68	11.47	37.50	62.50	
3/4"	19.050	165.26	5.73	43.23	56.77	
1/2"	12.700	243.40	8.45	51.68	48.32	
3/8"	9.525	132.19	4.59	56.26	43.74	
1/4"	6.350					
Nº 4	4.760	299.68	10.40	66.66	33.34	
Nº 8	2.380					
Nº 10	2.000	310.86	10.79	77.45	22.55	
Nº 16	1.190					
Nº 20	0.840	205.62	7.13	84.59	15.41	
Nº 30	0.590					
Nº 40	0.426	159.82	5.55	90.13	9.87	
Nº 50	0.297					
Nº 60						
Nº 80	0.177					
Nº 100	0.149	176.31	6.12	96.25	3.75	
Nº 200	0.074	46.74	1.62	97.87	2.13	
-200	0	61.37	2.13	100.00		
						<b>CLASIFICACION</b> AASHTO : <b>A-1-a (0)</b> SUCS : <b>GW</b> Densidad maxima : 0.00 Humedad Optima : 0.00 I.G. : 0.00 C.C. : 0.00 C.U. : 0.00 D <sub>50</sub> : D <sub>60</sub> :
						<b>OBSERVACIONES</b> . ES UN MATERIAL CONFORMADO POR GRAVA BIEN GRADUADA.



  
 ING. BRUNO TURPO SUCARI  
 RESPONSABLE DE LABORATORIO DE  
 SUELOS - CONCRETO - ASFALTO  
 CIP - 105875



**ESTUDIO DE SUELOS PARA PAVIMENTOS, IRRIGACIONES,  
SANEAMIENTO, EDIFICACIONES, ALQUILER DE EQUIPOS Y ENSAYOS  
DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO, ROCAS Y  
PAVIMENTOS**

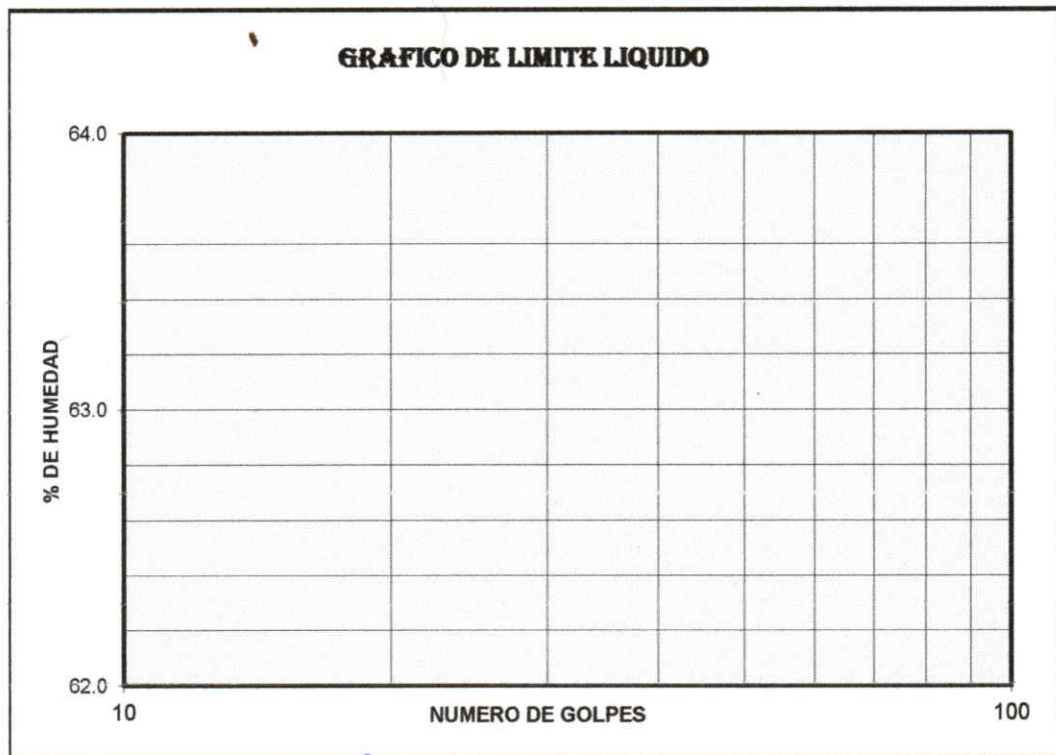
<b>ENSAYOS DE CONSTANTES FISICOS ASTM D-4318</b>			
PROYECTO	: APLICACIÓN DE JET-GROUTING PARA MEJORAR LA ESTABILIDAD DE LA PRESA DE TIERRA SECTOR PALCA, PROVINCIA DE LAMPA-PUNO.	CALICATA	: C-02 zona de embalse
UBICACIÓN	: LAMPA-LAMPA-PUNO	ESTRATO	: 0.30 - 2.00 m E-2
SOLICITANTES	: DAYANA E. YUCRA MEDINA INDIRA Y. ACHATA DUEÑAS	ENCARGADO	: ING. BRUNO TURPO SUCARI
		FECHA	: MAYO 2021

<b>LIMITE LIQUIDO</b>			
Nro. De Tarro	Nº		
T. + Suelo Húmedo	Gr.		
T. + Suelo Seco	Gr.		
Agua	Gr.	<b>N.P.</b>	
Peso del Tarro	Gr.		
Suelo Seco	Gr.		
% de Humedad	%		
Nro. De Golpes	Nº		

<b>DETERMINACIÓN DE HUMEDAD NATURAL</b>				
Nro. De Tarro	Nº	54	54	
T. + Suelo Húmedo	Gr.	299.18	323.77	
T. + Suelo Seco	Gr.	291.21	315.83	
Agua	Gr.	7.97	7.94	
Peso del Tarro	Gr.	61.97	65.63	
Suelo Seco	Gr.	229.24	250.20	
% de Humedad	%	3.48	3.17	
Humedad Natural	%	3.33		

<b>LIMITE PLASTICO</b>			
Nro. De Tarro	Nº		
T. + Suelo Húmedo	Gr.		
T. + Suelo Seco	Gr.		
Agua	Gr.	<b>N.P.</b>	
Peso del Tarro	Gr.		
Suelo Seco	Gr.		
% de Humedad	%		
Humedad Promedio	%		

<b>LL = <math>W_n * (N/25) + 0.121</math></b>	
<b>DONDE:</b>	
LL	: Límite líquido
Wn	: Contenido de humedad promedio
N	: Número de golpes
<b>DETERMINACIÓN DE INDICE DE PLASTICIDAD</b>	
L.L.	= 0.00 %
L.P.	= <b>N.P.</b> %
I.P.	= 0.00 %



  
**ING° BRUNO TURPO SUCARI**  
 RESPONSABLE DE LABORATORIO DE  
 SUELOS - CONCRETO - ASFALTO  
 CIP - 105875



**ESTUDIO DE SUELOS PARA PAVIMENTOS, IRRIGACIONES,  
SANEAMIENTO, EDIFICACIONES, ALQUILER DE EQUIPOS Y ENSAYOS  
DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO, ROCAS Y  
PAVIMENTOS**

**REGISTRO DE EXPLORACIONES**

<b>PROYECTO DE TESIS</b>	: APLICACIÓN DE JET-GROUTING PARA MEJORAR LA ESTABILIDAD DE LA PRESA DE TIERRA SECTOR PALCA, PROVINCIA DE LAMPA-PUNO.	<b>CALICATA</b>	: C-02 zona de embalse
<b>UBICACIÓN</b>	: LAMPA-LAMPA-PUNO	<b>ESTRATO</b>	: 0.30 - 2.00 m E-2
<b>SOLICITANTES</b>	: DAYANA E. YUCRA MEDINA INDIRA Y. ACHATA DUEÑAS	<b>ENCARGADO</b>	: ING. BRUNO TURPO SUCARI
		<b>FECHA</b>	: MAYO 2021

**FOTO DE CALICATA 02- ZONA DE EMBALSE**



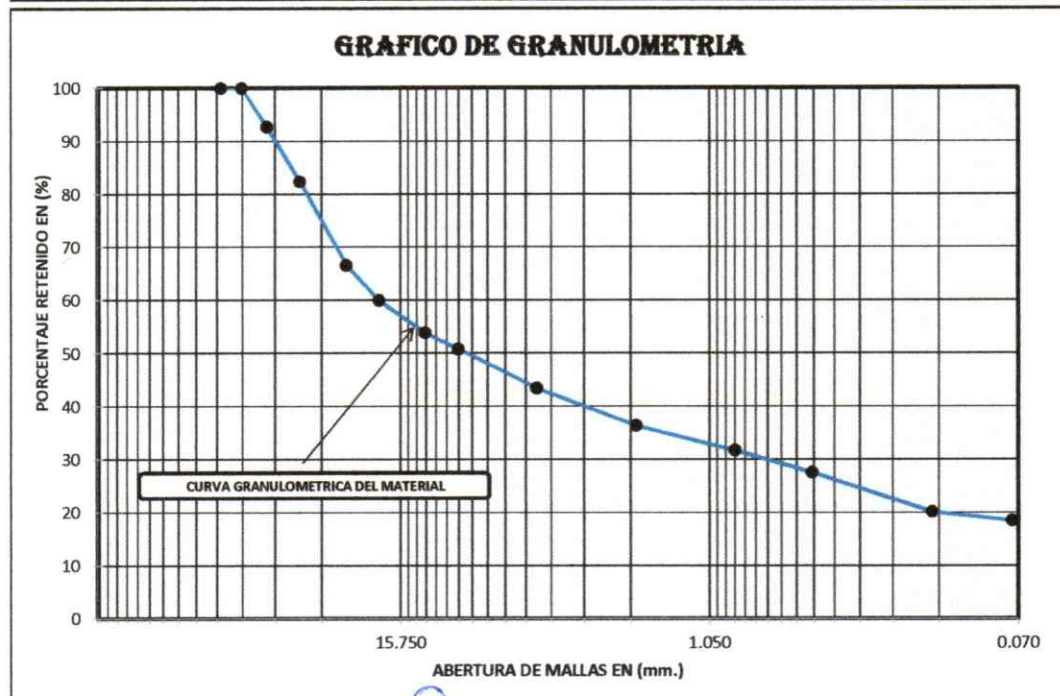
ESCALA GRAFICA	PROFUNDIDAD m.	LONGITUD DE TRAMO m.	N.F. m.	MUESTRA OBTENIDA	SIMBOLOGIA	CLASIFICACION EN SUCS AASHTO	DESCRIPCION
	0.00	0.30 m	N.F. ESTA A 1.60 m.	E - 1		ML	CAPA SUPERFICIAL CONFORMADO POR MEZCLA DE LIMOS Y RAICES DE PLANTAS TIPICAS DEL LUGAR.
	0.10						
	0.20						
	0.30						
	0.40	1.70 m		E - 2		A-1-a (0) GW	ESTRATO CONFORMADO POR GRAVA BIEN GRADUADA CON PRESENCIA DE BOLONERIAS AISLADAMENTE DE TAMAÑO 3"-10" EN 15% DE COLOR GRIS AMARILLENTO DE COMPACIDAD MEDIA A SUELTO NO TIENE PLASTICIDAD Y EL 66.66% DE GRAVA, 31.21% DE ARENAS Y 2.13% DE MATERIAL FINO QUE PASA LA MALLA 200, HAY PRESENCIA DE NIVEL FREATICO A UNA PROFUNDIDAD DE 1.60M.
	0.50						
	0.60						
	0.70						
	0.80						
	0.90						
	1.00						
	1.10						
	1.20						
	1.30						
	1.40						
	1.50						
	1.60						
1.70							
1.80							
1.90							
2.00							

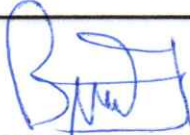
ING° BRUNO TURPO SUCARI  
RESPONSABLE DE LABORATORIO DE  
SUELOS - CONCRETO - ASFALTO  
CIP - 105875



# ESTUDIO DE SUELOS PARA PAVIMENTOS, IRRIGACIONES, SANEAMIENTO, EDIFICACIONES, ALQUILER DE EQUIPOS Y ENSAYOS DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO, ROCAS Y PAVIMENTOS

<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO</b>						
<b>PROYECTO DE TESIS</b>			: APLICACIÓN DE JET-GROUTING PARA MEJORAR LA ESTABILIDAD DE LA PRESA DE TIERRA SECTOR PALCA, PROVINCIA DE LAMPA-PUNO.		<b>CALICATA</b> : C-03 zona de embalse	
<b>UBICACIÓN</b>			: PALCA-LAMPA-PUNO		<b>ESTRATO</b> : 0.30 - 2.00 m E-2	
<b>SOLICITANTES</b>			: DAYANA E. YUCRA MEDINA INDIRA Y. ACHATA DUEÑAS		<b>ENCARGADO</b> : ING. BRUNO TURPO SUCARI <b>FECHA</b> : MAYO 2021	
						<b>NORMA</b> : ASTM D422, AASHTO T88, MTC E-107.
Nº DE MALLAS	ABERTURA DE MALLAS (mm)	PESO RETENIDO	% RETEN. PARCIAL	% RETEN. ACUMUL.	% QUE PASA	ESPECIFICACIONES
3"	76.200	0.00	0.00	0.00	100.00	
2 1/2"	63.500	0.00	0.00	0.00	100.00	
2"	50.600	183.90	7.34	7.34	92.66	
1 1/2"	38.100	258.44	10.31	17.65	82.35	
1"	25.400	395.15	15.77	33.42	66.58	
3/4"	19.050	165.88	6.62	40.04	59.96	
1/2"	12.700	152.99	6.11	46.15	53.85	
3/8"	9.525	76.17	3.04	49.19	50.81	
1/4"	6.350					
Nº 4	4.760	185.31	7.40	56.58	43.42	
Nº 8	2.380					
Nº 10	2.000	176.37	7.04	63.62	36.38	
Nº 16	1.190					
Nº 20	0.840	115.74	4.62	68.24	31.76	
Nº 30	0.590					
Nº 40	0.426	104.22	4.16	72.40	27.60	
Nº 50	0.297					
Nº 60						
Nº 80	0.177					
Nº 100	0.149	186.29	7.43	79.84	20.16	
Nº 200	0.074	41.96	1.67	81.51	18.49	
-200	0	463.28	18.49	100.00		
						<b>CLASIFICACION</b>
						AASHTO : <b>A-1-b (0)</b>
						SUCS : <b>GM</b>
						Densidad máxima : 0.00
						Humedad Óptima : 0.00
						I.G. : 0.00
						C.C. : 0.00
						C.U. : 0.00
						D <sub>50</sub> :
						D <sub>65</sub> :
						<b>OBSERVACIONES</b> : ES UN MATERIAL CONFORMADO POR GRAVA LIMOSA



  
 ING° BRUNO TURPO SUCARI  
 RESPONSABLE DE LABORATORIO DE  
 SUELOS - CONCRETO - ASFALTO  
 CIP - 105875



**ESTUDIO DE SUELOS PARA PAVIMENTOS, IRRIGACIONES,  
SANEAMIENTO, EDIFICACIONES, ALQUILER DE EQUIPOS Y ENSAYOS  
DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO, ROCAS Y  
PAVIMENTOS**

**ENSAYOS DE CONSTANTES FISICAS ASTM D-4318**

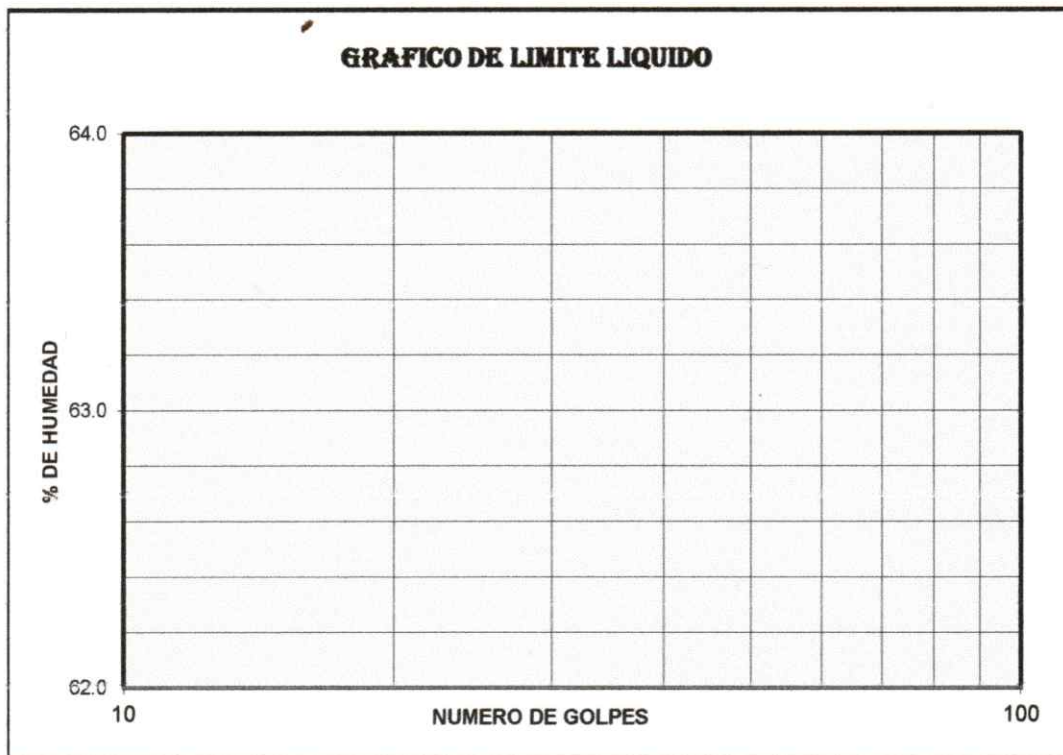
PROYECTO DE TESIS	: APLICACIÓN DE JET-GROUTING PARA MEJORAR LA ESTABILIDAD DE LA PRESA DE TIERRA SECTOR PALCA, PROVINCIA DE LAMPA-PUNO.	CALICATA	: C-03 zona de embase
UBICACIÓN	: PALCA-LAMPA-PUNO	ESTRATO	: 0.30 - 2.00 m E-2
SOLICITANTES	: DAYANA E. YUCRA MEDINA INDIRA Y. ACHATA DUEÑAS	ENCARGADO	: ING. BRUNO TURPO SUCARI
		FECHA	: MAYO 2021

LIMITE LIQUIDO			
Nro. De Tarro	Nº		
T. + Suelo Húmedo	Gr.		
T. + Suelo Seco	Gr.		
Agua	Gr.	N.P.	
Peso del Tarro	Gr.		
Suelo Seco	Gr.		
% de Humedad	%		
Nro. De Golpes	Nº		

DETERMINACIÓN DE HUMEDAD NATURAL			
Nro. De Tarro	Nº	56	54
T. + Suelo Húmedo	Gr.	276.52	287.38
T. + Suelo Seco	Gr.	269.15	279.79
Agua	Gr.	7.37	7.59
Peso del Tarro	Gr.	65.61	61.95
Suelo Seco	Gr.	203.54	217.84
% de Humedad	%	3.62	3.48
Humedad Natural	%	3.55	

LIMITE PLASTICO			
Nro. De Tarro	Nº		
T. + Suelo Húmedo	Gr.		
T. + Suelo Seco	Gr.		
Agua	Gr.	N.P.	
Peso del Tarro	Gr.		
Suelo Seco	Gr.		
% de Humedad	%		
Humedad Promedio	%		

$LL = Wn * (N/25) + 0.121$	
DONDE:	
LL	: Límite líquido
Wn	: Contenido de humedad promedio
N	: Número de golpes
DETERMINACIÓN DE INDICE DE PLASTICIDAD	
L.L.	= 0.00 %
L.P.	= N.P. %
I.P.	= 0.00 %



  
 ING° BRUNO TURPO SUCARI  
 RESPONSABLE DE LABORATORIO DE  
 SUELOS - CONCRETO - ASFALTO  
 CIP - 105875

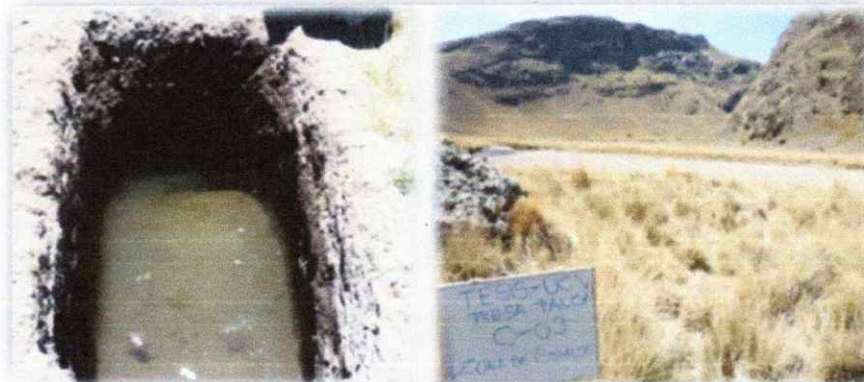


**ESTUDIO DE SUELOS PARA PAVIMENTOS, IRRIGACIONES,  
SANEAMIENTO, EDIFICACIONES, ALQUILER DE EQUIPOS Y ENSAYOS  
DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO, ROCAS Y  
PAVIMENTOS**

**REGISTRO DE EXPLORACIONES**

<b>PROYECTO DE TESIS</b>	: APLICACIÓN DE JET-GROUTING PARA MEJORAR LA ESTABILIDAD DE LA PRESA DE TIERRA SECTOR PALCA, PROVINCIA DE LAMPA-PUNO.	<b>CALICATA</b>	: C-03 zona de embalse
<b>UBICACIÓN</b>	: PALCA-LAMPA-PUNO	<b>ESTRATO</b>	: 0.30 - 2.00 m E-2
<b>SOLICITANTES</b>	: DAYANA E. YUCRA MEDINA INDIRA Y. ACHATA DUEÑAS	<b>ENCARGADO</b>	: ING. BRUNO TURPO SUCARI
		<b>FECHA</b>	: MAYO 2021

FOTO DE CALICATA 03- ZONA DE EMBALSE



ESCALA GRAFICA	PROFUNDIDAD m.	LONGITUD DE TRAMO m.	N.F. m.	MUESTRA OBTENIDA	SIMBOLOGIA	CLASIFICACION EN SUCS AASHTO	DESCRIPCION	
	0.00	0.30 m	N.F. ESTA A 1.00 m.	E - 1		ML	CAPA SUPERFICIAL CONFORMADO POR MEZCLA DE LIMOS Y RAICES DE PLANTAS TÍPICAS DEL LUGAR.	
	0.10							
	0.20							
	0.30							
	0.40	1.70 m			E - 2		A-1-a (0) GM	ESTRATO CONFORMADO POR GRAVA LIMOSA DE COLOR PARDOS GRISACEO DE COMPACIDAD SUELTO NO TIENE PLASTICIDAD Y ESTA CONSTITUIDO EL 56.58% DE GRAVA, 24.93% DE ARENAS Y 18.49% DE MATERIAL FINO QUE PASA LA MALLA 200, HAY PRESENCIA DE NIVEL FREÁTICO A UNA PROFUNDIDAD DE 1.00M.
	0.50							
	0.60							
	0.70							
	0.80							
	0.90							
	1.00							
	1.10							
	1.20							
	1.30							
	1.40							
	1.50							
	1.60							
1.70								
1.80								
1.90								
2.00								

ING° BRUNO TURPO SUCARI  
RESPONSABLE DE LABORATORIO DE  
SUELOS - CONCRETO - ASFALTO  
CIP - 105875





**ESTUDIO DE SUELOS PARA PAVIMENTOS, IRRIGACIONES,  
SANEAMIENTO, EDIFICACIONES, ALQUILER DE EQUIPOS Y ENSAYOS  
DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO, ROCAS Y  
PAVIMENTOS**

**REGISTRO DE PERFORACION**

**SONDEO N°: PPRS-01**

PROYECTO DE TESIS: "APLICACIÓN DE JET-GROUTING PARA MEJORAR LA ESTABILIDAD DE LA PRESA DE TIERRA SECTOR PALCA, PROVINCIA DE LAMPA-PUNO"  
 UBICACIÓN: PALCA-LAMPA-PUNO  
 SONDAJE: PPRS-01  
 COORDENADAS: E 329,644.67  
 N 8°305,218.0  
 ALTITUD 4293.16 m.s.n.m.  
 EQUIPO: CS-3000  
 PROFUNDIDAD EJECUTADA: 55.50  
 FECHA: MAYO 2021  
 SOLICITANTES: DAYANA E. YUCRA MEDINA  
 INDIRA Y. ACHATA DUEÑAS  
 ENCARGADO: ING. BRUNO TURPO SUCARI

TRAMO		PERFORADO (m.)	RECUPERADO (m.)	RECUPERACIÓN (%)
DE	A			
0.00	0.80	0.80	0.80	100.00
0.80	1.05	0.25	0.25	100.00
1.05	2.60	1.55	1.55	100.00
2.60	3.30	0.70	0.70	100.00
3.30	4.60	1.30	1.25	96.00
4.60	6.20	1.60	0.85	53.00
6.20	7.80	1.60	1.00	63.00
7.80	9.40	1.60	1.00	63.00
9.40	10.50	1.10	0.50	45.00
10.50	11.05	0.55	0.55	100.00
11.05	12.10	1.05	1.05	100.00
12.10	13.50	1.40	1.15	82.00
13.50	13.70	0.20	0.20	100.00
13.70	14.15	0.45	0.40	89.00
14.15	15.00	0.85	0.85	100.00
15.00	15.45	0.45	0.45	100.00
15.45	16.70	1.25	1.20	96.00
16.70	17.20	0.50	0.50	100.00
17.20	18.40	1.20	0.75	63.00
18.40	20.00	1.60	1.10	69.00
20.00	20.60	0.60	0.60	100.00
20.60	21.60	1.00	1.00	100.00
21.60	23.00	1.40	1.30	93.00
23.00	24.60	1.60	1.60	100.00
24.60	26.00	1.40	1.35	96.00
26.00	27.60	1.60	1.60	100.00
27.60	29.00	1.40	1.30	93.00
29.00	30.60	1.60	1.40	87.00
30.60	32.00	1.40	1.10	79.00
32.00	33.60	1.60	1.30	81.00
33.60	35.00	1.40	1.00	71.00
35.00	36.60	1.60	1.05	66.00
36.60	38.00	1.40	0.60	43.00
38.00	39.40	1.40	0.90	64.00
39.40	41.00	1.60	0.65	41.00
41.00	42.60	1.60	1.20	75.00
42.60	43.90	1.30	1.05	81.00
43.90	45.30	1.40	1.35	96.00
45.30	46.70	1.40	1.20	86.00
46.70	48.30	1.60	1.60	93.00
48.30	50.20	1.50	1.25	83.00
50.20	51.80	1.60	1.60	100.00
51.80	53.20	1.40	1.35	96.00
53.20	54.70	1.50	1.15	77.00
54.70	55.50	0.80	0.60	75.00

  
 -----  
 ING° BRUNO TURPO SUCARI  
 RESPONSABLE DE LABORATORIO DE  
 SUELOS - CONCRETO - ASFALTO  
 CIP - 105875



**ESTUDIO DE SUELOS PARA PAVIMENTOS, IRRIGACIONES,  
SANEAMIENTO, EDIFICACIONES, ALQUILER DE EQUIPOS Y ENSAYOS  
DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO, ROCAS Y  
PAVIMENTOS**

**REGISTRO DE PERFORACION**

**SONDEO N°: PPRS-02**

**PROYECTO DE TESIS:** : "APLICACIÓN DE JET-GROUTING PARA MEJORAR LA ESTABILIDAD DE LA PRESA DE TIERRA SECTOR PALCA, PROVINCIA DE LAMPA-PUNO"

**UBICACIÓN:** : PALCA-LAMPA-PUNO

**SONDAJE:** : PPRS-02

**COORDENADAS**

E	329,713.41
N	8,305,227.09
<b>ALTITUD</b>	4,286.21 m.s.n.m.

**EQUIPO** : CS-3000

**PROFUNDIDAD EJECUTADA** : 35.20

**FECHA** : MAYO 2021

**SOLICITANTES** : DAYANA E. YUCRA MEDINA  
INDIRA Y. ACHATA DUEÑAS

**ENCARGADO** : ING. BRUNO TURPO SUCARI

TRAMO		PERFORADO (m.)	RECUPERADO (m.)	RECUPERACIÓN (%)
DE	A			
0.00	0.40	0.40	0.40	100.00
0.40	0.90	0.50	0.50	100.00
0.90	1.70	0.80	0.80	100.00
1.70	2.40	0.70	0.70	71.00
2.40	3.30	0.90	0.90	100.00
3.30	4.30	1.00	0.80	80.00
4.30	5.30	1.00	0.50	50.00
5.30	6.40	1.10	0.50	45.00
6.40	7.80	1.40	1.20	86.00
7.80	8.30	0.50	0.40	80.00
8.30	9.40	1.10	0.55	50.00
9.40	11.00	1.60	1.35	84.00
11.00	12.10	1.60	1.60	100.00
12.10	13.70	0.60	0.60	100.00
13.70	15.30	1.60	1.60	100.00
15.30	15.90	0.60	0.55	92.00
15.90	17.50	1.60	1.60	100.00
17.50	18.40	0.90	0.60	67.00
18.40	18.70	0.30	0.25	83.00
18.70	20.30	1.60	1.40	87.00
20.30	21.40	1.10	1.00	91.00
21.40	23.00	1.60	1.20	75.00
23.00	24.40	1.40	1.05	75.00
24.40	25.00	0.60	0.00	0.00
25.00	26.10	1.10	1.05	95.00
26.10	26.80	0.70	0.70	100.00
26.80	27.70	0.90	0.90	100.00
27.70	29.30	1.60	1.60	100.00
29.30	30.60	1.30	1.30	100.00
30.60	32.10	1.50	1.50	100.00
32.10	33.40	1.30	1.30	100.00
33.40	33.60	0.20	0.20	100.00
33.60	35.20	1.60	1.60	100.00

ING° BRUNO TURPO SUCARI  
RESPONSABLE DE LABORATORIO DE  
SUELOS - CONCRETO - ASFALTO  
CIP - 105875



**ESTUDIO DE SUELOS PARA PAVIMENTOS, IRRIGACIONES,  
SANEAMIENTO, EDIFICACIONES, ALQUILER DE EQUIPOS Y ENSAYOS  
DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO, ROCAS Y  
PAVIMENTOS**

**REGISTRO DE PERFORACION**

**SONDEO N°: PPRS-03**

**PROYECTO DE TESIS:** : "APLICACIÓN DE JET-GROUTING PARA MEJORAR LA ESTABILIDAD DE LA PRESA DE TIERRA SECTOR PALCA, PROVINCIA DE LAMPA-PUNO"

**UBICACIÓN:** : PALCA-LAMPA-PUNO

**SONDAJE:** : PPRS-03

**COORDENADAS**

E	329,703.42
N	8,305,231.77
ALTITUD	4,285.71 m.s.n.m.

**EQUIPO** : CS-3000

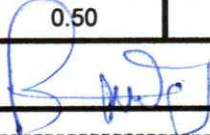
**PROFUNDIDAD EJECUTADA** : 20.30

**FECHA** : MAYO 2021

**SOLICITANTES** : DAYANA E. YUCRA MEDINA  
INDIRA Y. ACHATA DUEÑAS

**ENCARGADO** : ING. BRUNO TURPO SUCARI

TRAMO		PERFORADO (m.)	RECUPERADO (m.)	RECUPERACIÓN (%)
DE	A			
0.00	0.55	0.55	0.55	100.00
0.55	1.60	1.05	1.05	100.00
1.60	2.20	0.60	0.45	75.00
2.20	3.40	1.20	0.40	33.00
3.40	5.00	1.60	1.60	100.00
5.00	6.40	1.40	1.30	93.00
6.40	8.00	1.60	1.60	100.00
8.00	9.40	1.40	1.40	100.00
9.40	10.50	1.10	1.10	100.00
10.50	11.90	1.40	1.40	100.00
11.90	13.50	1.60	1.60	100.00
13.50	16.70	1.60	1.60	100.00
16.70	17.40	0.70	0.70	100.00
17.40	18.40	1.00	1.00	100.00
18.40	19.80	1.40	1.40	100.00
19.80	20.30	0.50	0.50	100.00

  
 ING° BRUNO TURPO SUCARI  
 RESPONSABLE DEL LABORATORIO DE  
 SUELOS - CONCRETO - ASFALTO  
 CIP - 105875



**ESTUDIO DE SUELOS PARA PAVIMENTOS, IRRIGACIONES,  
SANEAMIENTO, EDIFICACIONES, ALQUILER DE EQUIPOS Y ENSAYOS  
DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO, ROCAS Y  
PAVIMENTOS**

**REGISTRO DE PERFORACION**

**SONDEO N°: PPRS-04**

**PROYECTO DE TESIS:** : "APLICACIÓN DE JET-GROUTING PARA MEJORAR LA ESTABILIDAD DE LA PRESA DE TIERRA SECTOR PALCA, PROVINCIA DE LAMPA-PUNO"  
**UBICACIÓN:** : PALCA-LAMPA-PUNO  
**SONDAJE:** : PPRS-04  
**COORDENADAS**

E	329,692.37
N	8,305,235.38
ALTITUD	4,285.01 m.s.n.m.

**EQUIPO:** : CS-3000  
**PROFUNDIDAD EJECUTADA:** : 40.40  
**FECHA:** : MAYO 2021  
**SOLICITANTES:** : DAYANA E. YUCRA MEDINA  
 INDIRA Y. ACHATA DUEÑAS  
**ENCARGADO:** : ING. BRUNO TURPO SUCARI

TRAMO		PERFORADO (m.)	RECUPERADO (m.)	RECUPERACIÓN (%)
DE	A			
0.00	0.60	0.60	0.60	100.00
0.60	1.40	0.80	0.60	75.00
1.40	3.00	1.60	0.75	47.00
3.00	4.20	1.20	0.95	79.00
4.20	5.20	1.00	1.00	100.00
5.20	6.40	1.20	1.15	96.00
6.40	7.20	0.80	0.75	94.00
7.20	7.95	0.75	0.75	100.00
7.95	9.40	1.45	1.45	100.00
9.40	10.85	1.45	1.45	100.00
10.85	12.40	1.55	1.55	100.00
12.40	12.95	0.55	0.55	100.00
12.95	14.20	1.25	1.25	100.00
14.20	14.70	0.50	0.50	100.00
14.70	15.40	0.70	0.70	96.00
15.40	16.50	1.10	1.10	100.00
16.50	18.10	1.60	1.60	81.00
18.10	19.70	1.60	1.60	13.00
19.70	20.80	1.10	1.10	100.00
20.80	21.40	0.60	0.60	100.00
21.40	23.00	1.60	1.60	100.00
23.00	24.40	1.40	1.40	100.00
24.40	26.00	1.60	1.60	100.00
26.00	27.40	1.40	1.25	89.00
27.40	28.70	1.30	1.15	88.00
28.70	30.05	1.35	1.35	100.00
30.05	30.40	0.35	0.35	100.00
30.40	32.00	1.60	1.60	100.00
32.00	33.40	1.40	1.40	100.00
33.40	35.00	1.60	1.60	100.00
35.00	36.40	1.40	1.40	100.00
36.40	37.60	1.20	1.20	100.00
37.60	39.20	1.60	1.60	100.00
39.20	40.40	1.20	1.20	100.00

ING° BRUNO TURPO SUCARI  
 RESPONSABLE DE LABORATORIO DE  
 SUELOS · CONCRETO · ASFALTO  
 CIP - 105875



**ESTUDIO DE SUELOS PARA PAVIMENTOS, IRRIGACIONES,  
SANEAMIENTO, EDIFICACIONES, ALQUILER DE EQUIPOS Y ENSAYOS  
DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO, ROCAS Y  
PAVIMENTOS**

**REGISTRO DE PERFORACION**

**SONDEO N°: PPRS-05**

**PROYECTO DE TESIS:** : "APLICACIÓN DE JET-GROUTING PARA MEJORAR LA ESTABILIDAD DE LA PRESA DE TIERRA SECTOR PALCA, PROVINCIA DE LAMPA-PUNO"  
**UBICACIÓN:** : PALCA-LAMPA-PUNO  
**SONDAJE:** : PPRS-05  
**COORDENADAS:**

E	329,757.13
N	8,305,199.40
ALTITUD	4,288.71 m.s.n.m.

**EQUIPO:** : CS-3000  
**PROFUNDIDAD EJECUTADA:** : 50.60  
**FECHA:** : MAYO 2021  
**SOLICITANTES:** : DAYANA E. YUCRA MEDINA  
 INDIRA Y. ACHATA DUEÑAS  
**ENCARGADO:** : ING. BRUNO TURPO SUCARI

TRAMO		PERFORADO	RECUPERADO	RECUPERACIÓN
DE	A	(m.)	(m.)	(%)
0.00	0.60	0.60	0.45	75.00
0.60	1.50	0.90	0.45	50.00
1.50	1.90	0.40	0.40	100.00
1.90	3.40	1.50	1.50	100.00
3.40	4.40	1.00	1.00	100.00
4.40	4.90	0.50	0.50	100.00
4.90	6.50	1.60	1.60	100.00
6.50	8.10	1.60	1.60	100.00
8.10	9.50	1.40	1.40	100.00
9.50	10.50	1.00	1.00	100.00
10.50	12.10	1.60	1.60	100.00
12.10	13.10	1.00	1.00	100.00
13.10	14.70	1.60	1.60	100.00
14.70	15.30	0.60	0.60	100.00
15.30	16.90	1.60	1.60	100.00
16.90	18.30	1.40	1.40	100.00
18.30	19.90	1.60	1.60	100.00
19.90	21.30	1.40	1.40	100.00
21.30	22.90	1.60	1.60	100.00
22.90	24.30	1.40	1.40	100.00
24.30	25.30	1.00	1.00	100.00
25.30	26.20	0.90	0.90	100.00
26.20	27.30	1.10	1.10	100.00
27.30	28.30	1.00	1.00	100.00
28.30	29.40	1.10	1.10	100.00
29.40	30.30	0.90	0.90	100.00
30.30	31.30	1.00	1.00	100.00
31.30	32.40	1.10	1.10	100.00
32.40	33.30	0.90	0.90	100.00
33.30	34.30	1.00	1.00	100.00
34.30	35.80	1.50	1.50	100.00
35.80	36.80	1.00	1.00	100.00
36.80	38.00	1.20	1.20	100.00
38.00	39.00	1.00	1.00	100.00
39.00	40.00	1.00	1.00	100.00
40.00	41.40	1.40	1.40	100.00
41.40	42.30	0.90	0.90	100.00
42.30	43.10	0.80	0.80	100.00
43.10	44.50	1.40	1.40	100.00
44.50	45.40	0.90	0.90	100.00
45.40	46.70	1.30	1.30	100.00
46.70	48.30	1.60	1.60	100.00
48.30	49.90	1.60	1.60	100.00
49.90	50.60	0.70	0.70	100.00

  
 -----  
**ING° BRUNO TURPO SUCAS**  
 RESPONSABLE DE LABORATORIO DE  
 SUELOS - CONCRETO - ASFALTO  
 CIP - 105875



**ESTUDIO DE SUELOS PARA PAVIMENTOS, IRRIGACIONES,  
SANEAMIENTO, EDIFICACIONES, ALQUILER DE EQUIPOS Y ENSAYOS  
DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO, ROCAS Y  
PAVIMENTOS**

**CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DEL  
MACIZO ROCOSO**

**SONDEO N°: PPRS-01**

**PROYECTO DE TESIS:** : \*APLICACIÓN DE JET-GROUTING PARA MEJORAR LA ESTABILIDAD DE LA PRESA DE TIERRA SECTOR PALCA, PROVINCIA DE LAMPA-PUNO\*

**UBICACIÓN:** : PALCA-LAMPA-PUNO

**SONDAJE:** : PPRS-01

**COORDENADAS**

E	329,644.67
N	8'305,218.0
ALTITUD	4293.16 m.s.n.m.

**EQUIPO:** : CS-3000

**PROFUNDIDAD EJECUTADA:** : 55.50

**FECHA:** : MAYO 2021

**SOLICITANTES:** : DAYANA E. YUCRA MEDINA  
INDIRA Y. ACHATA DUEÑAS

**ENCARGADO:** : ING. BRUNO TURPO SUCARI

TRAMO (m)		RQD %	CALIDAD DE LA ROCA
DE	A		
0.00	0.80	-	
0.80	1.05	-	
1.05	2.60	-	
2.60	3.30	-	
3.30	4.60	-	
4.60	6.20	-	
6.20	7.80	-	
7.80	9.40	-	
9.40	10.50	-	
10.50	11.05	-	
11.05	12.10	-	
12.10	13.50	-	
13.50	13.70	-	
13.70	14.15	-	
14.15	15.00	-	
15.00	15.45	-	
15.45	16.70	-	
16.70	17.20	-	
17.20	18.40	-	
18.40	20.00	-	
20.00	20.60	48.00	Pobre
20.60	21.60	68.00	Regular
21.60	23.00	47.00	Pobre
23.00	24.60	61.00	Regular
24.60	26.00	-	
26.00	27.60	-	
27.60	29.00	18.00	Muy Pobre
29.00	30.60	50.00	Muy Pobre
30.60	32.00	36.00	Pobre
32.00	33.60	-	
33.60	35.00	-	
35.00	36.60	-	
36.60	38.00	11.00	Muy Pobre
38.00	39.40	-	
39.40	41.00	20.00	Muy Pobre
41.00	42.60	16.00	Muy Pobre
42.60	43.90	-	
43.90	45.30	22.00	Muy Pobre
45.30	46.70	8.00	Muy Pobre
46.70	48.30	67.00	Regular
48.30	48.70	52.00	Regular
48.70	50.20	71.00	Regular
50.20	51.80	90.00	Buena
51.80	53.20	94.00	Excelente
53.20	54.70	45.00	Muy Pobre
54.70	55.50	26.00	Pobre

ING° BRUNO TURPO SUCARI  
RESPONSABLE DEL LABORATORIO DE  
SUELOS - CONCRETO - ASFALTO  
CIP - 105875



**ESTUDIO DE SUELOS PARA PAVIMENTOS, IRRIGACIONES,  
SANEAMIENTO, EDIFICACIONES, ALQUILER DE EQUIPOS Y ENSAYOS  
DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO, ROCAS Y  
PAVIMENTOS**

<b>CLASIFICACION GEOMECANICA DEL MACIZO ROCOSO</b>																																																																																																																																													
<b>SONDEO N°: PPRS-02</b>																																																																																																																																													
<b>PROYECTO DE TESIS:</b>	: "APLICACIÓN DE JET-GROUTING PARA MEJORAR LA ESTABILIDAD DE LA PRESA DE TIERRA SECTOR PALCA, PROVINCIA DE LAMPA-PUNO"																																																																																																																																												
<b>UBICACIÓN:</b>	: PALCA-LAMPA-PUNO																																																																																																																																												
<b>SONDAJE</b>	: PPRS-02																																																																																																																																												
<b>COORDENADAS</b>																																																																																																																																													
	E		329,713.41																																																																																																																																										
	N		8,305,227.09																																																																																																																																										
	ALTITUD		4,286.21 m.s.n.m.																																																																																																																																										
<b>EQUIPO</b>	: CS-3000																																																																																																																																												
<b>PROFUNDIDAD EJECUTADA</b>	: 35.20																																																																																																																																												
<b>FECHA</b>	: MAYO 2021																																																																																																																																												
<b>SOLICITANTES</b>	: DAYANA E. YUCRA MEDINA INDIRA Y. ACHATA DUEÑAS																																																																																																																																												
<b>ENCARGADO</b>	: ING. BRUNO TURPO SUCARI																																																																																																																																												
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2" style="text-align: center;">TRAMO (m)</th> <th rowspan="2" style="text-align: center;">RQD %</th> <th rowspan="2" style="text-align: center;">CALIDAD DE LA ROCA</th> </tr> <tr> <th style="text-align: center;">DE</th> <th style="text-align: center;">A</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0.00</td><td>0.40</td><td style="text-align: center;">-</td><td>Roca blanda</td></tr> <tr><td>0.40</td><td>0.90</td><td style="text-align: center;">-</td><td>Roca blanda</td></tr> <tr><td>0.90</td><td>1.70</td><td style="text-align: center;">-</td><td>Roca blanda</td></tr> <tr><td>1.70</td><td>2.40</td><td style="text-align: center;">-</td><td>Roca blanda</td></tr> <tr><td>2.40</td><td>3.30</td><td style="text-align: center;">-</td><td>Roca blanda</td></tr> <tr><td>3.30</td><td>4.30</td><td style="text-align: center;">-</td><td>Roca blanda</td></tr> <tr><td>4.30</td><td>5.30</td><td style="text-align: center;">-</td><td>Roca blanda</td></tr> <tr><td>5.30</td><td>6.40</td><td style="text-align: center;">10.00</td><td>Muy Pobre</td></tr> <tr><td>6.40</td><td>7.80</td><td style="text-align: center;">9.00</td><td>Muy Pobre</td></tr> <tr><td>7.80</td><td>8.30</td><td style="text-align: center;">-</td><td>Roca blanda</td></tr> <tr><td>8.30</td><td>9.40</td><td style="text-align: center;">-</td><td>Roca blanda</td></tr> <tr><td>9.40</td><td>11.00</td><td style="text-align: center;">16.00</td><td>Muy Pobre</td></tr> <tr><td>11.00</td><td>12.10</td><td style="text-align: center;">15.00</td><td>Muy Pobre</td></tr> <tr><td>12.10</td><td>13.70</td><td style="text-align: center;">54.00</td><td>Regular</td></tr> <tr><td>13.70</td><td>15.30</td><td style="text-align: center;">25.00</td><td>Muy Pobre</td></tr> <tr><td>15.30</td><td>15.90</td><td style="text-align: center;">79.00</td><td>Buena</td></tr> <tr><td>15.90</td><td>17.50</td><td style="text-align: center;">18.00</td><td>Muy Pobre</td></tr> <tr><td>17.50</td><td>18.40</td><td style="text-align: center;">33.00</td><td>Pobre</td></tr> <tr><td>18.40</td><td>18.70</td><td style="text-align: center;">-</td><td>Roca blanda</td></tr> <tr><td>18.70</td><td>20.30</td><td style="text-align: center;">-</td><td>Roca blanda</td></tr> <tr><td>20.30</td><td>21.40</td><td style="text-align: center;">-</td><td>Roca blanda</td></tr> <tr><td>21.40</td><td>23.00</td><td style="text-align: center;">-</td><td>Roca blanda</td></tr> <tr><td>23.00</td><td>24.40</td><td style="text-align: center;">-</td><td>Roca blanda</td></tr> <tr><td>24.40</td><td>25.00</td><td style="text-align: center;">-</td><td>Roca blanda</td></tr> <tr><td>25.00</td><td>26.10</td><td style="text-align: center;">-</td><td>Roca blanda</td></tr> <tr><td>26.10</td><td>26.80</td><td style="text-align: center;">36.00</td><td>Pobre</td></tr> <tr><td>26.80</td><td>27.70</td><td style="text-align: center;">90.00</td><td>Bueno</td></tr> <tr><td>27.70</td><td>29.30</td><td style="text-align: center;">6.00</td><td>Muy Pobre</td></tr> <tr><td>29.30</td><td>30.60</td><td style="text-align: center;">36.00</td><td>Pobre</td></tr> <tr><td>30.60</td><td>32.10</td><td style="text-align: center;">-</td><td>Roca blanda</td></tr> <tr><td>32.10</td><td>33.40</td><td style="text-align: center;">15.00</td><td>Muy Pobre</td></tr> <tr><td>33.40</td><td>33.60</td><td style="text-align: center;">100.00</td><td>Excelente</td></tr> <tr><td>33.60</td><td>35.20</td><td style="text-align: center;">9.00</td><td>Muy Pobre</td></tr> </tbody> </table>				TRAMO (m)		RQD %	CALIDAD DE LA ROCA	DE	A	0.00	0.40	-	Roca blanda	0.40	0.90	-	Roca blanda	0.90	1.70	-	Roca blanda	1.70	2.40	-	Roca blanda	2.40	3.30	-	Roca blanda	3.30	4.30	-	Roca blanda	4.30	5.30	-	Roca blanda	5.30	6.40	10.00	Muy Pobre	6.40	7.80	9.00	Muy Pobre	7.80	8.30	-	Roca blanda	8.30	9.40	-	Roca blanda	9.40	11.00	16.00	Muy Pobre	11.00	12.10	15.00	Muy Pobre	12.10	13.70	54.00	Regular	13.70	15.30	25.00	Muy Pobre	15.30	15.90	79.00	Buena	15.90	17.50	18.00	Muy Pobre	17.50	18.40	33.00	Pobre	18.40	18.70	-	Roca blanda	18.70	20.30	-	Roca blanda	20.30	21.40	-	Roca blanda	21.40	23.00	-	Roca blanda	23.00	24.40	-	Roca blanda	24.40	25.00	-	Roca blanda	25.00	26.10	-	Roca blanda	26.10	26.80	36.00	Pobre	26.80	27.70	90.00	Bueno	27.70	29.30	6.00	Muy Pobre	29.30	30.60	36.00	Pobre	30.60	32.10	-	Roca blanda	32.10	33.40	15.00	Muy Pobre	33.40	33.60	100.00	Excelente	33.60	35.20	9.00	Muy Pobre
TRAMO (m)		RQD %	CALIDAD DE LA ROCA																																																																																																																																										
DE	A																																																																																																																																												
0.00	0.40	-	Roca blanda																																																																																																																																										
0.40	0.90	-	Roca blanda																																																																																																																																										
0.90	1.70	-	Roca blanda																																																																																																																																										
1.70	2.40	-	Roca blanda																																																																																																																																										
2.40	3.30	-	Roca blanda																																																																																																																																										
3.30	4.30	-	Roca blanda																																																																																																																																										
4.30	5.30	-	Roca blanda																																																																																																																																										
5.30	6.40	10.00	Muy Pobre																																																																																																																																										
6.40	7.80	9.00	Muy Pobre																																																																																																																																										
7.80	8.30	-	Roca blanda																																																																																																																																										
8.30	9.40	-	Roca blanda																																																																																																																																										
9.40	11.00	16.00	Muy Pobre																																																																																																																																										
11.00	12.10	15.00	Muy Pobre																																																																																																																																										
12.10	13.70	54.00	Regular																																																																																																																																										
13.70	15.30	25.00	Muy Pobre																																																																																																																																										
15.30	15.90	79.00	Buena																																																																																																																																										
15.90	17.50	18.00	Muy Pobre																																																																																																																																										
17.50	18.40	33.00	Pobre																																																																																																																																										
18.40	18.70	-	Roca blanda																																																																																																																																										
18.70	20.30	-	Roca blanda																																																																																																																																										
20.30	21.40	-	Roca blanda																																																																																																																																										
21.40	23.00	-	Roca blanda																																																																																																																																										
23.00	24.40	-	Roca blanda																																																																																																																																										
24.40	25.00	-	Roca blanda																																																																																																																																										
25.00	26.10	-	Roca blanda																																																																																																																																										
26.10	26.80	36.00	Pobre																																																																																																																																										
26.80	27.70	90.00	Bueno																																																																																																																																										
27.70	29.30	6.00	Muy Pobre																																																																																																																																										
29.30	30.60	36.00	Pobre																																																																																																																																										
30.60	32.10	-	Roca blanda																																																																																																																																										
32.10	33.40	15.00	Muy Pobre																																																																																																																																										
33.40	33.60	100.00	Excelente																																																																																																																																										
33.60	35.20	9.00	Muy Pobre																																																																																																																																										

**ING° BRUNO TURPO SUCARI**  
 RESPONSABLE DE LABORATORIO DE  
 SUELOS - CONCRETO - ASFALTO  
 CIP - 105875



**ESTUDIO DE SUELOS PARA PAVIMENTOS, IRRIGACIONES,  
SANEAMIENTO, EDIFICACIONES, ALQUILER DE EQUIPOS Y ENSAYOS  
DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO, ROCAS Y  
PAVIMENTOS**

**CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DEL  
MACIZO ROCOSO**

**SONDEO N°: PPRS-03**

**PROYECTO DE TESIS:** : "APLICACION DE JET-GROUTING PARA MEJORAR LA ESTABILIDAD DE LA PRESA DE TIERRA SECTOR PALCA, PROVINCIA DE LAMPA-PUNO"

**UBICACIÓN:** :PALCA-LAMPA-PUNO

**SONDAJE:** : PPRS-03

**COORDENADAS**

E	329,703.42
N	8,305,231.77
ALTITUD	4,285.71 m.s.n.m.

**EQUIPO:** :CS-3000

**PROFUNDIDAD EJECUTADA:** :20.30

**FECHA:** : MAYO 2021

**SOLICITANTES:** : DAYANA E. YUCRA MEDINA  
INDIRA Y. ACHATA DUEÑAS

**ENCARGADO:** : ING. BRUNO TURPO SUCARI

TRAMO (m)		RQD %	CALIDAD DE LA ROCA
DE	A		
0.00	0.55	-	Roca blanda
0.55	1.60	0.00	Muy Pobre
1.60	2.20	0.00	Muy Pobre
2.20	3.40	0.00	Muy Pobre
3.40	5.00	0.00	Muy Pobre
5.00	6.40	51.00	Regular
6.40	8.00	25.00	Muy Pobre
8.00	9.40	36.00	Pobre
9.40	10.50	45.00	Pobre
10.50	11.90	36.00	Pobre
11.90	13.50	56.00	Regular
13.50	15.10	67.00	Regular
15.10	16.70	22.00	Muy Pobre
16.70	17.40	0.00	Muy Pobre
17.40	18.40	58.00	Regular
18.40	19.80	34.00	Muy Pobre
19.80	20.30	56.00	Regular

ING° BRUNO TURPO SUCARI  
RESPONSABLE DE LABORATORIO DE  
SUELOS - CONCRETO - ASFALTO  
CIP - 105875





**ESTUDIO DE SUELOS PARA PAVIMENTOS, IRRIGACIONES,  
SANEAMIENTO, EDIFICACIONES, ALQUILER DE EQUIPOS Y ENSAYOS  
DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO, ROCAS Y  
PAVIMENTOS**

**CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DEL  
MACIZO ROCOSO**

**SONDEO N°: PPRS-04**

**PROYECTO DE TESIS:** : "APLICACIÓN DE JET-GROUTING PARA MEJORAR LA ESTABILIDAD DE LA PRESA DE TIERRA SECTOR PALCA, PROVINCIA DE LAMPA-PUNO"

**UBICACIÓN:** :PALCA-LAMPA-PUNO  
**SONDAJE COORDENADAS** : PPRS-04

E  
N  
ALTITUD

329,692.37
8,305,235.38
4,285.01 m.s.n.m.

**EQUIPO** :CS-3000

**PROFUNDIDAD EJECUTADA** :40.40

**FECHA** : MAYO 2021

**SOLICITANTES** : DAYANA E. YUCRA MEDINA  
INDIRA Y. ACHATA DUEÑAS

**ENCARGADO** : ING. BRUNO TURPO SUCARI

TRAMO (m)		RQD %	CALIDAD DE LA ROCA
DE	A		
0.00	0.60	0.00	Roca blanda
0.60	1.40	0.00	Roca blanda
1.40	3.00	0.00	Roca blanda
3.00	4.20	21.00	Muy Pobre
4.20	5.20	64.00	Regular
5.20	6.40	33.00	Pobre
6.40	7.20	53.00	Regular
7.20	7.95	0.00	Muy Pobre
7.95	9.40	30.00	Pobre
9.40	10.85	55.00	Regular
10.85	12.40	43.00	Pobre
12.40	12.95	31.00	Pobre
12.95	14.20	26.00	Pobre
14.20	14.70	0.00	Muy Pobre
14.70	15.40	71.00	Regular
15.40	16.50	35.00	Pobre
16.50	18.10	48.00	Pobre
18.10	19.70	34.00	Pobre
19.70	20.80	64.00	Regular
20.80	21.40	63.00	Regular
21.40	23.00	67.00	Regular
23.00	24.40	68.00	Regular
24.40	26.00	61.00	Regular
26.00	27.40	31.00	Pobre
27.40	28.70	39.00	Pobre
28.70	30.05	73.00	Regular
30.05	30.40	100.00	Excelente
30.40	32.00	71.00	Regular
32.00	33.40	69.00	Regular
33.40	35.00	84.00	Buena
35.00	36.40	82.00	Buena
36.40	37.60	44.00	Pobre
37.60	39.20	35.00	Pobre
39.20	40.40	49.00	Pobre

ING° BRUNO TURPO SUCARI  
RESPONSABLE DE LABORATORIO DE  
SUELOS - CONCRETO - ASFALTO  
CIP - 105875



**ESTUDIO DE SUELOS PARA PAVIMENTOS, IRRIGACIONES,  
SANEAMIENTO, EDIFICACIONES, ALQUILER DE EQUIPOS Y ENSAYOS  
DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO, ROCAS Y  
PAVIMENTOS**

**CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DEL  
MACIZO ROCOSO**

**SONDEO N°: PPRS-05**

**PROYECTO DE TESIS:** : "APLICACIÓN DE JET-GROUTING PARA MEJORAR LA ESTABILIDAD DE LA PRESA DE TIERRA SECTOR PALCA, PROVINCIA DE LAMPA-PUNO"

**UBICACIÓN:** : PALCA-LAMPA-PUNO

**SONDAJE:** : PPRS-05

**COORDENADAS**

E	329,757.13
N	8,305,199.40
ALTITUD	4,288.71 m.s.n.m.

**EQUIPO:** : CS-3000

**PROFUNDIDAD EJECUTADA:** : 50.60

**FECHA:** : MAYO 2021

**SOLICITANTES:** : DAYANA E. YUCRA MEDINA  
INDIRA Y. ACHATA DUEÑAS

**ENCARGADO:** : ING. BRUNO TURPO SUCARI

TRAMO (m)		RQD %	CALIDAD DE LA ROCA
DE	A		
0.00	0.60	0.00	Muy Pobre
0.60	1.50	30.00	Pobre
1.50	1.90	25.00	Muy Pobre
1.90	3.40	67.00	Regular
3.40	4.40	10.00	Muy Pobre
4.40	4.90	0.00	Muy Pobre
4.90	6.50	76.00	Regular
6.50	8.10	59.00	Regular
8.10	9.50	71.00	Regular
9.50	10.50	0.00	Muy Pobre
10.50	12.10	81.00	Buena
12.10	13.10	58.00	Regular
13.10	14.70	58.00	Regular
14.70	15.30	93.00	Excelente
15.30	16.90	87.00	Buena
16.90	18.30	84.00	Buena
18.30	19.90	49.00	Pobre
19.90	21.30	99.00	Excelente
21.30	22.90	85.00	Buena
22.90	24.30	65.00	Regular
24.30	25.30	67.00	Regular
25.30	26.20	11.00	Muy Pobre
26.20	27.30	64.00	Regular
27.30	28.30	27.00	Pobre
28.30	29.40	82.00	Buena
29.40	30.30	53.00	Regular
30.30	31.30	30.00	Pobre
31.30	32.40	0.00	Muy Pobre
32.40	33.30	41.00	Pobre
33.30	34.30	60.00	Regular
34.30	35.80	32.00	Pobre
35.80	36.80	25.00	Muy Pobre
36.80	38.00	19.00	Muy Pobre
38.00	39.00	20.00	Muy Pobre
39.00	40.00	28.00	Pobre
40.00	41.40	41.00	Pobre
41.40	42.30	42.00	Pobre
42.30	43.10	15.00	Muy Pobre
43.10	44.50	47.00	Pobre
44.50	45.40	59.00	Regular
45.40	46.70	38.00	Pobre
46.70	48.30	54.00	Regular
48.30	49.90	87.00	Buena
49.90	50.60	43.00	Pobre

ING° BRUNO TURPO SUCARI  
RESPONSABLE DE LABORATORIO DE  
SUELOS - CONCRETO - ASFALTO  
CIP - 105875



**ESTUDIO DE SUELOS PARA PAVIMENTOS, IRRIGACIONES,  
SANEAMIENTO, EDIFICACIONES, ALQUILER DE EQUIPOS Y ENSAYOS  
DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO, ROCAS Y  
PAVIMENTOS**

**ENSAYO DE PERMEABILIDAD TIPO LEFRANC**

**PROYECTO DE TESIS:** : "APLICACIÓN DE JET-GROUTING PARA MEJORAR LA ESTABILIDAD DE LA PRESA DE TIERRA SECTOR PALCA, PROVINCIA DE LAMPA-PUNO"

**UBICACIÓN:** : PALCA-LAMPA-PUNO

**SONDAJE** : PPRS-01

**COORDENADAS**

E	329,644.67
N	8,305,218.00
ALTITUD	4,293.16 m.s.n.m.
	0.00 a 50.00m

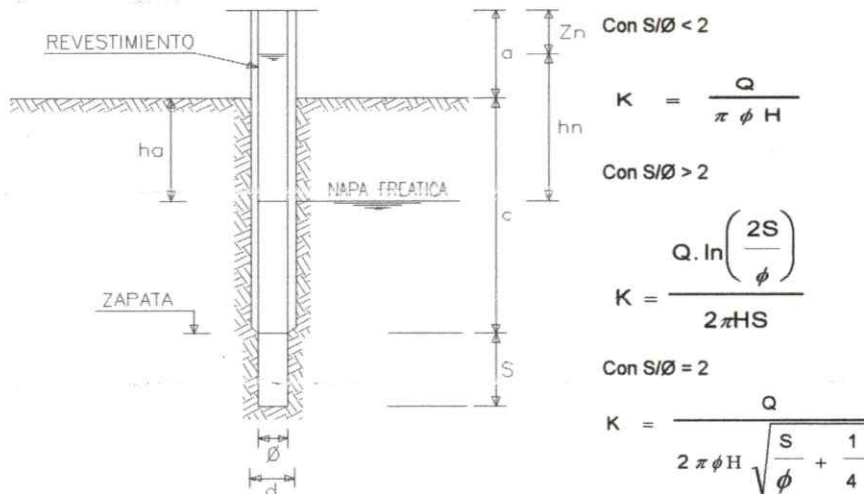
**TRAMO DE ENSAYO DE**

**FECHA** : MAYO 2021


**SOLICITANTES** : DAYANA E. YUCRA MEDINA  
INDIRA Y. ACHATA DUEÑAS

**ENCARGADO** : ING. BRUNO TURPO SUCARI

**CALCULO DE LA PERMEABILIDAD**



N° ENSAYO	TRAMO		K (cm/seg)	Nivel	ROCA
	DE	A			
LF-01	0.00	3.00	2.29E-05	Constante	Arena limosa
LF-02	3.00	6.00	1.19E-05	Variable	Arena limosa
LF-03	6.00	9.00	4.51E-05	Constante	Arena limosa
LF-04	9.00	12.00	1.08E-05	Constante	Arena arcillosa
LF-05	12.00	15.00	5.34E-05	Constante	Arena arcillosa
LF-06	15.00	18.00	2.94E-05	Constante	Limo con arena
LF-07	18.00	21.00	1.84E-05	Constante	Limo con arena
LF-08	21.00	24.00	1.60E-05	Constante	Arenisca Arcillosa
LF-09	24.00	27.00	2.74E-05	Constante	Arenisca Lutacea
LF-10	27.00	30.00	9.79E-05	Constante	Arenisca Lutacea
LF-11	30.00	33.00	9.77E-05	Constante	Arenisca Lutacea
LF-12	33.00	36.00	7.59E-05	Constante	Arenisca Lutacea
LF-13	36.00	39.00	2.74E-05	Constante	Arenisca Lutacea
LF-14	39.00	45.00	9.79E-05	Constante	Arenisca lutacea/yeso
LF-15	45.00	50.00	9.77E-05	Constante	Yeso/Caliza lutacea

  
 ING° BRUNO TURPO SUCARI  
 RESPONSABLE DE LABORATORIO DE  
 SUELOS - CONCRETO - ASFALTO  
 CIP - 105875



## ENSAYO DE PERMEABILIDAD TIPO LEFRANC

**PROYECTO DE TESIS:** : "APLICACIÓN DE JET-GROUTING PARA MEJORAR LA ESTABILIDAD DE LA PRESA DE TIERRA SECTOR PALCA, PROVINCIA DE LAMPA-PUNO"

**UBICACIÓN:** : PALCA-LAMPA-PUNO

**SONDAJE:** : PPRS-02

**COORDENADAS**

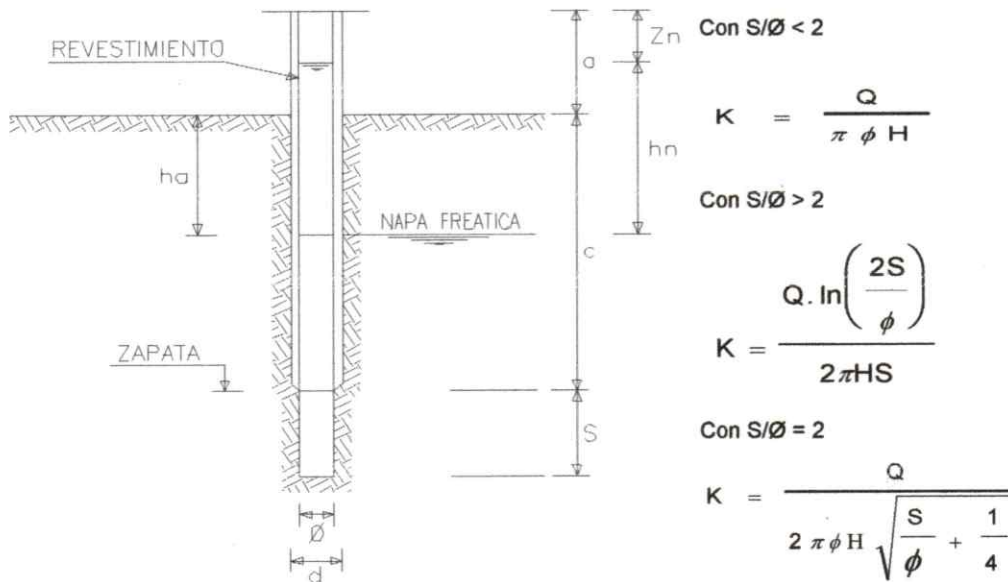
E	329,713.41
N	8,305,227.09
ALTITUD	4,286.21 m.s.n.m.
TRAMO DE ENSAYO DE	0.00 a 35.00m

**FECHA:** : MAYO 2021

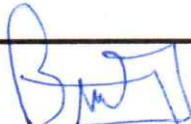
**SOLICITANTES:** : DAYANA E. YUCRA MEDINA  
INDIRA Y. ACHATA DUEÑAS

**ENCARGADO:** : ING. BRUNO TURPO SUCARI

### CALCULO DE LA PERMEABILIDAD



N° ENSAYO	TRAMO		K (cm/seg)	Nivel	ROCA
	DE	A			
LF-01	2.00	5.00	1.56E-04	Constante	Granito residual
LF-02	5.00	8.00	4.48E-05	Constante	Granito muy fracturado
LF-03	8.00	11.00	2.52E-05	Constante	Granito muy fracturado
LF-04	15.00	20.00	1.12E-05	Constante	Granito muy fracturado
LF-05	20.00	25.00	9.84E-07	Variable	Arenisca Arcillosa
LF-06	25.00	30.00	7.63E-06	Constante	Arenisca Arcillosa
LF-07	30.00	35.00	5.94E-06	Constante	Arenisca Arcillosa

  
**ING° BRUNO TURPO SUCARI**  
 RESPONSABLE DE LABORATORIO DE  
 SUELOS - CONCRETO - ASFALTO  
 CIP - 105875



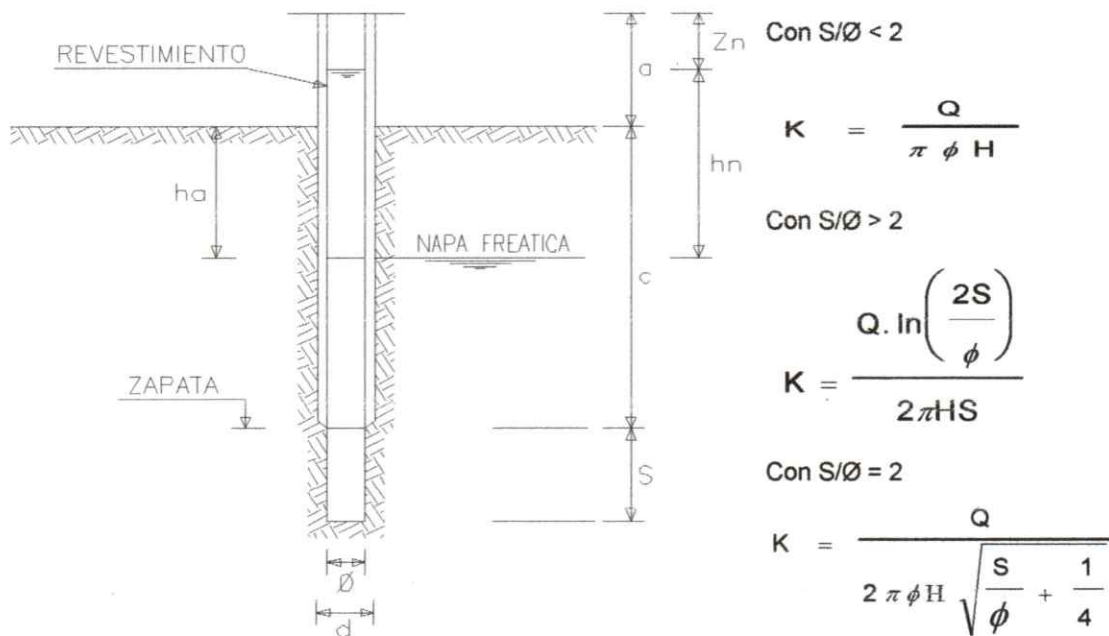
## ENSAYO DE PERMEABILIDAD TIPO LEFRANC

**PROYECTO DE TESIS:** : "APLICACIÓN DE JET-GROUTING PARA MEJORAR LA ESTABILIDAD DE LA PRESA DE TIERRA SECTOR PALCA, PROVINCIA DE LAMPA-PUNO"  
**UBICACIÓN:** : PALCA-LAMPA-PUNO  
**SONDAJE:** : PPRS-03  
**COORDENADAS:**

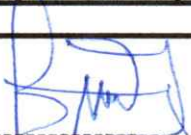
E	329,703.42
N	8,305,231.77
ALTITUD	4,285.71 m.s.n.m.
TRAMO DE ENSAYO DE	0.00 a 5.00m

**FECHA:** : MAYO 2021  
**SOLICITANTES:** : DAYANA E. YUCRA MEDINA  
 INDIRA Y. ACHATA DUEÑAS  
**ENCARGADO:** : ING. BRUNO TURPO SUCARI

### CALCULO DE LA PERMEABILIDAD



N° ENSAYO	TRAMO		K (cm/seg)	Nivel	ROCA
	DE	A			
LF-01	0.00	5.00	2.81E-06	Constante	Granito residual

  
 ING° BRUNO TURPO SUCARI  
 RESPONSABLE DE LABORATORIO DE  
 SUELOS - CONCRETO - ASFALTO  
 CIP - 105875



## ENSAYO DE PERMEABILIDAD TIPO LEFRANC

**PROYECTO DE TESIS:** : "APLICACIÓN DE JET-GROUTING PARA MEJORAR LA ESTABILIDAD DE LA PRESA DE TIERRA SECTOR PALCA, PROVINCIA DE LAMPA-PUNO"

**UBICACIÓN:** : PALCA-LAMPA-PUNO  
**SONDAJE** : PPRS-04  
**COORDENADAS**

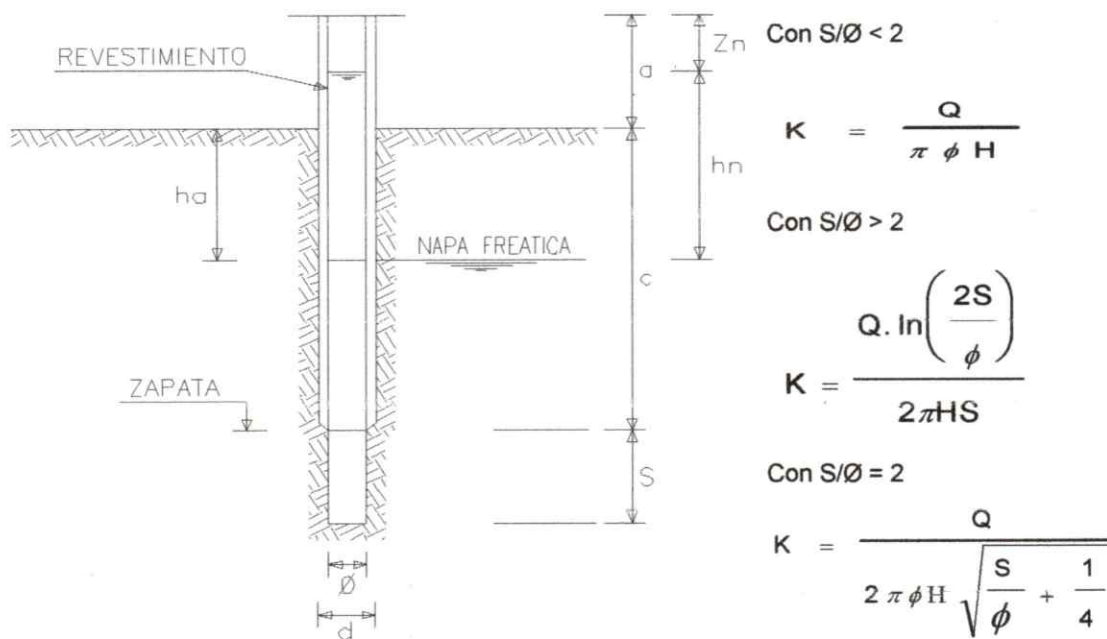
E	329,692.37
-N	8,305,235.38
ALTITUD	4,285.01 m.s.n.m.
TRAMO DE ENSAYO DE	0.00 a 5.00m

**FECHA** : MAYO 2021

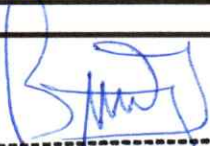
**SOLICITANTES** : DAYANA E. YUCRA MEDINA  
INDIRA Y. ACHATA DUEÑAS

**ENCARGADO** : ING. BRUNO TURPO SUCARI

### CALCULO DE LA PERMEABILIDAD



N° ENSAYO	TRAMO		K (cm/seg)	Nivel	ROCA
	DE	A			
LF-01	0.00	5.00	9.36E-04	Constante	Granito fracturado

  
 ING° BRUNO TURPO SUCARI  
 RESPONSABLE DE LABORATORIO DE  
 SUELOS - CONCRETO - ASFALTO  
 CIP - 105875



**ESTUDIO DE SUELOS PARA PAVIMENTOS, IRRIGACIONES,  
SANEAMIENTO, EDIFICACIONES, ALQUILER DE EQUIPOS Y ENSAYOS  
DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO, ROCAS Y  
PAVIMENTOS**

## ENSAYO DE PERMEABILIDAD TIPO LEFRANC

**PROYECTO DE TESIS:** : "APLICACIÓN DE JET-GROUTING PARA MEJORAR LA ESTABILIDAD DE LA PRESA DE TIERRA SECTOR PALCA, PROVINCIA DE LAMPA-PUNO"

**UBICACIÓN:** : PALCA-LAMPA-PUNO

**SONDAJE:** : PPRS-05

**COORDENADAS**

E	329,757.13
N	8,305,199.40
ALTITUD	4,288.71 m.s.n.m.
TRAMO DE ENSAYO DE	0.00 a 5.00m

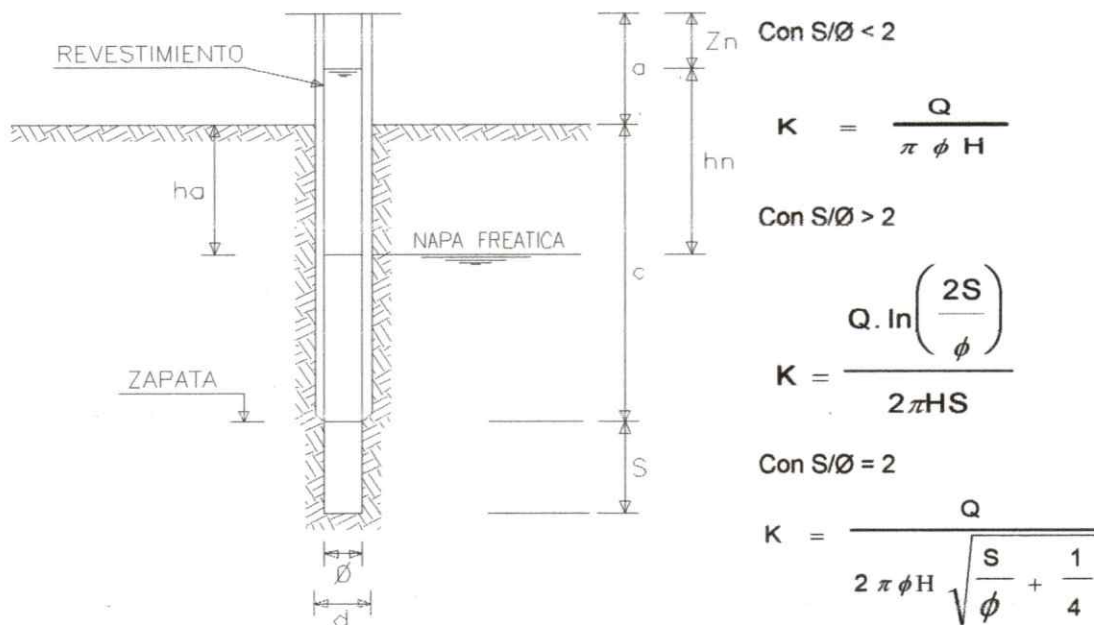
**TRAMO DE ENSAYO DE**

**FECHA:** : MAYO 2021

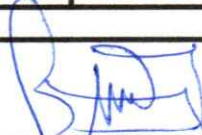
**SOLICITANTES:** : DAYANA E. YUCRA MEDINA  
INDIRA Y. ACHATA DUEÑAS

**ENCARGADO:** : ING. BRUNO TURPO SUCARI

### CALCULO DE LA PERMEABILIDAD



N° ENSAYO	TRAMO		K (cm/seg)	Nivel	ROCA
	DE	A			
LF-01	0.00	5.00	8.74E-05	Constante	Granito muy fracturado

  
 ING° BRUNO TURPO SUCARI  
 RESPONSABLE DE LABORATORIO DE  
 SUELOS - CONCRETO - ASFALTO  
 CIP - 105875



**ESTUDIO DE SUELOS PARA PAVIMENTOS, IRRIGACIONES,  
SANEAMIENTO, EDIFICACIONES, ALQUILER DE EQUIPOS Y ENSAYOS  
DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO, ROCAS Y  
PAVIMENTOS**

### ENSAYO DE PERMEABILIDAD TIPO LUGEON

PROYECTO DE TESIS : "APLICACIÓN DE JET-GROUTING PARA MEJORAR LA ESTABILIDAD DE LA PRESA DE TIERRA SECTOR PALCA, PROVINCIA DE LAMPA-PUNO"

UBICACIÓN : PALCA-LAMPA-PUNO

SONDAJE : PPRS-01

COORDENADAS

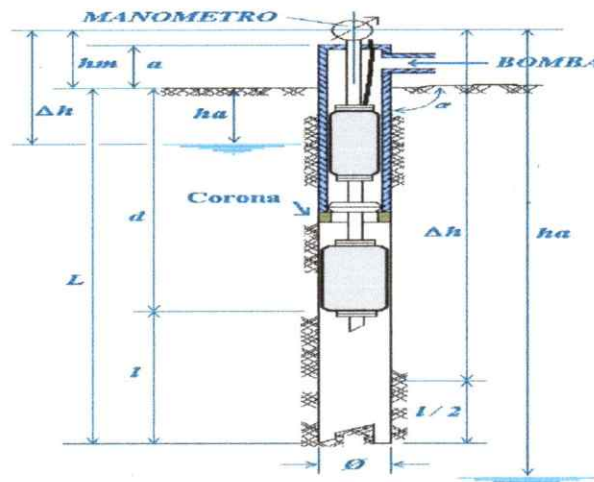
E	329,644.67
N	8'305,218.0
ALTITUD	4293.16 m.s.n.m.
TRAMO DE ENSAYO DE	50.00 a 55.50m

FECHA : MAYO 2021

SOLICITANTES : DAYANA E. YUCRA MEDINA  
INDIRA Y. ACHATA DUEÑAS

ENCARGADO : ING. BRUNO TURPO SUCARI

#### CALCULO DE LA PERMEABILIDAD



$$K = \frac{U.L.}{12 \times 10^4} \ln \frac{L}{r}$$

N° ENSAYO	TRAMO		UNIDAD LUGEON	K (cm/seg)	TIPO FLUJO	ROCA
	DE	A				
LUG-01	50.00	55.50	0.12	1.59E-06	Turbulento	yeso/caliza lutacea

  
 ING° BRUNO TURPO SUCARI  
 RESPONSABLE DE LABORATORIO DE  
 SUELOS - CONCRETO - ASFALTO  
 CIP - 105875





## ENSAYO DE PERMEABILIDAD TIPO LUGEON

**PROYECTO DE TESIS:** : "APLICACIÓN DE JET-GROUTING PARA MEJORAR LA ESTABILIDAD DE LA PRESA DE TIERRA SECTOR PALCA, PROVINCIA DE LAMPA-PUNO"

**UBICACIÓN:** : PALCA-LAMPA-PUNO

**SONDAJE:** : PPRS-02

**COORDENADAS**

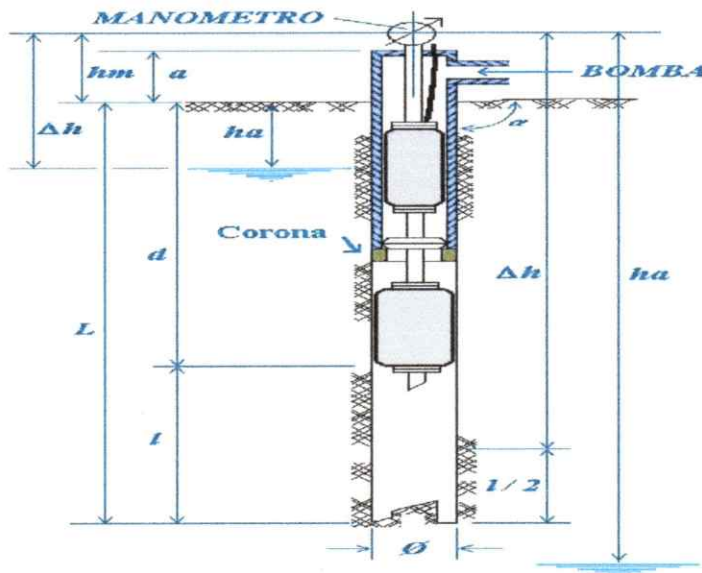
E	329,713.41
N	8,305,227.09
ALTITUD	4,286.21 m.s.n.m.
TRAMO DE ENSAYO DE	11.00 a 15.00 m

**FECHA:** : MAYO 2021

**SOLICITANTES:** : DAYANA E. YUCRA MEDINA  
INDIRA Y. ACHATA DUEÑAS

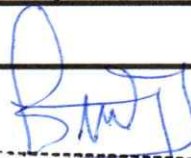
**ENCARGADO:** : ING. BRUNO TURPO SUCARI

### CALCULO DE LA PERMEABILIDAD



$$K = \frac{UL}{12 \times 10^4} \ln \frac{L}{r}$$

N° ENSAYO	TRAMO		UNIDAD LUGEON	K (cm/seg)	TIPO FLUJO	ROCA
	DE	A				
LUG-01	11.00	15.00	3.08	4.00E-05	Turbulento	Granito

  
 YG° BRUNO TURPO SUCARI  
 RESPONSABLE DE LABORATORIO DE  
 SUELOS - CONCRETO - ASFALTO  
 CIP - 105875



**ESTUDIO DE SUELOS PARA PAVIMENTOS, IRRIGACIONES,  
SANEAMIENTO, EDIFICACIONES, ALQUILER DE EQUIPOS Y ENSAYOS  
DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO, ROCAS Y  
PAVIMENTOS**

## ENSAYO DE PERMEABILIDAD TIPO LUGEON

**PROYECTO DE TESIS:** : "APLICACIÓN DE JET-GROUTING PARA MEJORAR LA ESTABILIDAD DE LA PRESA DE TIERRA SECTOR PALCA, PROVINCIA DE LAMPA-PUNO"

**UBICACIÓN:** : PALCA-LAMPA-PUNO

**SONDAJE** : PPRS-03

**COORDENADAS**

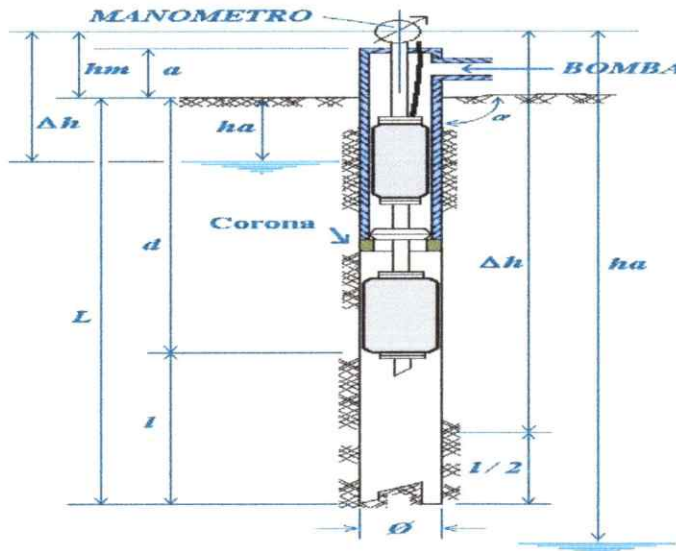
E	329,703.42
N	8,305,231.77
ALTITUD	4,285.71 m.s.n.m.
TRAMO DE ENSAYO DE	05.00 a 20.00m

**FECHA** : MAYO 2021

**SOLICITANTES** : DAYANA E. YUCRA MEDINA  
INDIRA Y. ACHATA DUEÑAS

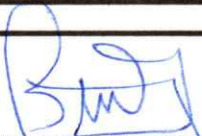
**ENCARGADO** : ING. BRUNO TURPO SUCARI

### CALCULO DE LA PERMEABILIDAD



$$K = \frac{UL}{12 \times 10^4 \ln \frac{L}{r}}$$

N° ENSAYO	TRAMO		UNIDAD LUGEON	K (cm/seg)	TIPO FLUJO	ROCA
	DE	A				
LUG-01	5.00	10.00	7.07	9.19E-05	Laminar	Granito
LUG-02	10.00	15.00	34.49	4.48E-04	Dilatación	Granito
LUG-03	15.00	20.00	40.7	5.29E-04	Erosión	Granito

  
 ING° BRUNO TURPO SUCARI  
 RESPONSABLE DE LABORATORIO DE  
 SUELOS - CONCRETO - ASFALTO  
 CIP - 105875



**ESTUDIO DE SUELOS PARA PAVIMENTOS, IRRIGACIONES,  
SANEAMIENTO, EDIFICACIONES, ALQUILER DE EQUIPOS Y ENSAYOS  
DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO, ROCAS Y  
PAVIMENTOS**

## ENSAYO DE PERMEABILIDAD TIPO LUGEON

**PROYECTO DE TESIS:** : "APLICACIÓN DE JET-GROUTING PARA MEJORAR LA ESTABILIDAD DE LA PRESA DE TIERRA SECTOR PALCA, PROVINCIA DE LAMPA-PUNO"

**UBICACIÓN:** : PALCA-LAMPA-PUNO

**SONDAJE:** : PPRS-04

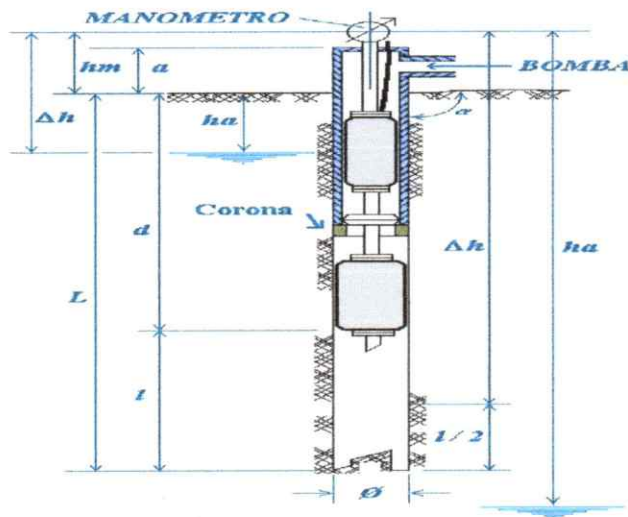
**COORDENADAS**

E	329,692.37
N	8,305,235.38
ALTITUD	4,285.01 m.s.n.m.
TRAMO DE ENSAYO DE FECHA	05.00 a 40.000m

**SOLICITANTES** : DAYANA E. YUCRA MEDINA  
INDIRA Y. ACHATA DUEÑAS

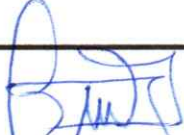
**ENCARGADO** : ING. BRUNO TURPO SUCARI

### CALCULO DE LA PERMEABILIDAD



$$K = \frac{UL}{12 \times 10^4} \ln \frac{L}{r}$$

N° ENSAYO	TRAMO		UNIDAD LUGEON	K (cm/seg)	TIPO FLUJO	ROCA
	DE	A				
LUG-01	5	10	2	2.60E-05	Dilatación	Granito
LUG-02	10	15	0.98	1.28E-05	Dilatación	Granito
LUG-03	15	20	4.22	5.48E-05	Dilatación	Granito
LUG-04	20	25	2.59	3.37E-05	Turbulento	Granito
LUG-05	25	30	6.07	7.89E-05	Relleno	Granito
LUG-06	30	35	5.55	7.21E-05	Relleno	Granito
LUG-07	35	40	1.27	1.65E-05	Relleno	Granito

  
 ING° BRUNO TURPO SUCARI  
 RESPONSABLE DE LABORATORIO DE  
 SUELOS - CONCRETO - ASFALTO  
 CIP - 105875



## ENSAYO DE PERMEABILIDAD TIPO LUGEON

**PROYECTO DE TESIS:** : "APLICACIÓN DE JET-GROUTING PARA MEJORAR LA ESTABILIDAD DE LA PRESA DE TIERRA SECTOR PALCA, PROVINCIA DE LAMPA-PUNO"

**UBICACIÓN:** : PALCA-LAMPA-PUNO  
**SONDAJE:** : PPRS-05

**COORDENADAS**

E	329,757.13
N	8,305,199.40
ALTITUD	4,288.71 m.s.n.m.
TRAMO DE ENSAYO DE	05.00 a 50.00m

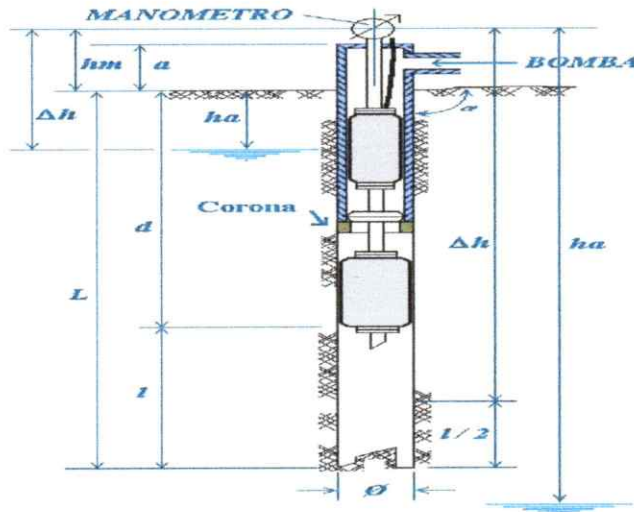
**TRAMO DE ENSAYO DE**

**FECHA:** : MAYO 2021

**SOLICITANTES:** : DAYANA E. YUCRA MEDINA  
INDIRA Y. ACHATA DUEÑAS

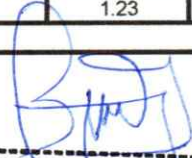
**ENCARGADO:** : ING. BRUNO TURPO SUCARI

### CALCULO DE LA PERMEABILIDAD



$$K = \frac{U.L.}{12 \times 10^4} \ln \frac{L}{r}$$

N° ENSAYO	TRAMO		UNIDAD LUGEON	K (cm/seg)	TIPO FLUJO	ROCA
	DE	A				
LUG-01	5	10	11.15	1.45E-04	Turbulento	Granito
LUG-02	10	15	6.53	8.49E-05	Turbulento	Granito
LUG-03	15	20	2.58	3.36E-05	Turbulento	Granito
LUG-04	20	25	5.66	7.36E-05	Laminar	Granito
LUG-05	25	30	3.87	5.03E-05	Relleno	Granito
LUG-06	30	40	1.82	2.37E-05	Laminar	Granito
LUG-07	40	50	1.23	1.60E-05	Erosión	Granito

  
 ING° BRUNO TURPO SUCARI  
 RESPONSABLE DE LABORATORIO DE  
 SUELOS - CONCRETO - ASFALTO  
 CIP - 105875



**ESTUDIO DE SUELOS PARA PAVIMENTOS, IRRIGACIONES,  
SANEAMIENTO, EDIFICACIONES, ALQUILER DE EQUIPOS Y ENSAYOS  
DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO, ROCAS Y  
PAVIMENTOS**

**ENSAYO DE CORTE DIRECTO**

**(NORMA ASTM-D3080)**

<b>PROYECTO DE TESIS</b>	: APLICACIÓN DE JET-GROUTING PARA MEJORAR LA ESTABILIDAD DE LA PRESA DE TIERRA SECTOR PALCA, PROVINCIA DE LAMPA-PUNO.	<b>CALICATA</b>	: PPRS-01
<b>UBICACIÓN</b>	: PALCA-LAMPA-PUNO	<b>ESTRATO</b>	: M-1
<b>SOLICITANTES</b>	: DAYANA E. YUCRA MEDINA INDIRA Y. ACHATA DUEÑAS	<b>ENCARGADO</b>	: ING. BRUNO TURPO SUCARI
		<b>FECHA</b>	: MAYO 2021

DATOS DEL ESPECIMEN		ESPECIMEN 1		ESPECIMEN 2		ESPECIMEN 3	
		INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL
<b>ALTURA</b>	cm	2.40	2.40	2.40	2.40	2.40	2.40
<b>DIAMETRO</b>	cm	5.10		5.10		5.10	
<b>DENSIDAD SECA</b>	gr./cm <sup>3</sup>	2.20		2.21		2.21	
<b>HUMEDAD</b>	%	8.81		8.84		8.83	
<b>ESFUERZO NORMAL</b>	gr./cm <sup>2</sup>	0.50		1.00		2.00	

ESPECIMEN 1				ESPECIMEN 2				ESPECIMEN 3			
DEF. TANG. M.m.	DIAL DE CARGA	FUERZA CORTANTE	ESFUERZO DE CORTE	DEF. TANG. M.m.	DIAL DE CARGA	FUERZA CORTANTE	ESFUERZO DE CORTE	DEF. TANG. mm.	DIAL DE CARGA	FUERZA CORTANTE	ESFUERZO DE CORTE
0.00	0.00	0.000	0.000	0.00	0.00	0.000	0.000	0.00	0.00	0.000	0.000
0.10	2.66	0.554	0.028	0.10	6.47	1.348	0.069	0.10	15.15	3.156	0.161
0.20	4.16	0.867	0.044	0.20	9.34	1.946	0.099	0.20	21.39	4.456	0.227
0.30	6.55	1.364	0.069	0.30	12.48	2.600	0.132	0.30	26.62	5.545	0.282
0.40	7.90	1.646	0.084	0.40	15.30	3.187	0.162	0.40	32.46	6.761	0.344
0.60	10.53	2.193	0.112	0.60	18.70	3.895	0.198	0.60	42.30	8.811	0.449
0.80	14.10	2.937	0.150	0.80	22.50	4.687	0.239	0.80	49.00	10.207	0.520
1.00	16.90	3.520	0.179	1.00	26.40	5.499	0.280	1.00	54.70	11.394	0.580
1.25	19.40	4.041	0.206	1.25	32.10	6.686	0.341	1.25	65.80	13.706	0.698
1.50	22.80	4.749	0.242	1.50	37.54	7.820	0.398	1.50	75.20	15.664	0.798
1.75	26.90	5.603	0.285	1.75	44.38	9.244	0.471	1.75	84.55	17.612	0.897
2.00	30.46	6.345	0.323	2.00	48.60	10.123	0.516	2.00	92.84	19.339	0.985
2.25	34.85	7.259	0.370	2.25	55.10	11.477	0.585	2.25	98.32	20.480	1.043
2.50	38.95	8.113	0.413	2.50	59.90	12.477	0.635	2.50	101.61	21.165	1.078
2.75	40.50	8.436	0.430	2.75	64.25	13.383	0.682	2.75	103.59	21.578	1.099
3.00	39.80	8.290	0.422	3.00	68.50	14.269	0.727	3.00	102.96	21.447	1.092
3.50	35.23	7.338	0.374	3.50	71.30	14.852	0.756	3.50	100.43	20.920	1.065
4.00	29.60	6.166	0.314	4.00	69.65	14.508	0.739	4.00	98.32	20.480	1.043
4.50	25.20	5.249	0.267	4.50	65.34	13.610	0.693	4.50	96.43	20.086	1.023
5.00				5.00	34.00		0.00	5.00	92.43	19.253	0.981
5.50				5.50				5.50	88.32	18.397	0.937
6.00				6.00							
6.50				6.50							

  
 ING° BRUNO TURPO SUCARI  
 RESPONSABLE DE LABORATORIO DE  
 SUELOS - CONCRETO - ASFALTO  
 CIP - 105875



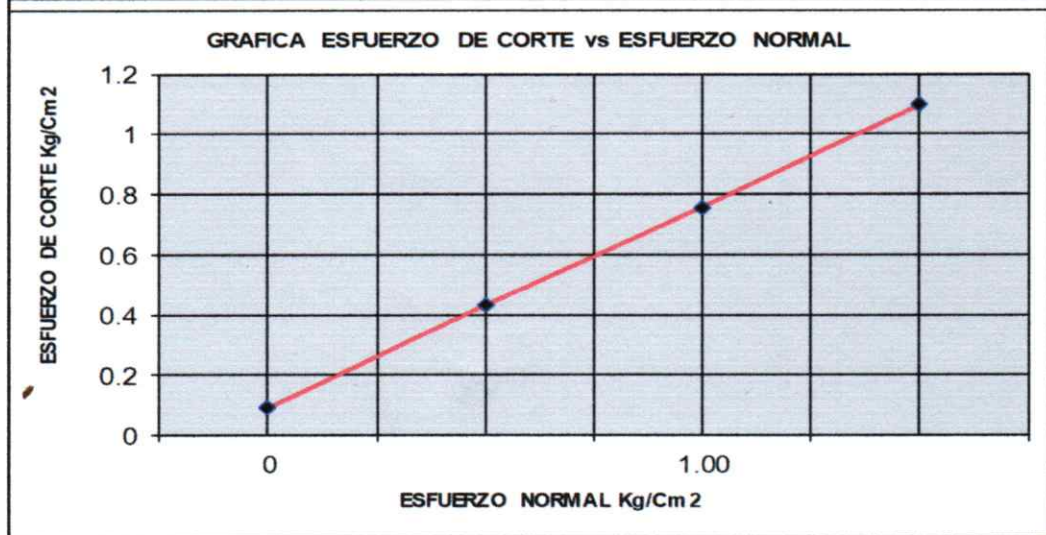
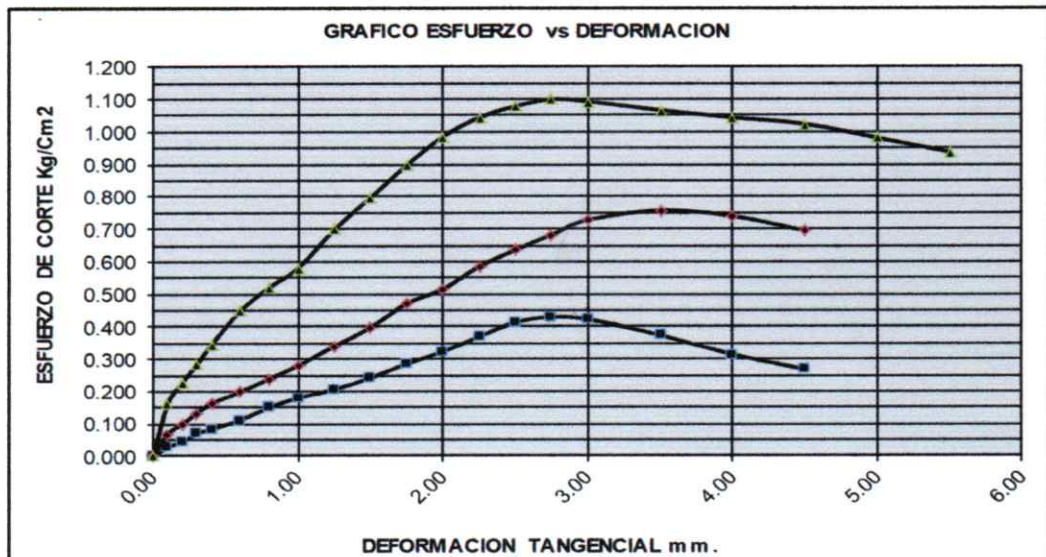
**ESTUDIO DE SUELOS PARA PAVIMENTOS, IRRIGACIONES,  
SANEAMIENTO, EDIFICACIONES, ALQUILER DE EQUIPOS Y ENSAYOS  
DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO, ROCAS Y  
PAVIMENTOS**


**ENSAYO DE CORTE DIRECTO**

**(NORMA ASTM-D3080)**

PROYECTO DE TESIS	: APLICACIÓN DE JET-GROUTING PARA MEJORAR LA ESTABILIDAD DE LA PRESA DE TIERRA SECTOR PALCA, PROVINCIA DE LAMPA-PUNO.	CALICATA	: PPRS-01
UBICACIÓN	: PALCA-LAMPA-PUNO	ESTRATO	: M-1
SOLICITANTES	: DAYANA E. YUCRA MEDINA INDIRA Y. ACHATA DUEÑAS	ENCARGADO	: ING. BRUNO TURPO SUCARI
		FECHA	: MAYO 2021

ANGULO DE FRICCION	28.00	GRADOS
COHESION	0.40	KG/CM2



  
 ING° BRUNO TURPO SUCARI  
 RESPONSABLE DE LABORATORIO DE  
 SUELOS - CONCRETO - ASFALTO  
 CIP - 105875

## Anexo 6. Panel fotográfico



*Fotografía 1. Levantamiento topográfico del lugar de estudio.*



*Fotografía 2. Visita durante el trabajo de perforaciones.*

# SONDEO PPRS-01

---



*Fotografía 3. Caja Nº 01(0.00 - 2.90m)*



*Fotografía 4.. Caja Nº 02(2.90 – 6.65m)*





**Fotografía 5.. Caja N° 03(6.65 – 11.65m)**



**Fotografía 6.. Caja N° 04(11.65 – 14.35m)**



**Fotografía 7.. Caja N° 05(14.35 – 17.33m)**



**Fotografía 8.** Caja N° 06(17.33 – 21.13m)



**Fotografía 9.** Caja N° 07(21.13 – 24.06m)



**Fotografía 10.** Caja N° 08(24.06 – 27.10m)



**Fotografía 11.** Caja N° 09(27.10 – 30.25m)



**Fotografía 12.** Caja N° 10(30.25 – 33.77m)



**Fotografía 13.** Caja N° 11(33.77 – 38.60m)



**Fotografía 14.** Caja N° 12(38.60 – 43.35m)



**Fotografía 15.** Caja N° 13(43.35 – 46.85m)



**Fotografía 16.** Caja N° 14(46.85 – 49.40m)



**Fotografía 17.** Caja N° 15(49.40 – 52.38m)



**Fotografía 18.** Caja N° 16(52.38 – 55.50m)

# SONDEO PPRS-02

---



*Fotografía 19. Caja N° 01(0.00 – 3.10m)*



*Fotografía 20. Caja N° 02(3.10 – 7.60m)*



**Fotografía 21. Caja N° 03 (7.60 – 11.50m)**



**Fotografía 22. Caja N° 04 (11.50 – 14.34m)**



**Fotografía 23. Caja N° 05 (14.34 – 17.30m)**



**Fotografía 24.** Caja N° 06 (17.30 – 20.80m)



**Fotografía 25.** Caja N° 07 (20.80 – 25.25m)



**Fotografía 26.** Caja N° 08 (25.25 – 28.17m)





**Fotografía 27.** Caja N° 09 (28.17 – 30.96m)



**Fotografía 28.** Caja N° 10 (30.96 – 33.76m)



**Fotografía 29.** Caja 11(33.76 – 35.20m)

# SONDEO PPRS-03

---



*Fotografía 30. Caja N° 01(0.00 – 3.91m)*



*Fotografía 31. Caja N° 02 (3.91 – 7.09m)*



**Fotografía 32.** Caja Nº 03 (7.09 – 9.96m)



**Fotografía 33..** Caja Nº 04 (9.96 – 13.00m)



**Fotografía 34.** Caja Nº 05 (13.00 – 15.80m)



**Fotografía 35.** Caja N° 06 (15.80 – 18.67m)



**Fotografía 36.** Caja N° 07 (18.67 – 20.30m)

# SONDEO PPRS-04

---



*Fotografía 37. Caja N° 01(0.00 – 4.33m)*



*Fotografía 38. Caja N° 02(4.33 – 7.35m)*



**Fotografía 39.** Caja N° 03(7.35 – 10.30m)



**Fotografía 40.** Caja N° 04(10.30 – 13.08m)



**Fotografía 41.** Caja N° 05(13.08 – 15.81m)



**Fotografía 42.** Caja N° 06(15.81 – 18.50m)



**Fotografía 43.** Caja N° 07(18.50 – 21.30m)



**Fotografía 44.** Caja N° 08(21.30 – 23.95m)



**Fotografía 45.** Caja N° 09(23.95 – 26.64m)



**Fotografía 46.** Caja N° 10(26.69 – 29.68m)



**Fotografía 47.** Caja N° 11(29.68 – 32.20m)





**Fotografía 48.** Caja Nº 12(32.20 – 35.13m)



**Fotografía 49.** Caja Nº 13(35.13 – 37.76m)



**Fotografía 50.** Caja Nº 14(37.76 – 40.40m)

# SONDEO PPRS-05

---



*Fotografía 51. Caja N° 01(0.00 – 3.60m)*



*Fotografía 52. Caja N° 02(3.60 – 6.60m)*



**Fotografía 53.** Caja N° 03(6.60 – 9.50m)



**Fotografía 54.** Caja N° 04(9.50 – 12.10m)



**Fotografía 55.** Caja N° 05(12.10 – 14.80m)



**Fotografía 56.** Caja N° 06(14.80 – 17.47m)



**Fotografía 57.** Caja N° 07(17.47 – 20.28m)



**Fotografía 58.** Caja N° 08(20.28 – 22.90m)



**Fotografía 59.** Caja N° 09(22.90 – 25.80m)



**Fotografía 60.** Caja N° 10(25.80 – 28.60m)



**Fotografía 61.** Caja N° 11(28.60 – 31.30m)



**Fotografía 62.** Caja N° 12(31.30 – 34.05m)



**Fotografía 63.** Caja N° 13(34.05 – 37.05m)



**Fotografía 64.** Caja N° 14(37.05 – 39.92m)



**Fotografía 65. Caja N° 15(39.92 – 42.60m)**



**Fotografía 66. Caja N° 16(42.60 – 45.35m)**




**Fotografía 67. Caja N° 17(45.35 – 47.91m)**





**Fotografía 68.** Caja N° 18(47.91 – 50.60m)



## Anexo 7. Fichas de validación de instrumentos de investigación.

FICHA DE VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN						
I. DATOS INFORMATIVOS:						
Apellidos y nombres del experto	: MG. SAMIR AUGUSTO AREVALO VIDAL					
Título y/o Grado académico	: Doctor ( ) Magister ( X ) Licenciado ( ) Otros ( )					
Institución	: UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO					
Nombre del Instrumento	: Ficha de registro de datos					
Autor del Instrumento	: Bach. Yucra Medina Dayana Elizabeth, Bach. Achata Dueñas Indira Yubel					
Título de la Investigación	:" Diseño con Jet-Grouting para mejorar la estabilidad de la presa de tierra sector Palca, provincia de Lampa-Puno"					
II. ASPECTO DE VALIDACIÓN:						
INDICADORES	CRITERIOS	Deficiente 0-20%	Regular 21-50%	Bueno 51-70%	Muy Bueno 71-80%	Excelente 81-100%
CLARIDAD	Está formulado con lenguaje apropiado.					x
OBJETIVIDAD	Está expresado en conducta observable.					x
ACTUALIDAD	Es adecuado al avance de la ciencia y tecnología.				x	
ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.					x
SUFICIENCIA	Comprende los aspectos de calidad y cantidad.					x
CONSISTENCIA	Está basado en aspectos teóricos y científicos acordes a la tecnología educativa.					x
COHERENCIA	Existe reacción entre las dimensiones e indicadores.					x
METODOLOGÍA	Responde al propósito del trabajo considerando los objetivos planteados.					x
PERTINENCIA	El instrumento es adecuado al tipo de investigación.					x
III. OPINIÓN DE APLICACIÓN:						
Los instrumentos utilizados son pertinentes con respecto al tipo de investigación.						
IV. PROMEDIO DE VALIDACIÓN:						
Callao, 26 de Julio del 2021.	177295				961821545	
Lugar y fecha	CIP	Firma del experto			Celular	

<b>FICHA DE VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN</b>						
<b>I. DATOS INFORMATIVOS:</b>						
<b>Apellidos y nombres del experto</b>	: MG. LUIS ALBERTO SEGURA TERRONES					
<b>Título y/o Grado académico</b>	: Doctor ( ) Magister ( X ) Licenciado ( ) Otros ( )					
<b>Institución</b>	: UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO					
<b>Nombre del Instrumento</b>	: Ficha de registro de datos					
<b>Autor del Instrumento</b>	: Bach. Yucra Medina Dayana Elizabeth, Bach. Achata Dueñas Indira Yubel					
<b>Título de la Investigación</b>	: "Diseño con Jet-Grouting para mejorar la estabilidad de la presa de tierra sector Palca, provincia de Lampa-Puno"					
<b>II. ASPECTO DE VALIDACIÓN:</b>						
INDICADORES	CRITERIOS	Deficiente 0-20%	Regular 21-50%	Bueno 51-70%	Muy Bueno 71-80%	Excelente 81-100%
CLARIDAD	Está formulado con lenguaje apropiado.				x	
OBJETIVIDAD	Está expresado en conducta observable.				x	
ACTUALIDAD	Es adecuado al avance de la ciencia y tecnología.				x	
ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.				x	
SUFICIENCIA	Comprende los aspectos de calidad y cantidad.				x	
CONSISTENCIA	Está basado en aspectos teóricos y científicos acordes a la tecnología educativa.				x	
COHERENCIA	Existe reacción entre las dimensiones e indicadores.					x
METODOLOGÍA	Responde al propósito del trabajo considerando los objetivos planteados.				x	
PERTINENCIA	El instrumento es adecuado al tipo de investigación.				x	
<b>III. OPINIÓN DE APLICACIÓN:</b>						
Los instrumentos utilizados en la presente investigación son coherentes.						
<b>IV. PROMEDIO DE VALIDACIÓN:</b>						
Callao, 26 de Julio del 2021.	155963				994 489 955	
<b>Lugar y fecha</b>	<b>CIP</b>	<b>Firma del experto</b>			<b>Celular</b>	

<b>FICHA DE VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN</b>						
<b>I. DATOS INFORMATIVOS:</b>						
<b>Apellidos y nombres del experto</b>	: MG. SIGÜENZA ABANTO ROBERT WILFREDO					
<b>Título y/o Grado académico</b>	: Doctor ( ) Magister ( X ) Licenciado ( ) Otros ( )					
<b>Institución</b>	: UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO					
<b>Nombre del Instrumento</b>	: Ficha de registro de datos					
<b>Autor del Instrumento</b>	: Bach. Yucra Medina Dayana Elizabeth, Bach. Achata Dueñas Indira Yubel					
<b>Título de la Investigación</b>	:" Diseño con Jet-Grouting para mejorar la estabilidad de la presa de tierra sector Palca, provincia de Lampa-Puno"					
<b>II. ASPECTO DE VALIDACIÓN:</b>						
INDICADORES	CRITERIOS	Deficiente 0-20%	Regular 21-50%	Bueno 51-70%	Muy Bueno 71-80%	Excelente 81-100%
<b>CLARIDAD</b>	Está formulado con lenguaje apropiado.					x
<b>OBJETIVIDAD</b>	Está expresado en conducta observable.					x
<b>ACTUALIDAD</b>	Es adecuado al avance de la ciencia y tecnología.				x	
<b>ORGANIZACIÓN</b>	Existe una organización lógica.				x	
<b>SUFICIENCIA</b>	Comprende los aspectos de calidad y cantidad.				x	
<b>CONSISTENCIA</b>	Está basado en aspectos teóricos y científicos acordes a la tecnología educativa.					x
<b>COHERENCIA</b>	Existe reacción entre las dimensiones e indicadores.				x	
<b>METODOLOGÍA</b>	Responde al propósito del trabajo considerando los objetivos planteados.				x	
<b>PERTINENCIA</b>	El instrumento es adecuado al tipo de investigación.					x
<b>III. OPINIÓN DE APLICACIÓN:</b>						
Los instrumentos de investigación son consistentes en relación al tema planteado.						
<b>IV. PROMEDIO DE VALIDACIÓN:</b>						
Callao, 26 de Julio del 2021.	<b>183332</b>				<b>917 195 547</b>	
<b>Lugar y fecha</b>	<b>CIP</b>	<b>Firma del experto</b>			<b>Celular</b>	