



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

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

Diseño e instalación de geomembrana para impermeabilización de  
depósito de relaves, Sina, Puno, 2021

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Civil

**AUTOR:**

Quispe Apaza, Wilian Luciano (ORCID: 0000-0003-3765-5804)

**ASESOR:**

Mg. Barrantes Mann, Luis Alfonso Juan (ORCID: 0000-0002-2026-0411)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Diseño de obras hidráulicas y saneamiento

LIMA – PERÚ

2021

### **Dedicatoria**

A mi mamá Marcelina A., por ser la madre más atenta y maravillosa del mundo, invencible ante la vida y luchadora por sus hijos, quien en su momento se dejó de lado ella misma para darnos a sus hijos, por darnos lo que pudo y hasta lo que no pudo; De igual forma a todos aquellos que aman la ingeniería y se hacen de esta carrera para servir a los que tienen y a los que menos tienen.

### **Agradecimiento**

A la Universidad César Vallejo por brindarme la oportunidad de continuar con mis metas trazadas en el ámbito profesional; A Liz Moria por brindarme su amor, apoyo incondicional y estar a mí lado en las buenas y no tan buenas, a mis compañeros y colegas Hugo D. cham, Alexander R. gat y todos a quienes en su momento me brindaron apoyo para seguir en esta noble carrera de ingeniería civil.

## Índice De Contenido

Dedicatoria.....	II
Agradecimiento.....	III
Índice de contenidos .....	IV
Índice de tablas.....	V
Índice de figuras.....	VI
Resumen.....	IX
Abstract.....	X
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO.....	3
III. METODOLOGÍA.....	14
3.1. Tipo y diseño de investigación.....	14
3.2. Variables y operacionalización.....	15
3.3. Población, muestra y muestreo.....	15
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	16
3.5. Procedimiento.....	17
3.6. Método de análisis de datos.....	19
3.7. Aspectos éticos.....	20
VI. RESULTADOS.....	21
4.1. Datos generales.....	22
4.2. Diseño de geomembrana con el software “Geosoft PAVCO” .....	26
4.3. Proceso constructivo para instalación de geomembrana.....	43
4.4. Calibración de equipos para termofusión y soldadura.....	48
4.5. Pruebas de control de calidad.....	50
V. DISCUSIÓN.....	52
VI. CONCLUSIONES.....	54
VII. RECOMENDACIONES.....	56
REFERENCIAS.....	57
ANEXOS.....	63

## Índice de tablas

<b>TABLA 1:</b> MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	15
<b>TABLA 2:</b> INSTRUMENTOS.....	16
<b>TABLA 3:</b> PROCEDIMIENTO. ....	17
<b>TABLA 4:</b> COORDENADAS.....	22
<b>TABLA 5:</b> VÍAS DE ACCESO .....	22
<b>TABLA 6:</b> PESO ESPECÍFICO DEL RELAVE .....	27
<b>TABLA 7:</b> FRICCIÓN ENTRE LA GEOMEMBRANA Y EL MATERIAL SUPERIOR .....	28
<b>TABLA 8:</b> FRICCIÓN ENTRE LA GEOMEMBRANA Y EL MATERIAL INFERIOR .....	29
<b>TABLA 9:</b> DISTANCIA DE MOVILIZACIÓN DE LA DEFORMACIÓN DE LA GEOMEMBRANA.....	29
<b>TABLA 10:</b> FACTOR DE SEGURIDAD GLOBAL PARA DISEÑO .....	31
<b>TABLA 11:</b> FACTOR POR PROTUBERANCIA (FM) .....	31
<b>TABLA 12:</b> FACTOR POR DENSIDAD DE RELLENO .....	31
<b>TABLA 13:</b> FACTOR POR EFECTO DE ARCO EN SÓLIDOS .....	32
<b>TABLA 14:</b> FACTOR POR INFLUENCIA A LARGO PLAZO .....	32
<b>TABLA 15:</b> FACTOR POR DEGRADACIÓN QUÍMICA Y BIOLÓGICA.....	32
<b>TABLA 16:</b> DATOS DE PROYECTO .....	35
<b>TABLA 17: PARÁMETROS DE ENTRADA</b> .....	36
<b>TABLA 18: PARÁMETROS CALCULADOS Y RESULTADOS</b> .....	36
<b>TABLA 19:</b> VALORES PARA LONGITUD DE INCLINACIÓN .....	39
<b>TABLA 20:</b> PRUEBAS CON LONGITUD DE DESARROLLO .....	41
<b>TABLA 21:</b> VALORES MÍNIMOS RECOMENDADOS PARA SUPERVIVENCIA DE LA GEOMEMBRANA ASOCIADA AL PROCESO DE LA INSTALACIÓN .....	42
<b>TABLA 22:</b> RESISTENCIA A LA COSTURA.....	50
<b>TABLA 23:</b> RELACIÓN ESTÁNDAR DE DIMENSIÓN PARA TUBERÍAS HDPE.....	98
<b>TABLA 24:</b> TUBERÍAS CORRUGADAS DE DOBLE PARED – PRIMERA CLASE (TIPO A).....	98
<b>TABLA 25:</b> RESISTENCIA A LA COSTURA.....	106
<b>TABLA 26:</b> PRESIÓN APLICADA POR CUÑA .....	116

## Índice de Figuras

<b>FIGURA 1:</b> EXTRACCIÓN DE MINERAL INMERSO EN ROCA .....	6
<b>FIGURA 2:</b> ESPEJO DE AGUA PARA RECIRCULACIÓN .....	7
<b>FIGURA 3:</b> CIERRE DE RELAVERA .....	8
<b>FIGURA 4:</b> DEPOSITO DE RELAVES .....	9
<b>FIGURA 5:</b> GEOMEMBRANA .....	10
<b>FIGURA 6:</b> GEOTEXTIL.....	10
<b>FIGURA 7:</b> QUENAS (SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE AGUAS) .....	11
<b>FIGURA 8:</b> DREN COLECTOR DE AGUAS CON TUBERÍA HDPE CORRUGADO .....	11
<b>FIGURA 9:</b> TUBERÍA HDPE CORRUGADO, LISO .....	12
<b>FIGURA 10:</b> GEOSOFT PAVCO 3.0.....	13
FIGURA 11: PLANO DE UBICACIÓN.....	23
FIGURA 12: PLANO TOPOGRÁFICO - PLANTA.....	24
<b>FIGURA 13:</b> CORTE X – X (CORTES Y ELEVACIONES) .....	24
<b>FIGURA 14:</b> CORTE A – A (CORTES Y ELEVACIONES) .....	25
FIGURA 15: ALTURA DE RELLENO DE RELAVE.....	26
<b>FIGURA 16:</b> DEPOSITO DE RELAVES EN CONTEXTO DE MONTAÑA .....	27
<b>FIGURA 17:</b> PENDIENTE DE TALUD .....	28
FIGURA 18: DISEÑO CON GEOSOFT PAVCO 3.0 (PASO 1).....	33
FIGURA 19: DISEÑO CON GEOSOFT PAVCO 3.0 (PASO 2).....	33
FIGURA 20: DISEÑO CON GEOSOFT PAVCO 3.0 (PASO 3).....	34
FIGURA 21: DISEÑO CON GEOSOFT PAVCO 3.0 (PASO 4- RESULTADO) .....	34
FIGURA 22: DISEÑO CON GEOSOFT PAVCO 3.0 (PASO 5 – DIAGRAMA DE RESULTADO) .	35
<b>FIGURA 23:</b> CHEQUEO POR SUPERVIVENCIA.....	42
<b>FIGURA 24:</b> SECCIÓN TRANSVERSAL DE LA SOLDADURA POR TERMOFUSIÓN CON CUÑA CALIENTE.....	45
<b>FIGURA 25:</b> DIAGRAMA DE SISTEMA POR TERMOFUSIÓN .....	45
<b>FIGURA 26:</b> SECCIÓN TRANSVERSAL DE LA SOLDADURA POR EXTRUSIÓN.....	46
<b>FIGURA 27:</b> PISTOLA DE AIRE CALIENTE <b>FIGURA 28:</b> SEMIAUTOMÁTICO.....	48
<b>FIGURA 29:</b> MAQUINA DE TERMOFUSIÓN (CUÑA) .....	49
<b>FIGURA 30:</b> EXTRUSORA (MODELO SWT-NS620) .....	49
<b>FIGURA 31:</b> LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO .....	75
<b>FIGURA 32:</b> LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO .....	75

<b>FIGURA 33:</b> TOMA DE MUESTRA DE RELAVE EN LA ZONA MINERA DE SINA.....	76
<b>FIGURA 34:</b> MUESTRA DE RELAVE (SE COLOCA CELULAR PARA REFERENCIA DE ESCALA)76	
<b>FIGURA 35:</b> PLANO DE DISTRIBUCIÓN DE PANELES DE GEOMEMBRANA.....	78
<b>FIGURA 36:</b> SEÑALIZACIÓN DE SEGURIDAD.....	79
<b>FIGURA 37:</b> TRAZO EN SUPERFICIE DE TERRENO .....	80
<b>FIGURA 38:</b> PREPARACIÓN DE SUPERFICIE.....	81
<b>FIGURA 39:</b> ZANJA DE ANCLAJE.....	82
<b>FIGURA 40:</b> LIMPIEZA DE TERRENO MANUAL .....	83
<b>FIGURA 41:</b> DESPLIEGUE DE GEOTEXTIL Y GEOMEMBRANA .....	84
<b>FIGURA 42:</b> DESPLIEGUE Y TENDIDO DE GEOMEMBRANA .....	84
<b>FIGURA 43:</b> SUJECIÓN EN CRESTA, TALUD Y BASE. ....	85
<b>FIGURA 44:</b> PREPARACIÓN DE SAQUILLOS MINER PARA SUJECIÓN .....	86
<b>FIGURA 45:</b> PISTOLA DE AIRE CALIENTE (MODELO CLÁSICO).....	86
<b>FIGURA 46:</b> TERMOFUSIÓN CON PISTOLA DE AIRE .....	87
<b>FIGURA 47:</b> TERMOFUSIÓN CON AIRE CALIENTE.....	88
<b>FIGURA 48:</b> CODIFICACIÓN DE SOLDADURA POR TERMOFUSIÓN .....	90
<b>FIGURA 49:</b> SOLDADURA CON CUÑA CALIENTE.....	90
<b>FIGURA 50:</b> EXTRUSORA MODELO TÍPICO .....	91
<b>FIGURA 51:</b> SOLDADURA POR EXTRUSIÓN .....	92
<b>FIGURA 52:</b> LIJADO E INCORPORACIÓN DE CABLE DE COBRE PARA TERMOFUSIÓN POR EXTRUSIÓN .....	92
<b>FIGURA 53:</b> CODIFICACIÓN DE PANELES DE GEOMEMBRANA (EJEMPLO).....	94
<b>FIGURA 54:</b> CODIFICACIÓN A MUESTRAS DE TERMOFUSIÓN POR CUÑA Y EXTRUSIÓN ....	94
<b>FIGURA 55:</b> COMPACTACIÓN DE ZANJAS DE ANCLAJE .....	97
<b>FIGURA 56:</b> ACCESORIOS PARA TUBERÍA HDPE CORRUGADO .....	99
<b>FIGURA 57:</b> ACOPLÉ ABIERTO PARA TUBERÍA HDPE .....	100
<b>FIGURA 58:</b> SISTEMA DE UNIÓN ESPIGA CAMPANA.....	100
<b>FIGURA 59:</b> ENSAMBLE DE TUBERÍA CORRUGADA .....	101
<b>FIGURA 60:</b> QUENAS CON TUBERÍA HDPE (SISTEMA DE DRENAJE DE AGUAS) .....	102
<b>FIGURA 61:</b> POZA DE COLECCIÓN.....	103
<b>FIGURA 62:</b> ENSAYO DESTRUCTIVO .....	104
<b>FIGURA 63:</b> ENSAYO DESTRUCTIVO .....	105
<b>FIGURA 64:</b> ENSAYO DESTRUCTIVO .....	105

<b>FIGURA 65:</b> ENSAYO DE CORTE (SHEAR) .....	107
<b>FIGURA 66:</b> ENSAYO DE DESGARRE (PEEL).....	107
<b>FIGURA 67:</b> PRUEBA DE VACÍO .....	110
<b>FIGURA 68:</b> EQUIPO PARA CHISPA ELÉCTRICA.....	111
<b>FIGURA 69:</b> PRUEBA DE CHISPA ELÉCTRICA .....	111
<b>FIGURA 70:</b> PRUEBA DE AIRE .....	112
<b>FIGURA 71:</b> PRUEBA DE AIRE .....	113
<b>FIGURA 72:</b> PISTOLA DE AIRE CALIENTE .....	114
<b>FIGURA 73:</b> PISTOLA DE AIRE CALIENTE SEMIAUTOMÁTICO .....	114
<b>FIGURA 74:</b> MAQUINA DE TERMOFUSIÓN (CUÑA) .....	115
<b>FIGURA 75:</b> AJUSTE DE LEVA O SADO A PRESIÓN .....	116
<b>FIGURA 76:</b> MARCA IZQUIERDA DEL RODILLO DE PRESIÓN .....	117
<b>FIGURA 77:</b> AJUSTE DE PRESIÓN EN CUÑA .....	118
<b>FIGURA 78:</b> PRUEBA CON TIRAS DE GEOMEMBRANA.....	118
<b>FIGURA 79:</b> CALIBRACIÓN DE EQUIPOS .....	119
<b>FIGURA 80:</b> AJUSTE DE VELOCIDAD DE CUÑA .....	119
<b>FIGURA 81:</b> CALIBRACIÓN DE RODILLOS LOCOS .....	120
<b>FIGURA 82:</b> REGULACIÓN DE RODILLOS LOCOS .....	120
<b>FIGURA 83:</b> EXTRUSORA TÍPICA (MODELO SWT-NS620) .....	121
<b>FIGURA 84:</b> CORDÓN PARA SOLDADURAS HDPE (4MM, 5MM) P/GEOMEMBRANA..	122
<b>FIGURA 85:</b> SOLDADURA CON EXTRUSORA.....	123



## Resumen

La minería informal en la zona minera del distrito de Sina, actualmente está contaminando el medio ambiente con agentes químicos producto de la extracción de roca mineralizada y del proceso metalúrgico artesanal y mecanizado; Por lo que la presente investigación resaltando que los geosintéticos son un material de recurrente utilización en las obras de ingeniería para minería, plantea impermeabilizar los depósitos de relave con geomembrana de tal forma ya no se contaminen los suelos.

La presente investigación tiene como objetivo presentar el diseño de una geomembrana, utilizando como herramienta el software “Geosoft-Pavco 3.0” para la impermeabilización de un depósito de relaves en el distrito de Sina – Puno; Se describe un correcto procedimiento constructivo para la instalación de geomembrana y componentes.

Se obtuvo como resultado para la impermeabilización de este depósito de relaves; Una geomembrana HDPE texturizada de 1.5 mm, de 60 mils, este resultado se contrasta con lo señalado en el “Manual de Designing with Geosynthetic” - 5ta Edición (Robert M. Koerner), para la protección de esta geomembrana se deberá usar un geotextil no tejido NT-1600 con resistencia a la tensión de 400 N. y resistencia al punzonamiento de 1200 N. A través de una estructuralización de partidas se realiza la descripción del proceso constructivo para la instalación de geomembrana y componentes, resaltando la utilización de aire caliente, termofusión con cuña caliente y soldadura por extrusión, detallando las pruebas y ensayos que se realizan en este trabajo.

Se concluye que existe un método correcto de diseño de geomembrana, el uso de una herramienta digital nos permite conseguir ventajas técnicas eficientes, velocidad y productividad. Y con la correcta instalación de la geomembrana, geotextil y componentes se logra una adecuada impermeabilización para depósito de relaves de tal forma que no contamine al medio que lo rodea.

**Palabra clave:** Geomembrana HDPE, diseño, instalación.

## **Abstract**

Informal mining in the mining area of the Sina district is currently polluting the environment with chemical agents resulting from the extraction of mineralized rock and the artisanal and mechanized metallurgical process; Therefore, the present investigation, highlighting that geosynthetics are a material of recurrent use in mining engineering works, proposes waterproofing the tailings deposits with a geomembrane in such a way that the soils are no longer contaminated.

The present research aims to present the design of a geomembrane, using the software "Geosoft-Pavco 3.0" as a tool for waterproofing a tailings deposit in the district of Sina - Puno; A correct construction procedure is described for the installation of geomembrane and components.

It was obtained as a result for the waterproofing of this tailings deposit; A textured HDPE geomembrane of 1.5 mm, of 60 mils, this result was contrasted with that indicated in the "Manual of Designing with Geosynthetic" - 5th Edition (Robert M. Koerner), for the protection of this geomembrane a geotextile should not be used. NT-1600 fabric with tensile strength of 400 N. and resistance to punching of 1200 N. Through a structuralization of items, the description of the construction process for the installation of geomembrane and components is made, highlighting the use of hot air, hot wedge thermofusion and extrusion welding, detailing the tests and trials carried out in this work.

It is concluded that there is a correct method of geomembrane design, the use of a digital tool allows us to achieve efficient technical advantages, speed and productivity. And with the correct installation of the geomembrane, geotextile and components, an adequate waterproofing for the tailings deposit is achieved in such a way that it does not contaminate the environment that surrounds it.

**Keyword:** HDPE Geomembrane, Design, Installation.

## I. INTRODUCCIÓN

Desde la antigüedad la minería informal contamina el medio ambiente con agentes químicos producto del proceso metalúrgico; estas zonas al estar alejadas de la ciudad y con accesibilidad limitada no realizan la infraestructura adecuada para un apropiado almacenamiento de relaves. En ese sentido con el fin de mejorar las soluciones técnicas, durante los últimos años, han aparecido en el mercado nacional los Geosintéticos que son ampliamente utilizados en otros países como soluciones técnicas de ingeniería, en este caso puntual la de protección de su superficie para evitar la filtración de agentes químicos al suelo y sub suelo.

Actualmente los polímeros son un material de recurrente utilización en las obras de construcción, en lo referente a la aplicación de los geosintéticos, para impermeabilización de suelos utilizando la geomembrana, este material será utilizado para la impermeabilización de depósito de relaves producto del proceso metalúrgico.

El principal problema en proyectos de ingeniería respecto a la aplicación de los geosintéticos (Geomembranas y Geotextil) viene a ser la falta de una correcta instalación, realizar los ensayos requeridos que definan su funcionalidad y una metodología de diseño que permiten definir los requerimientos de estos materiales de acuerdo con las condiciones particulares para la que se van a usar.

Por lo antes mencionado se formula el siguiente problema general: ¿Cuál será el diseño e instalación adecuada de geomembrana para depósito de relaves?; así también, los problemas específicos siguientes, ¿Qué ventaja tiene diseñar un sistema de impermeabilización (Geomembrana) con software para depósito de relaves?, ¿Cuál será el proceso constructivo adecuado para la instalación de geomembrana en un depósito de relaves?

La presente investigación propone presentar un método correcto para el diseño e instalación de geomembrana para la impermeabilización de un depósito de relaves, de tal forma esta obra tenga una durabilidad prolongada y pueda contribuir a aminorar la contaminación del medio ambiente producto de los relaves en la zona minera de Sina; de tal manera, de proteger también la contaminación de las aguas subterráneas de la zona en estudio.

Se plantea el siguiente objetivo general: Proponer un método correcto de diseño e instalación adecuada de geomembrana en depósito de relaves, en el distrito de Sina.

Así mismo los objetivos específicos son: Realizar un diseño adecuado de geomembrana con software para impermeabilización de un depósito de relaves, describir un correcto procedimiento constructivo para la instalación de geomembranas, geotextil y componentes.

De todo lo indicado presentamos nuestra hipótesis principal: Existe un método correcto de diseño de geomembrana con software para la impermeabilización eficiente y un proceso constructivo adecuado para un correcto almacenamiento de relaves.

Así mismo las hipótesis específicas: Diseñar mediante software un sistema de impermeabilización con geomembrana permitirá conseguir ventajas técnicas eficientes, velocidad y productividad; Con la correcta instalación de geomembrana, geotextil y componentes se logra una educada impermeabilización en un depósito de relaves de tal forma que no contamine al medio que lo rodea.

## **II. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Antecedentes Internacionales**

La investigación realizada por Valencia (2011) en la revista científica de Ingeniería, cuyo título es “Análisis global de una geomembrana de polietileno de alta densidad con propósitos de impermeabilización en el desarrollo de proyectos de ingeniería en Magallanes” Cuyo objetivo es conocer y dar a conocer las características que tienen los geosintéticos, en especial la geomembrana de HDPE y PEAD. A su vez pretende explicar en qué casos se puede utilizar, aplicar o instalar esta, básicamente priorizando trabajos en el sector de la minería con el propósito de impermeabilizar, bloquear el ingreso de aguas al suelo y sub suelo en trabajos como tinajas de agua, contenedores de residuos, relaveras, o similares, también para la protección de obras de concreto armado o concreto simple; otra de las cosas que analiza son las diferencias que existen entre las geomembranas pero de acuerdo al material con el que están fabricados, siempre bajo el contexto de que esta geomembrana se va a utilizar en el ámbito de la construcción. (p. 8).

Por su propiedades químicas, físicas su ligereza y otros factores positivos se concluye que la geomembrana de HDPE es la opción más eficiente en trabajos de impermeabilización o similares que son básicamente la contención de aguas; Es por eso que en Magallanes los proyectos con este material son muy eficientes, cabe mencionar que en los últimos años este material se a normado para la protección del medio ambiente y cuidar los recursos naturales. (Valencia, 2011, p. 92)

MACAFFERRI (2016) en su proyecto “Impermeabilización en relleno sanitario, El Salvador, La Libertad, La Libertad”, antes de impermeabilizar el relleno sanitario realizaron trabajos varios tales como concreto lanzado, esto con la finalidad de estabilizar y nivelar la superficie del terreno ya que esta presentaba fuertes irregularidades y en su mayoría era material pétreo. Posterior a esto se impermeabilizo con geomembrana de HDPE de alta densidad de 1.5mm. y para protección de esta se utilizó un geotextil no tejido, este geotextil también ayudo a uniformizar el terreno (p. 2).

Mexichem - PAVCO (2015) en su proyecto “sistema de impermeabilización para lago artificial, Merida, Yucatan, Mexico”, tiene proyectada la construcción de dos lagos artificiales dentro del proyecto denominado Cabo norte, procurando que el agua almacenada permanezca sin filtrarse. Se determinó cubrir el terreno natural con una geomembrana HDPE 40 mils. (1 mm), instalada sobre un geotextil que sirve de protección contra posibles punzonamientos, la función de la geomembrana es impermeabilizar todo el terreno y evitar la pérdida de agua del estanque. El lago hoy es la principal atracción del centro comercial, cuanta con peces y fauna de la zona (p. 4)

## **2.2. Antecedentes Nacionales**

El estudio realizado por Alvarez Ruiz (2020, p. 13) en su proyecto de investigación “Diseño y aplicación de geosintéticos en la construcción de la planta de residuos sólidos de la localidad de Jesús 2020” tomado en consideración el manual de diseño de geosintéticos, especifica claramente que el diseño de geomembrana se realiza por espesor y el diseño de geotextil por función, A raíz de eso esta investigación realiza un diseño para la impermeabilización de una planta de tratamiento de aguas residuales, de tal forma este diseño cumpla lo esperado que es básicamente una buena impermeabilización que sea duradera, de fácil construcción en un plazo corto y sobre todo cuidar el medio ambiente por el cual es rodeado; Este estudio a través de ensayos y pruebas también describe cual es el comportamiento de los geosintéticos poniendo énfasis en el geotextil y geomembranas, es por eso que tales ensayos se realizaron resaltado las propiedades físicas y especificación de cada una de las Muestras el (p. 13).

La investigación concluye que esta metodología es la adecuada para diseñar geotextiles por función y geomembranas por espesor, a su vez resalta que con un buen diseño se logra una buena y correcta instalación de geomembrana, geotextil y componentes para plantas de tratamiento de residuos sólidos; La tecnología ha logrado extender significativamente soluciones cuanto a conceptos y diseño (Alvarez, 2020, p. 143).

En la investigación presentada por los hermanos Llanos Chuquiruna (2019) en su proyecto “Resistencia al corte y desgarro en geomembrana HDPE”. Que tanto influye la velocidad y temperatura para poder soldar y/o termofusionar la geomembrana HDPE?, es lo que explica la presente investigación, para lo cual realiza un estudio experimental para ver y analizar el comportamiento de la soldadura por termofusión y extrusión, para esto realizar 5 ensayos de extrusión y 5 ensayos de termofusión con cuña caliente tomando medidas tales como 2,30m x 0,30m y 2,30m x 0,20m; Finalmente esto se somete a una velocidad de 2 pulg/min para corte y desgarro a través de un tensiómetro DEMTECH Pro-Tester; Las 200 probetas obtenidas son de medida 0,025m x 0,20m. (p. 9).

Es así que se pudo determinar la temperatura adecuada para este trabajo, 260°C para soldadura de geomembrana HDPE 2.00mm para soldadura por extrusión, alcanzando una resistencia al corte de 165 lb/pulg como mínimo y una 159 lb/pulg de resistencia máxima al desgarro; De igual forma para termofusión por cuña caliente se obtuvo 8m/min de velocidad óptima para geomembrana HDPE de 2,00 mm será de 8 m/min, alcanzando 172 lb/pulg de resistencia mínima al corte y 127 lb/pulg de resistencia máxima al desgarro. (Llanos, Llanos, 2019, p. 109).

En el estudio realizado por villasante huahuacondori (2014, p. 4) en su publicación “Evaluar las propiedades mecánicas y el deterioro de la microestructura de las uniones soldadas por termofusión (cuña caliente) a diferente temperatura y velocidad de avance en Láminas de Geomembrana HDPE de 2.0 mm” Determina que la capacidad de resistencia mecánica de la termofusión de láminas depende totalmente de la temperatura, velocidad, y la presión que ejerce los rodillos de cuña caliente (en ensayo de pelado y ensayo de corte de geomembrana HDPE); A través de los ensayos se concluye que la termofusión a 450°C con una velocidad de 2.0 m/s posee mayor resistencia mecánica siendo para el ensayo de pelado =754.6 N/25mm y 1221.08 N/25mm. en ensayo de corte, A través del microscopio tase observa 0% de peladura en la unión y/o termofusión de láminas soldadas.

### 2.3. Base teórica

Proceso del relave minero; Producir oro siempre será un proceso complejo que básicamente data de procesar y/o tritura roca con contenido de mineral, roca que en su mayoría se extrae de la mina, esta roca por lo general contiene un bajo contenido de mineral, concentración es el nombre del método usado para procesar oro, consiste básicamente en moler la roca y separar el oro de esta, también se usa agua, aire y sustancias químicas, todo este proceso se realiza con equipo como molinos, concentradores, mangueras de HDPE liso, bombas, motores y otros, a la roca triturada que pasa por todo esto equipos de le llama relave minero. Los relaves son depositados, almacenados y/o colocados dentro de unos sitios escogidos especialmente para que tengan mayor contacto con la naturaleza de tal forma mantenga la estabilidad física y química en el tiempo, para el almacenaje de estos relaves se realizan complejas obras de ingeniería que deben de cumplir o someterse al reglamento de manejo de relaves en todas sus fases, tales como requerimientos sociales, geográficos, económicos y de seguridad también debe regirse a procesos de evaluación ambiental y sectorial, construida la relavera y teniendo las autorizaciones necesarias su operación es permanente mente fiscalizada y monitoreada por las distintas autoridades como osinergmin, dirección regional de energía y minas; reglamentos, leyes, normas, decretos supremos nacionales y otros (consejo minero, 2017).



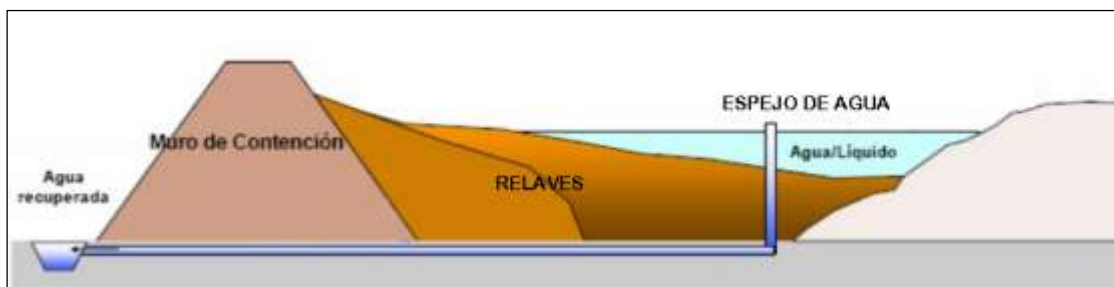
**Figura 1:** Extracción de mineral inmerso en roca

Fuente: Internet

“El tipo de depósito más utilizado son los tranques (diques), su construcción implica levantar primero un muro de contención que funciona como barrera



inicial, se va depositando y compactando relave sobre este muro, por lo que se irá creciendo (Ensanchando y tomando altura) conforme aumente también la cantidad de relave, a este método se le conoce como aguas abajo, hace que las tranqueras sean estructuras más grandes similares a una represa de agua, también seguras y estables, dentro del vaso formado se va depositando el material más fino el cual forma una playa de arenas (relaves) y al otro extremo una laguna de aguas claras las cuales son usualmente enviadas de vuelta al proceso productivo en planta para optimizar la eficiencia del uso del agua” (consejo minero, 2017)

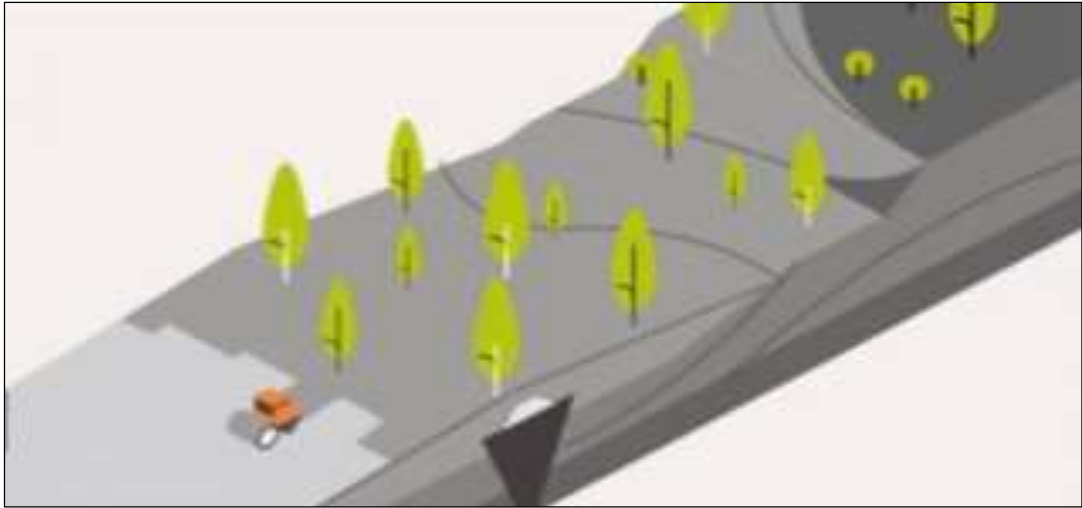


**Figura 2:** espejo de agua para recirculación

Fuente: Internet

Las relaveras están diseñados para que el agua que contiene los relaves no se mezcle con las aguas naturales: Por lo que la superficie de los depósitos están impermeabilizadas, de tal forma posibles infiltraciones se controlan por medio de sistemas que capturan el agua de los relaves para esto se forma un circuito cerrado de reutilización de agua, además la calidad de las aguas subterráneas y superficiales son constantemente controlados y monitoreados (consejo minero, 2017).

Terminada la vida útil de la relavera se debe cerrar de forma tal que se asegure que esta no contamine el medio ambiente que lo rodea, de acuerdo a los planes de cierre realizados y validados por las autoridades, para esto existen estándares utilizados en la pequeña, mediana y gran minería, estos estándares garantizan además que la empresa sea responsable del relave que produce y realice un adecuado cierre, las autoridades pertinentes se encargan del monitoreo evitando que estos relaves sean abandonados (consejo minero, 2017).



**Figura 3:** Cierre de relavera

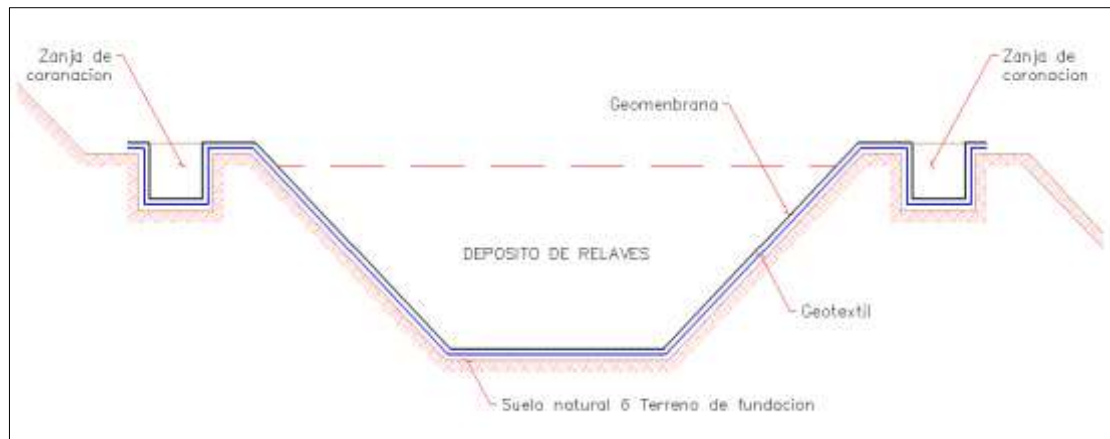
**Fuente:** página web consejo minero.

Los relaves están claramente determinados como restos sólidos de minerales que comprenden su tamaño y forma entre arenas arenas y limos, originados del proceso de producción en planta, transportados y acumulados en forma de bancos de arena o lodo. (Banco Mundial y Programa de Asistencia Técnica al Ministerio de Energía y Minas del Perú, s.f.)

Los relaves son mezclas de roca triturada y fluidos producto del procesamiento en molinos, lavanderías u otros, que quedan después de la extracción de metales contenidas en rocas denominadas minerales, tales como carbón, plata. Cobre, oro y otros (D. Kossoff, W.E. Dubbbin, M. Alfredsson, S.J. Edwards, M.G. Macklin, K.A. Hudson, 2014).

Los depósitos de relaves son complejas obras de ingeniería, que estan diseñadas para contener relaves y recircular el agua para ser tratadas (Servicio Nacional de Geología y Minería, s.f.).

Las relaveras son obras de ingeniería que separan el relave del medio ambiente, estas construcciones se someten a las normas legales nacionales e internaciones para protección de la naturaleza, medio ambiente y el bienestar de la población en general (Servicio de Geología y Minería, s.f.).



**Figura 4:** Depósito de relaves

Fuente: Elaboración propia

Las Geomembranas actualmente de uso común en los trabajos de ingeniería se definen como una lámina o barrera de muy baja permeabilidad usada para impermeabilizar lugares donde se quiere almacenar agua u otro tipo de líquido o material, también se usa en canales para la circulación de aguas, resumiendo, se usa para que el agua no filtre al suelo. Las Geomembrana es fabricada a partir de hojas relativamente delgadas como el HDPE y el PVC pero en medidas estándares con anchos de 5.00, 6.00, 7.00, 7.50 m, estas láminas de HDPE se pueden unir entre sí por medio de sin alterar las propiedades del material, Esta geomembrana tiene alta durabilidad si se usa adecuadamente y se realiza un diseño, tiene resistencia a líquidos peligrosos, a factores climáticos adversos, también a la radiación ultravioleta (Geosistemas Pavco Wavin, 2020).

La geomembrana posee dos formatos lisos y texturizados, ambos tienen un ángulo de fricción diferente, la texturizada tiene mayor ángulo de fricción en contacto con los otros materiales adyacentes de construcción; los principales usos y aplicaciones son la de impermeabilización de suelos y estructuras de concreto armado, simple y otros, donde se requiera almacenar agua, desechos y otros, también para captar o canalizar fluidos tales como el agua. Por lo tanto la geomembrana puede ser utilizada en: lagunas de evaporación y rellenos sanitarios, celdas de aislamiento para su posterior disposición, para residuos sólidos, para almacenaje de líquidos, canales de irrigación, lagunas de oxidación, también para ollas de agua para irrigación y distribución doméstica, tinas de hidrocarburos, lagos artificiales y estanques. (Maccaferri, 2021).



**Figura 5: Geomembrana**

**Fuente:** Maccaferri.

Los geotextiles se definen como “un material textil plano” permeable polímero (Sintético o natural) que puede ser NO tejido, tejido o tricotado y que se utiliza en contacto con el suelo (tierra, piedras, etc.) u otros materiales en ingeniería Civil para aplicaciones geotécnicas (Geosistemas Pavco Wavin, 2021).

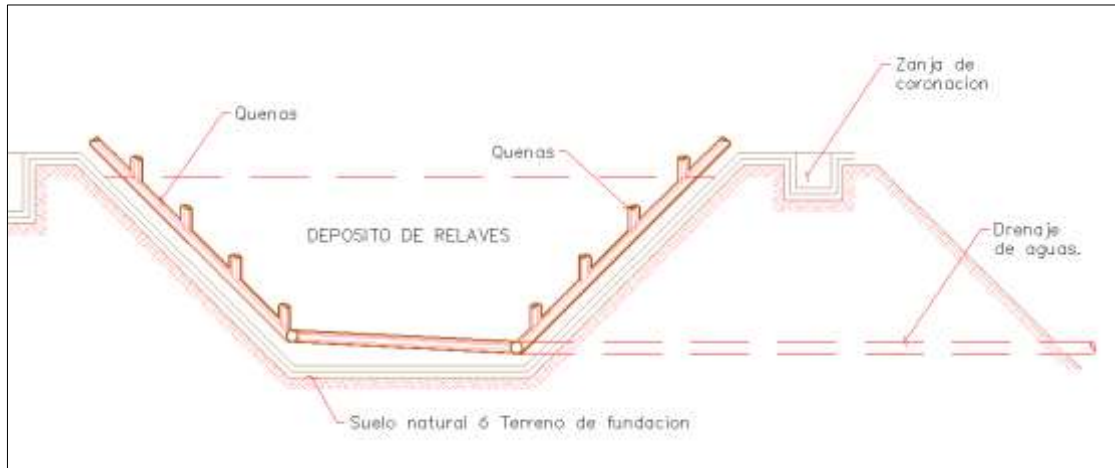
El geotextil no tejido es un material producido con hilos de polipropileno o poliéster interligados y distribuidos aleatoriamente, estas también pueden ser consolidadas por termocalendraje. Los geotextiles tejidos vienen de un proceso un poco más complicado a partir del entrelazado en ángulo recto de láminas de polipropileno, contienen excelentes características técnicas y una buena resistencia a la degradación química y biológica; Entre sus principales aplicaciones esta la filtración y/o retención de suelos finos permitiendo el paso de fluido como el agua, drenaje y/o conducción de fluidos por el cuerpo de los geotextiles, separación y/o acción de impedir la mezcla de dos suelos, refuerzo, protección, y prevención de daños a materiales en obras geotécnicas como la geomembranas. (Maccaferri, 2021).



**Figura 6: Geotextil**

**Fuente:** Maccaferri.

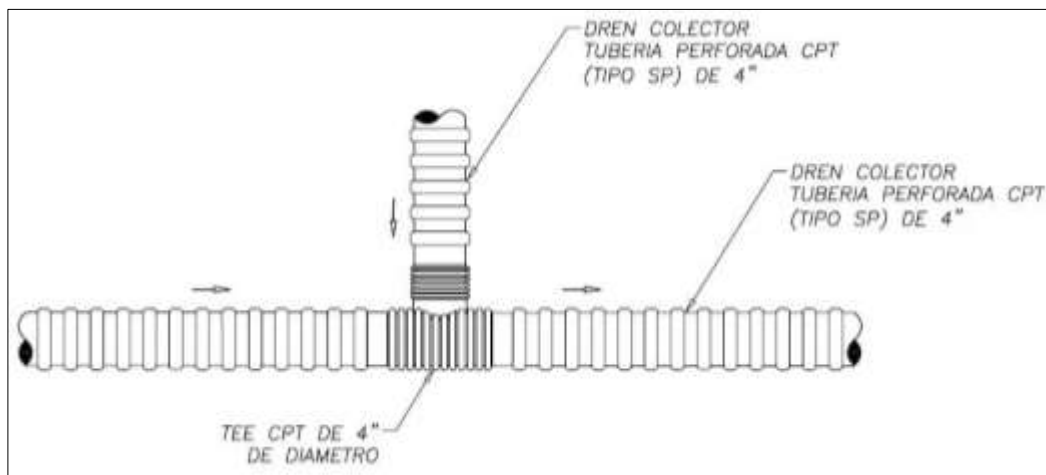
Los drenajes de aguas ácidas son realizadas por un circuito de tuberías conocidas como quenás, a las aguas que presentan un pH bajo se le conoce como aguas ácidas, estas tienen una composición de sulfatos, siendo un producto de la hidrólisis y oxidación de los minerales. (Guía para el diseño de coberturas de depósitos de residuos mineros, 2007).



**Figura 7:** Quenas (sistema de recuperación de aguas)

**Fuente:** elaboración propia

Las quenás son un sistema de recuperación de aguas; Se realiza la instalación de un circuito de drenaje compuesto por tuberías flexibles CPT (Tipo SP) de 4" de diámetro, estos se instalan a cada 20 m aproximadamente en los taludes del dique (priorizando la zona de espejo de agua) está conectada a una tubería de descarga CPT (Tipo SP) de 6" de diámetro en el fondo del depósito en el pie del talud del dique de contención (JMF Ingeniería y construcción, 2020).



**Figura 8:** Dren colector de aguas con tubería HDPE corrugado

**Fuente:** elaboración propia

Las tuberías de HDPE están fabricados de resina de polietileno de alta densidad, cuyo objetivo es que tengan alta resistencia mecánica y alta capacidad hidráulica para el manejo de aguas y todo tipo de fluidos, están catalogadas de forma lisa y corrugada (Geomicol, 2020).

Las tuberías HDPE están básicamente diseñadas para conducir fluidos a una presión elevada, por sus características ofrecen una alternativa de solución a problemas tradicionales, minimizan costos de instalación así como también de mantenimiento. En trabajos de minería las tuberías HDPE han reemplazado a las tuberías de acero recubiertas con goma y a otras tuberías como la de acero inoxidable. (Cidelsa, 2020).



**Figura 9:** Tubería HDPE corrugado, liso

**Fuente:** Cormaplast, 2020 (página web oficial en internet).

Las tuberías HDPE corrugado por fuera y liso por dentro, hoy en día de uso común en redes de alcantarillado, también en colectores de aguas lluvia, normalmente para conducción y drenaje de aguas fluviales, estas en conjunto con otros materiales de tipo geosintéticos se usan para recuperación de suelos pantanosos, entubamiento de canales de riego, también de uso en carreteras para drenaje, drenajes en pozas de lixiviación y descarga de aguas ácidas en la minería. (Arístegui Maquinaria, 2020).

Las tuberías HDPE lisas de pared solida se utilizan principalmente en la conducción de residuos industriales, en plantas mineras, transporte de gas y petróleo, riego tecnificado y conducción de agua en general (Cormaplast, 2020).

Geosoft PAVCO 3.0; Es una herramienta digital creado para la ingeniería civil, creado para diseñar ingeniería con geosintéticos tales como la geomembrana, este paquete incluye módulos de diseño y nos brinda repostes eficientes como toda herramienta digital de tipo software, brinda velocidad, productividad y diseños reales con estándares de seguridad. El 3.0 tiene una interfaz “Geosoft” en el que cualquier ingeniero o técnico podrá diseñar y calcular diferentes diseños a partir de parámetros de diseño. (Pavco, Mexichem, 2020).

El caso de diseño de geomembranas este software nos brinda como resultado el espesor de la geomembrana requerida y el tipo de geotextil para protección de esta. (Pavco, Mexichem, 2020).



**Figura 10:** Geosoft PAVCO 3.0

Fuente: Manual de diseño y software Pavco Michelin.

### **III. METODOLOGÍA**

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

##### **3.1.1. Tipo de investigación**

Por su propósito es una investigación aplicada, ya que el resultado que se va a obtener podrá ser aplicado en la instalación para depósito de relaves.

La investigación de tipo aplicada tiene como base teórica el conocimiento adquirido y como base practica los resultados obtenidos producto de la investigación, sin embargo también tiene cierta dependencia a la investigación pura. Esta metodología de investigación compara los resultados obtenidos (en este caso en particular el resultado obtenido por el software) y el fin es aplicar este resultado para el cual fue objeto de estudio (Behar, 2008).

##### **3.1.2. Diseño de investigación**

La investigación emplea un diseño no – experimental, transversal descriptivo simple ya que el fin de la investigación es aterrizar en el diseño de la geomembrana para impermeabilización de depósito de relaves y describir el proceso constructivo.

En el diseño de investigación no – experimental, se torna en el análisis de los fenómenos o acontecimientos en base a su contexto natural, no se debe de manipular las variables ya que se obtuvieron los resultados o efectos, la manipulación de variables independientes nos lleva a otro resultado (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014).

Utilizando el esquema siguiente:

A ----- D

Dónde:

A: Área del terreno

D: Recolección de Datos del Área del Proyecto.



### 3.2. Variables y operacionalización

#### 3.2.1. Variables

El presente proyecto de investigación cuenta con dos variables, las cuales son diseño de geomembrana para impermeabilización de depósito para relaves y descripción de instalación de geomembrana en depósito de relaves.

#### 3.2.2. Operacionalización

**Tabla 1:** Matriz de operacionalización de variables.

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensión	Indicadores	Escala de medición
Diseño de geomembrana para impermeabilización de depósito para relaves.	El diseño por función consiste en evaluar la principal aplicación para la cual se utiliza la geomembrana y calcular el valor requerido para esa propiedad en particular (Pavco, 2020).	El diseño de geomembrana se realiza mediante el Geosoft PAVCO 3.0, de tal forma esta tenga una durabilidad prolongada.	Espesor de geomembrana	<ul style="list-style-type: none"><li>- Plano topográfico.</li><li>- Pendiente de talud.</li><li>- Angulo de fricción.</li><li>- Peso específico de material.</li></ul>	Razón
Instalación de geomembrana en depósito para relaves.	Bajo una adecuada instalación, sus propiedades no sufren modificaciones durante el proceso constructivo, por lo que se convierte en una solución más durable para cualquier tipo de proyecto (Pavco, 2020).	Se describirá el proceso constructivo para la instalación de geomembrana, geotextil y componentes, de tal forma se logre una correcta impermeabilización para garantizar su funcionamiento.	Proceso constructivo para instalación de geomembrana	<ul style="list-style-type: none"><li>- Montaje.</li><li>- Termofusión por cuña.</li><li>- Termofusión por extrusión.</li><li>- Anclaje.</li><li>- Ensayos.</li></ul>	Razón

Fuente: Elaboración propia

### 3.3. Población (criterios de selección), muestra, muestreo, unidad de análisis

#### 3.3.1. Población

En la presente investigación, Se toma como población al conjunto total de depósitos artesanales existentes en la zona, las cuales no tienen ningún tipo de impermeabilización, por lo tanto el valor de la población  $N = 1$ .

La población es un cúmulo total de todos los elementos de estudio, y de los cuales buscamos encontrar soluciones frente a una problemática. Se tiene que definir la población de modo que sea conciso si cada elemento pertenece a la población o no (Levin y Rubin, 2004, p.10).

### 3.3.2. Muestra

En la investigación se considera muestra de tipo No Probabilística, ya que se asume de acuerdo a nuestra conveniencia. En este caso la muestra es una poza para depósito de relaves existente el cual no cuenta con ningún tipo de impermeabilización, Ubicado a 3,514.30 m<sup>2</sup>, en la localidad de Sina del departamento de Puno. N=1.

Es un subconjunto de la población, son pocas las veces que se puede medir a la totalidad de la población, es por ello que se extrae una muestra y lo que se busca es que está sea representativa a la población (Hernández, 2014, p. 175).

El investigador seleccionara según su criterio propio, sin necesidad de estadística o regla matemática una porción de la población, a esto se le denomina muestra. (Carrasco, 2015, p.243).

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

#### 3.4.1. Técnica

Las técnicas a emplearse será la observación directa de datos en campo, los cuales serán evaluados, teniendo en cuenta la información que se ha obtenido de los trabajos de campo.

Hoy en día, para el estudio científico hay diversos de instrumentos o técnicas para la recabar información indispensable para el desarrollo del tema a investigar. Esto va a depender de acuerdo al tipo y método de investigación (Bernal, 2010, p.192).

#### 3.4.2. Instrumento

**Tabla 2:** Instrumentos

Instrumentos documentales
Instrumentos mecanicos
Instrumentos electronicos

Fuente: Elaboración propia

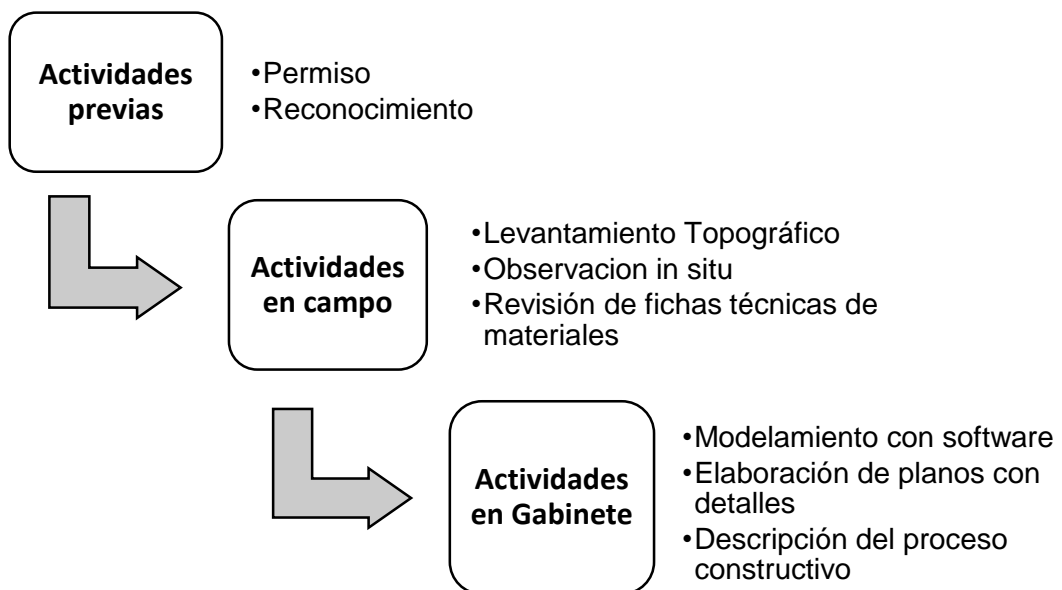
Los instrumentos de medición adecuados, son aquellos que registran datos precisos y observables que representan concretamente las variables de la investigación (Hernández, 2014, p.199).

El estudio utilizará:

- Instrumentos documentales:  
Se utilizará la observación para recolectar datos fundamentales del proyecto, catálogos y fichas técnicas de materiales y herramientas de trabajo, estudios previos tales como geológicos.
- Instrumentos mecánicos:  
Se utilizará equipos de georreferenciación que nos permitan encontrar la ubicación y obtener datos topográficos de la superficie del proyecto. Tales como estación total, GPS, prisma, otros.
- Instrumentos electrónicos:  
Se emplearan dispositivos y equipos de computación como Laptop que cuenten con softwares que se harán mención para el procesamiento de la información, memorias USB, discos duros externo para almacenar los datos de la investigación.

### 3.5. Procedimientos

**Tabla 3:** Procedimiento.



Fuente: Elaboración Propia

## **A. Actividades previas**

### ➤ Permiso

Se solicita permiso al propietario del lugar mediante una carta de presentación para que me autorice poder realizar el presente proyecto en el lugar señalado.

### ➤ Reconocimiento

Se reconoce y analiza el lugar, espacio y ubicación del presente proyecto, la cual se encuentra ubicado en las coordenadas E 486544 – N 8402941 del distrito de Sina.

## **B. Actividades en campo**

### ➤ Levantamiento Topográfico

Se realiza el levantamiento topográfico de lugar de estudio con estación total, en el que se obtienen las curvas de nivel, Angulo de talud, profundidad, área de vaso inferior, área de base superior, otros.

### ➤ Observación in situ.

Se realiza la observación de la superficie del terreno in situ; Se toma nota para contrastar con información técnica de materiales el cual está inmersa en material bibliográfico de suelos.

### ➤ Revisión de fichas técnicas de materiales y herramientas

Se reconoce, selecciona, observa y analiza los materiales y herramientas que se van a utilizar en el proceso constructivo de instalación de geomembrana, geotextil y componentes, los cuales están inmersos en catálogos, revistas y fichas técnicas.

## **C. Actividades en Gabinete**

### ➤ Modelamiento con software

Insertado los datos obtenidos mediante el levantamiento topográfico y revisión de fichas técnicas se puede determinar el espesor de geomembrana y tipo de geotextil a utilizar. Este modelamiento se realiza con el software Geosoft PAVCO 3.0.

- Elaboración de planos con detalles  
Teniendo el AutoCAD 2016 como herramienta; Sobre el plano topográfico se realizan los planos a detalle de paneles de geomembrana a instalar sobre el geotextil, sistema de drenaje para evacuación de aguas acidas y otros al detalle.
- Descripción del proceso constructivo  
Elaborado los planos; Se realiza la descripción del proceso constructivo de las partidas que componen la instalación de geomembrana en relavera, A su vez se describe las diferentes pruebas y ensayos que se deben de realizar para garantizar su buena instalación y funcionamiento.

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

Los datos que se obtengan se procesaran dependiendo del tipo de instrumento aplicado, utilizando medios electrónicos, clasificados y sistematizados de acuerdo a las unidades de análisis correspondiente.

- Para la recolección de información del área en estudio procederemos a realizar la georreferenciación usando un GPS de mano y el software Earth Google para representar dicha georreferenciación que se empleara en el terreno del proyecto.
- Los resultados del levantamiento topográfico con estación total son procesados y exportados al Ms Excel, para su posterior exportación y procesamiento a AutoCAD 2016.
- Los resultados de peso específico de material de suelos y Angulo de fricción de geosintéticos son obtenidos por revisión bibliográfica, observación in-situ y el manual de diseño con geosintéticos.
- Se realizó el diseño de geomembrana a través del modelamiento con el software "Geosoft PAVCO 3.0", para determinar el espesor de geomembrana y tipo de geotextil a usar. Los datos y/o parámetros de diseño ingresados al software fueron extraídos del manual de diseño con geosintéticos (Designing With Geosynthetics 5ta. Edición. Robert Koerner) y del levantamiento topográfico realizado in situ.

- Se realizó la elaboración de planos del diseño de geomembrana y circuito de desagüe de aguas acidas para el depósito de relaves utilizando el software AutoCAD2016.
- Se realizó la descripción del proceso constructivo tomando en cuenta la normativa vigente proporcionada por el Ministerio de Energía y Minas en el que recomienda la utilización de geomembrana para relaves y otros residuos peligrosos; A su vez se inserta fotografías reales que representan cada partida a ejecutar.

### **3.7. Aspectos éticos**

La presente investigación es un trabajo de autoría propia, inédito, motivado por mis deseos de profundizar mis conocimientos en el tema tratado; Por el cual, declaro que no es copia de otro trabajo similar y me someto en cualquier momento a la verificación por medio del software antiplagio TURNITIN para la verificación de la similitud; Así mismo declaro conocer y cumplir con lo emanado en la RCUN 0262–2020/UCV del 28 de agosto del 2020 en la que se aprueba el Código de Ética en Investigación de la UCV.

#### **IV. RESULTADOS**

La presente investigación realiza el diseño de los geosintéticos, específicamente la geomembrana como alternativa en la construcción especializada para la impermeabilización de relaveras, este estudio está basado en los estudios básicos, técnicos y teóricos para el diseño y aplicación de los geosintéticos. De esta forma se quiere lograr la infraestructura adecuada y contribuir a mejorar la calidad de vida de la población y conservar el medio ambiente que lo rodea. Realizada la visita a campo, tomar nota de las características propias de esta y analizar información y consultar la normativa respecto al tema, se desarrolla los estudios básicos para llegar a la propuesta y finalizar con la descripción del proceso constructivo.

Estos resultados se dividen en 4 Ítems:

- Datos generales del área de estudio; Los cuales se obtuvieron mediante levantamiento topográfico In-situ (Anexo 04), revisión bibliográfica, fotos satelitales, Google Maps, otros.
- Diseño de geomembrana con el software “Geosoft PAVCO v. 3.0”, para esto se extrae y se describe los parámetros de diseño según requiere el software. Los resultados se contrastan con las formulas establecidas en el “Manual de Designing With Geosynthetic” 5ta Edición; La autorización de software se incluye en el anexo 03.
- Proceso constructivo para su instalación; El objetivo principal de esta etapa es plasmar, describir y desarrollar el proceso constructivo para instalación de geomembrana de polietileno HDPE, geotextil y componentes para la impermeabilización de poza para relaves. Se realiza una guía de instalación y proceso constructivo en el anexo 05.
- De igual forma se describe dos pilares fundamentales para el éxito de la instalación de geomembranas; tales como la calibración de equipos para este trabajo (anexo 07) y las respectivas pruebas de control de calidad que se realizan antes, durante y al finalizar el trabajo, detallando las pruebas destructivas y no destructivas (anexo 06).

#### 4.1. DATOS GENERALES

##### 4.1.1. Ubicación del lugar de estudio

El Lugar de estudio se encuentra a 3502 msnm en la c.c. de Betaspata, en el distrito de Sina, provincia de San Antonio de Putina del departamento de Puno.

En las coordenadas UTM Datum WGS84, Zona 19:

**Tabla 4:** *Coordenadas*

	COORDENADAS	
	ESTE (X)	NORTE (Y)
1	486544	8402941

Fuente: marcación con GPS in situ

El lugar de estudio es una zona minera, el cual se ubica en el tridente de Yanahuaya – Sina – Bolivia, de difícil acceso por la topografía del lugar ya que esta es cordillera. La trocha carrozable actual vulnera todas las normas de diseño de vías, por lo que no está considerada en el sistema vial del departamento de Puno.

##### 4.1.2. Vías de acceso

Teniendo solo una vía de acceso a la zona del proyecto, esta es a través de una vía afirmada y trocha carrozable, partiendo de la ciudad de Juliaca, este se detalla en la tabla N° 5.

**Tabla 5:** *Vías de acceso*

CUADRO DE VIAS DE ACCESO A LA ZONA DEL PROYECTO						
DE	-	A	TIPO DE VIA DE ACCESO	MODO DE TRANSPORTE	DISTANCIA (KM)	TIEMPO
Juliaca	-	Perlas	Asfalto	Transporte Publico	148	2 Horas + 10 Min
Perlas	-	Sina	Trocha carrozable	Transporte Publico	41	1 Hora + 50 Min
Sina	-	Saqui totora	Trocha carrozable	Transporte Privado	33	1 Hora + 35 Min
Saqui Totora	-	Betaspata	Trocha carrozable	Transporte Privado	9	1 Hora + 25 Min

Fuente: Elaboración propia por Google Maps



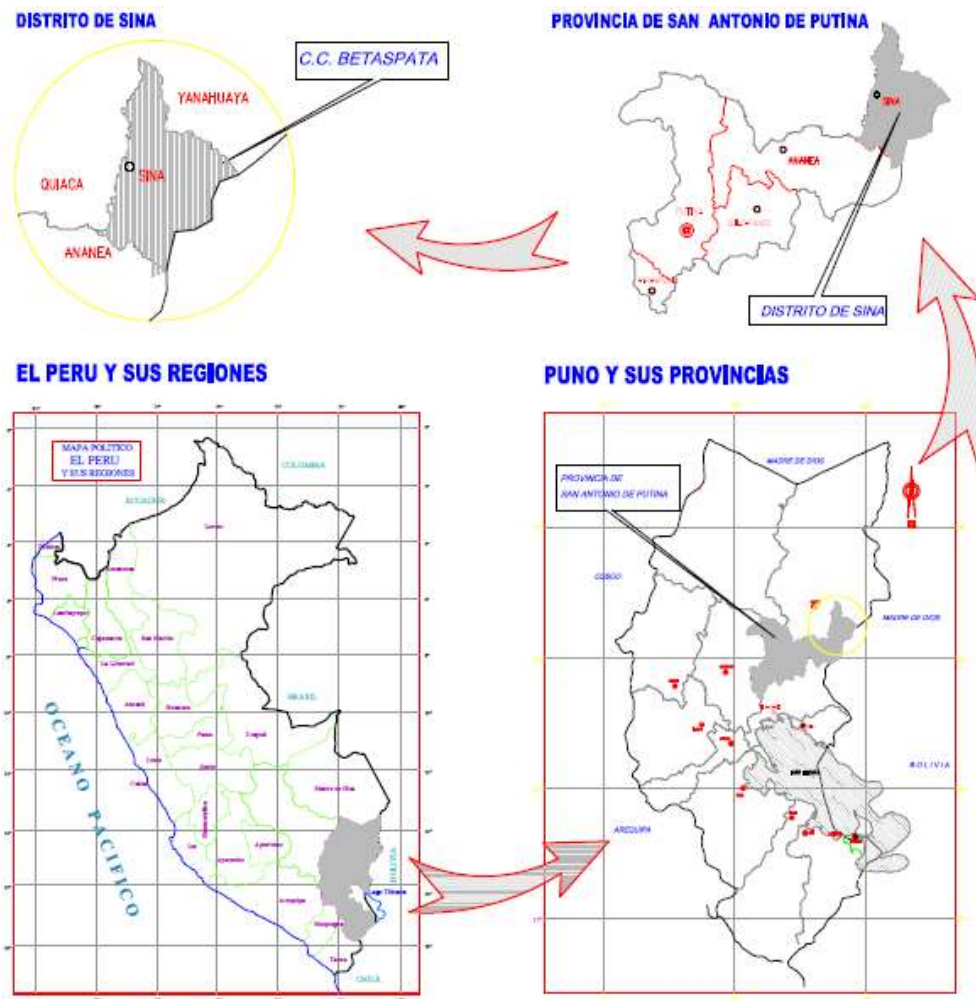


Figura 11: Plano de Ubicación

Fuente: Mapa de ubicación Departamental, Provincial y Distrital del Proyecto.

#### 4.1.3. Topografía y morfología

El desarrollo geomorfológico se caracteriza por la predominancia de un relieve montañoso con ligera de moderada disección producto del desplazamiento de cursos de agua sobre la superficie.

De acuerdo al reconocimiento de campo, en el área de influencia del proyecto se han diferenciado las siguientes unidades geomorfológicas:

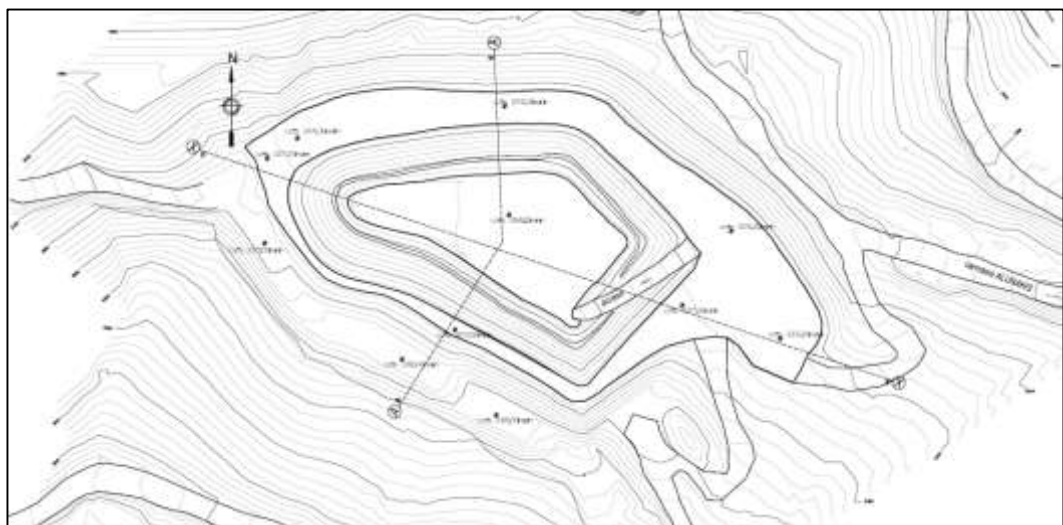
- **Vertiente Montañosa Ligeramente Disectada**

Presenta un relieve generalmente ondulado ha quebrado, ligeramente disectado, con presencia de quebradas dispersas y con pendiente dominante que varía de moderadamente empinada a empinada (15 % – 50 %). Los procesos erosivos frecuentes se manifiestan en forma laminar y difusa con incipiente formación de surcos en forma dispersa y poco evidentes

producto de la erosión por concentración del escurrimiento de cursos de agua.

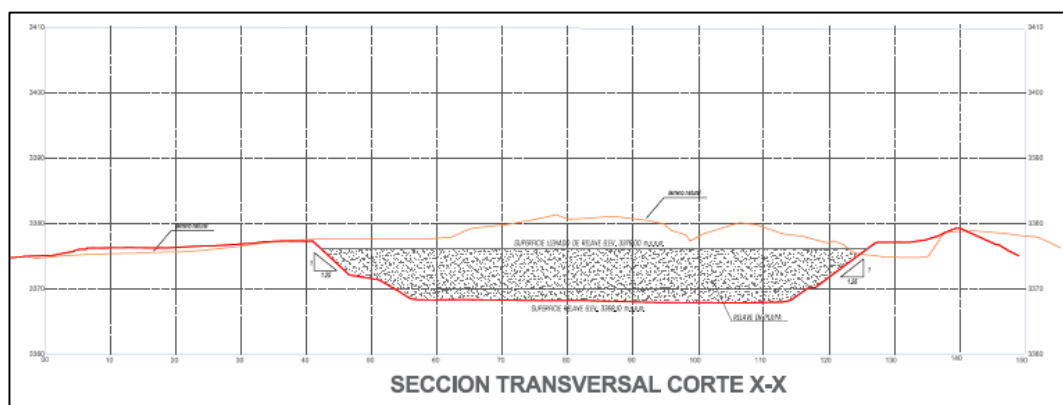
- **Vertiente Montañosa Moderadamente Disectada**

Esta unidad se muestra en las faldas del depósito de relaves al Noreste y Sureste, y se caracteriza por presentar relieves quebrados con ciertas ondulaciones incluyendo en ocasiones afloramiento de piedras, con mediana densidad de disección. La pendiente dominante es muy empinada a extremadamente empinada (50 % a >75 %) Los procesos erosivos frecuentes se manifiestan en forma de surcos y cárcavas.



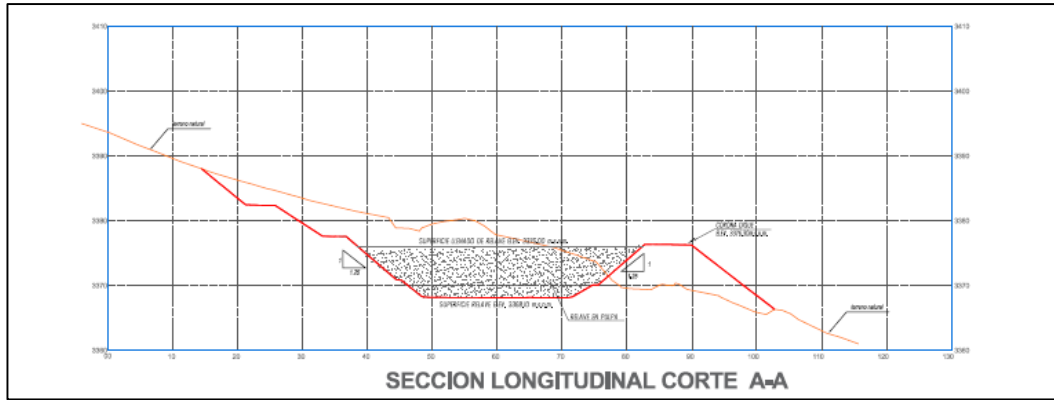
*Figura 12: Plano topográfico - Planta*

Fuente: Levantamiento topográfico



*Figura 13: Corte X – X (cortes y elevaciones)*

Fuente: Levantamiento topográfico



**Figura 14:** Corte A – A (cortes y elevaciones)

**Fuente:** Levantamiento topográfico

## 4.2. DISEÑO DE GEOMEMBRANA CON EL SOFTWARE “GEO SOFT PAVCO V. 3.0”

De acuerdo a los datos obtenidos en campo y adquiriendo la autorización para uso del software “Geosoft PAVCO 3.0” (Anexo 03); Se desea diseñar una geomembrana HDPE de polietileno de alta resistencia, el cual se va a aplicar y/o instalar para la impermeabilización de un depósito de relaves.

Donde la poza tiene  $H=7.90$  m. y con un peso específico de relave de  $16.00$   $\text{kN/m}^3$ . Está conformada por taludes a los costados con pendiente de  $1.25H:1V$ . Para la protección de esta geomembrana se colocara un geotextil no tejido en la parte inferior, esto para evitar daños durante la construcción y post construcción; También se ha decidido utilizar arena para cama o como suelo de cobertura con un espesor o ancho de  $30$  cm, como relleno para la zanja de anclaje también se utilizara arena; esta arena tiene un ángulo de fricción interna de  $30^\circ$  y un peso específico de  $18$   $\text{kN/m}^3$ .

Este software expresa todos los aspectos a controlar en el diseño como son: espesor, resistencia a la tencion, resistencia al rasgado, resistencia al punzomamiento, impacto, zanja de coronacion, etc.

### 4.2.1. parámetros de diseño

Para esto se debe de conocer los parámetros de diseño (variables de trabajo); Tales parámetros de diseño obtenidos en campo son:

#### ➤ altura de relleno (H)

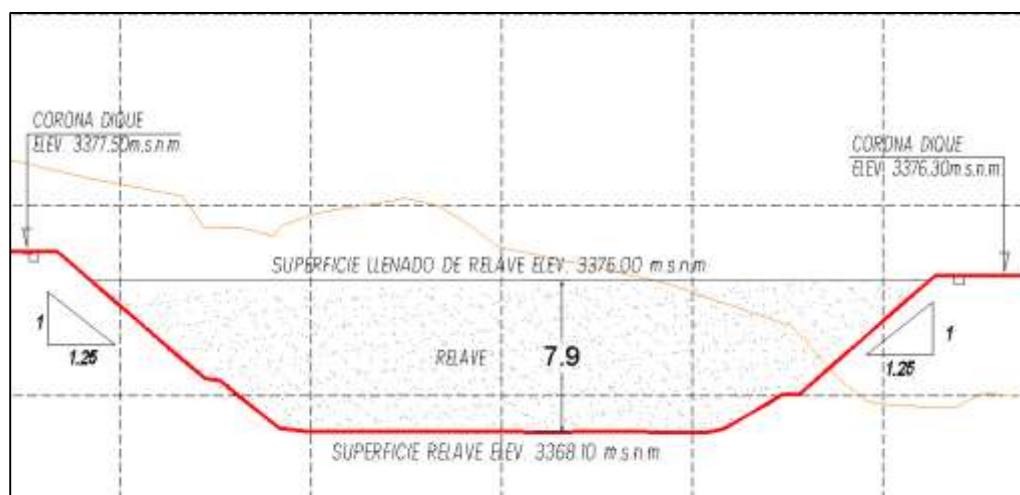


Figura 15: Altura de relleno de relave

Fuente: Levantamiento topográfico In-situ

➤ **Peso unitario (  $\delta$  ) Peso específico**

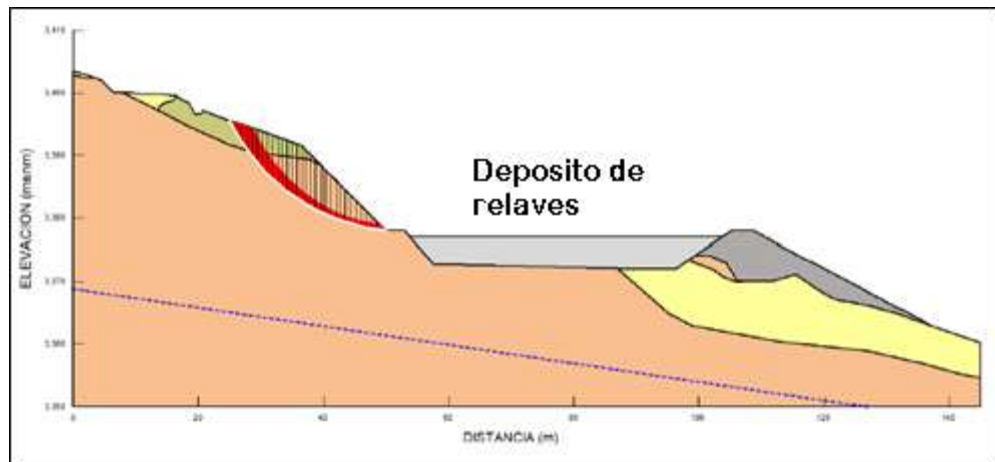
Peso específico del relave; Para esto se ha realizado un ensayo según la Norma N.T.P. 400.022/ASTM C-128 en laboratorio, con registro c-000136-21, tomando la muestra M1 cuyo resultado fue 1.63 gr/cm<sup>3</sup>, Sitio en la figura 33 del Anexo 01.

$$1.63 \text{ gr/cm}^3 = 1.63 \text{ ton/m}^3 = 16 \text{ kN/m}^3$$

**Tabla 6:** Peso específico del relave

PESO ESPECIFICO Y ABSORCION DEL AGREGADO (GLOBAL)				
DATOS DEL PESO ESPECIFICO Y ABSORCION		UND	1	RESULTADOS DEL ENSAYO
A	Peso del picnómetro + agua aforada	gr.	659.7	
B	Peso de la muestra seca al horno	gr.	470.5	
C	Peso del picnómetro + agua aforada + muestra	gr.	841.5	
Peso específico aparente		gr/cm <sup>3</sup>	1.63	P.E.A. : 1630 Kg/m <sup>3</sup>

Fuente: CongeoMat – Laboratorio de suelos y materiales



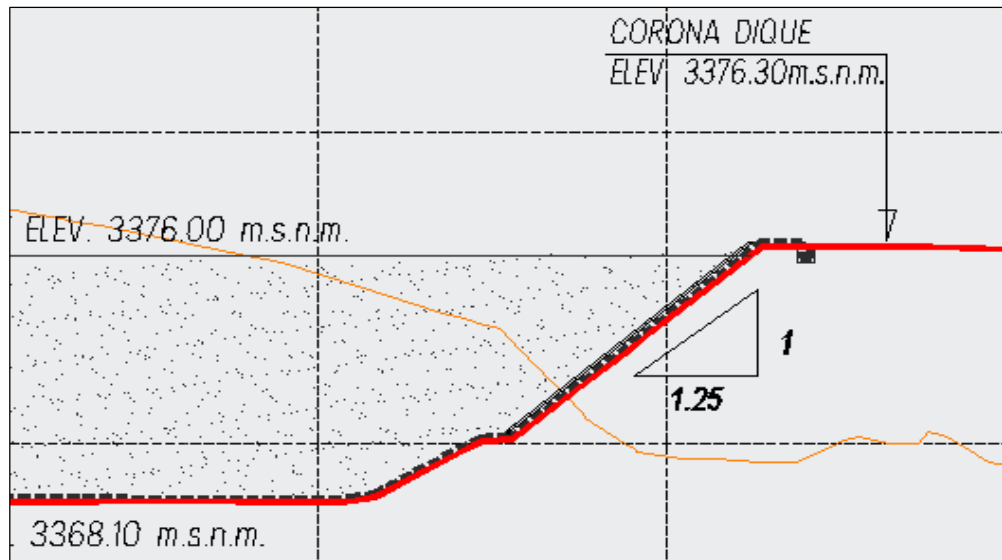
**Figura 16:** Depósito de Relaves en contexto de montaña

Fuente: Elaboración propia

➤ **Pendiente del talud**

(H: 1 V): Se solicita la relación Horizontal asumiendo la vertical siempre como 1.0.

Grados (°): Es el ángulo de inclinación de los taludes con respecto a la horizontal la cual se obtiene del levantamiento topográfico (Anexo 04).



**Figura 17: Pendiente de talud**  
Fuente: Levantamiento topográfico In-situ

➤ **Fricción entre la geomembrana y el material superior ( $\delta_u$ )**

30° (Angulo de fricción) ya que en el presente caso de estudio la geomembrana es texturizada en conjunto con la arena.

Según muestra la tabla 07: Ángulos de fricción según ensayo ASTM D 5321.

**Tabla 7: Fricción entre la geomembrana y el material superior**

Tipo de Geomembrana	Tipo de Geotextil	Tipo de Suelo - Arena		
		$\phi = 30^\circ$	$\phi = 28^\circ$	$\phi = 26^\circ$
HDPE	No Tejido Punzonado			
Texturizado	32°	30° (100%)	26° (100%)	22° (100%)
Liso	8°	18° (56%)	18° (61%)	17° (63%)

Fuente: manual de diseño con geosintéticos (Robert M. Koerner)

➤ **Fricción entre la geomembrana y el material inferior ( $\delta_L$ )**

32° (Angulo de fricción) en este caso hay una relación entre el geotextil no tejido punzonado por agujas y la geomembrana texturizada.

Según muestra la tabla 08: Ángulos de fricción según ensayo ASTM D 5321

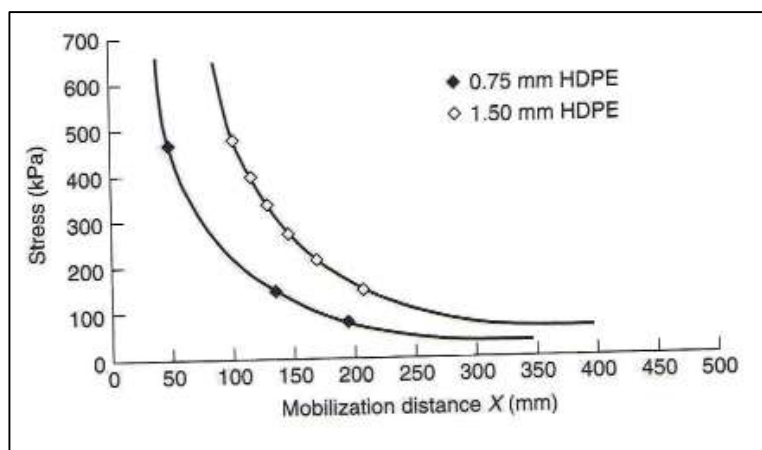
**Tabla 8:** Fricción entre la geomembrana y el material inferior

Tipo de Geomembrana	Tipo de Geotextil	Tipo de Suelo - Arena		
HDPE	No Tejido Punzonado	$\phi = 30^\circ$	$\phi = 28^\circ$	$\phi = 26^\circ$
Texturizado		32°	30° (100%)	26° (100%)
Liso		8°	18° (56%)	18° (61%)
			17° (63%)	

Fuente: manual de diseño con geosintéticos (Robert M. Koerner)

- **Distancia de movilización de la deformación de la geomembrana X**  
50 mm (es la distancia más desfavorable para movilización de la geomembrana)

**Tabla 9:** Distancia de movilización de la deformación de la geomembrana



Fuente: manual de diseño con geosintéticos (Robert M. Koerner)

- **Zanja de anclaje:**  
El sistema de fijación más usado para fijar la geomembrana es una zanja de anclaje en el perímetro de la corona del dique, realizada mediante excavación manual. Se recomienda usar como material de relleno material granular de preferencia Arena Media – fina. La zanja será excavada según las especificaciones del diseño, mínimo una zanja de 30 cm de ancho por 30 cm de alto ( $d_{AT}$ ). (Robert M. Koerner).
- **Suelo de Cobertura:**  
Es lo comúnmente denominado cama, donde se va a instalar la geomembrana. Las geomembranas deben de tener protección adicional

por lo general, con el recubrimiento se protege contra factores climáticos, la oxidación, la degradación ultra violeta, contra las altas temperaturas que incrementan la alta degradación (protección contra factores externos como el viento), protección contra el punzonamiento, corte y rasgado por materiales angulares, protección ante posibles daños accidentales en el proceso constructivo o intencionales que se pudieran dar. El suelo de cobertura normalmente es con una capa de arena muy delgada.

**Espesor (e):** Se asume el valor de 0.30 m. Según recomendación de “Designing With geosynthetics” (Robert M. Koerner).

➤ **Peso específico del suelo ( $\delta$ ):**

El suelo de cobertura está compuesto por arena al igual que a zanja de anclaje; Según la tabla de peso específico y densidad de materiales en construcción y saneamiento y vías (ingemecanica s.n.), la arena seca tiene un peso específico de 16 kN/m<sup>3</sup>, arena húmeda tiene un peso específico de 18 kN/m<sup>3</sup>, arena Saturada tiene un peso específico de 21 kN/m<sup>3</sup>; Por lo que asumiremos el valor de 18 kN/m<sup>3</sup>. (1.84 ton/m<sup>3</sup>) para la presente investigación.

➤ **Angulo de Fricción de suelo ( $\phi$ )**

30° (Angulo de fricción) ya que en este caso especial la geomembrana es texturizada en conjunto con la arena (Tabla N° 9)

➤ **Longitud de desarrollo ( $L_{RO}$ ):**

Es la distancia medida desde el vértice de la corona del talud hasta la zanja de anclaje. Se recomienda usar un valor constructivamente viable y que sea constante en todo el perímetro.

En este caso se asumirá  $L_{ro}=0.40m$ ; Siendo 0.30 el mínimo para tener trabajabilidad en el terreno - “Designing With geosynthetics” (Robert M. Koerner).

➤ **Factor de seguridad global (FS):**

El factor de seguridad denominado global debe ser mínimo de 2.0, No obstante en algunos casos de acuerdo a las condiciones factor de seguridad requerido debe de ser mucho mayor. Estas se caracterizan por dos factores; Piedras agrupadas y piedras aisladas las cuales



aumentan su factor de seguridad de acuerdo a la distancia. En este caso particular se asume 4.5 de acuerdo a las características del terreno.

**Tabla 10:** Factor de seguridad global para diseño

Arreglo de las piedras	Altura efectiva de protuberancia (mm)	Factor de seguridad Global (Mínimo)
Piedras Aisladas	6	3.0
	12	4.5
	25	7.0
	38	10.0
Piedras Agrupadas	38 o menos	3.0

Fuente: Designing With geosynthetics (Robert M. Koerner)

➤ **Factores de modificación:**

Este tipo de factores son propuestos con el fin de representar de mejor forma las condiciones de terreno, son asumidas por el diseñador.

**Factor de modificación por forma de la protuberancia  $FM_s$ :**

**Tabla 11:** Factor por protuberancia ( $FM_s$ )

Forma de la piedra	$FM_s$
Angular	1.00
Semi redondeada	0.50
Redondeada	0.25

Fuente: Designing With geosynthetics (Robert M. Koerner)

**Factor de modificación por densidad del relleno  $FM_{DR}$**

**Tabla 12:** Factor por densidad de relleno

Arreglo de la protuberancia	$FM_{DR}$
Aislada	1.00
Compacto, 38 mm	0.83
Compacto, 25 mm	0.67
Compacto, 12 mm	0.5

Fuente: Designing With geosynthetics (Robert M. Koerner)

### Factor de modificación por efecto de arco en sólidos ( $FM_A$ ):

Este factor tiene esta referido al tipo de material o al tipo de carga a la que es sometida la geomembrana.

**Tabla 13:** Factor por efecto de arco en solidos

Efecto de arco en solidos	$FM_A$
Hidroestático	1.00
Geo-estático, superficial	0.75
Geo-estático, moderado	0.50
Geo-estático, profundo	0.25

Fuente: Designing With geosynthetics (Robert M. Koerner)

### Factor de reducción por fluencia a largo plazo $FR_{FL}$ :

**Tabla 14:** Factor por influencia a largo plazo

Referencia Geotextil (gr/m <sup>2</sup> )	$FR_{FL}$			
	Altura efectiva de protuberancia (mm)			
	38	25	12	6
Sin Geotextil	>> 1.5	>> 1.5	>> 1.5	>> 1.5
NT 4000	>> 1.5	>> 1.5	> 1.5	1.5
NT 7000	>> 1.5	1.5	1.3	1.2
1100	1.3	1.2	1.1	1.0
>1100	1.2	1.1	1.0	1.0

Fuente: Designing With geosynthetics (Robert M. Koerner)

### Factor de reducción por degradación química y biológica a largo plazo $FR_{DQB}$ :

Para determinar este factor se consideran los elementos externos que puedan afectar la integridad del sistema de impermeabilización, tales como ratas de campo, mohos, microbios, o cualquier factor externo que pueda percutir en la degradación del material, Cabe mencionar que el alto peso molecular de los materiales con los cuales son fabricados los geosintéticos, son mínimos los efectos de agentes sobre este material.

**Tabla 15:** Factor por degradación química y biológica

Tipo de Lixiviado	$FR_{DQB}$
Ligero	1.1
Moderado	1.3
Agresivo	1.5

Fuente: Designing With geosynthetics (Robert M. Koerner)

#### 4.2.2. Aplicación del software “Geosoft PAVCO v 3.0”



Figura 18: Diseño con Geosoft Pavco 3.0 (Paso 1)



Figura 19: Diseño con Geosoft Pavco 3.0 (Paso 2)

Geosoft Pavco v3.0

**DISEÑO CON GEOMEMBRANAS**

Geosoft® PAVCO

**PARÁMETROS DE DISEÑO**

**DISEÑO DE LA LONGITUD Y ZANJA DE ANCLAJE**

**SUELO DE COBERTURA**

Espesor  $e$  0,3 m

Peso específico del suelo  $\gamma$  18 kN/m<sup>3</sup>

**MATERIAL RELLENO DE LA ZANJA**

Ángulo de Fricción del suelo  $\phi$  30,0 grad

Peso específico del suelo  $\gamma$  18,0 kN/m<sup>3</sup>

Longitud de Desarrollo  $L_{d0}$  0,4 m

**DETERMINACIÓN GEOTEXTIL NO TEJIDO DE PROTECCIÓN**

Factor de Seguridad Global FS 4,5

Altura Efectiva de la Protuberancia (mm)  $h$  0,0

**FACTORES DE MODIFICACIÓN**

Factor de modificación por forma de la protuberancia  $FM_f$  1

Factor de modificación por densidad del relleno  $FM_{DK}$  1

Factor de modificación por efecto de arco en sólidos  $FM_A$  1

Factor de reducción por fluencia del material  $FR_{FL}$  2,0

Factor de reducción por degradación Química - Biológica  $FR_{CBQ}$  1,3

Figura 20: Diseño con Geosoft Pavco 3.0 (Paso 3)

Geosoft Pavco v3.0

**DISEÑO CON GEOMEMBRANAS**

Geosoft® PAVCO

**DISEÑO DEL ESPESOR DE LA GEOMEMBRANA HDPE**

Espesor Calculado (mm) 1,3

Espesor a Instalar (mm) 1,5

Espesor por Supervivencia (mm) 1

Chequeo del espesor 1,16

Espesor Recomendado (mm) 1,3

Observación: Adecuado

**DETERMINACIÓN GEOTEXTIL NO TEJIDO DE PROTECCIÓN**

Se recomienda usar: Geotextil No Tejido NT1600

RESISTENCIA A LA TENSIÓN (ASTM D4632) (N) 400,0

RESISTENCIA AL PUNZONAMIENTO METODO CBR (ASTM D6241) (N) 1200,0

RESISTENCIA AL ESTALLIDO (ASTM D3786) (kPa) 1139,0

**DISEÑO DE LA LONGITUD Y ZANJA DE ANCLAJE**

Longitud de Desarrollo  $L_{d0}$  0,4 m

Profundidad de la Zanja de Anclaje Calculado  $d_{d0}$  (m) 0,29

Profundidad de la Zanja de Anclaje Recomendado  $d_{dR}$  (m) 0,3

Figura 21: Diseño con Geosoft Pavco 3.0 (Paso 4- Resultado)

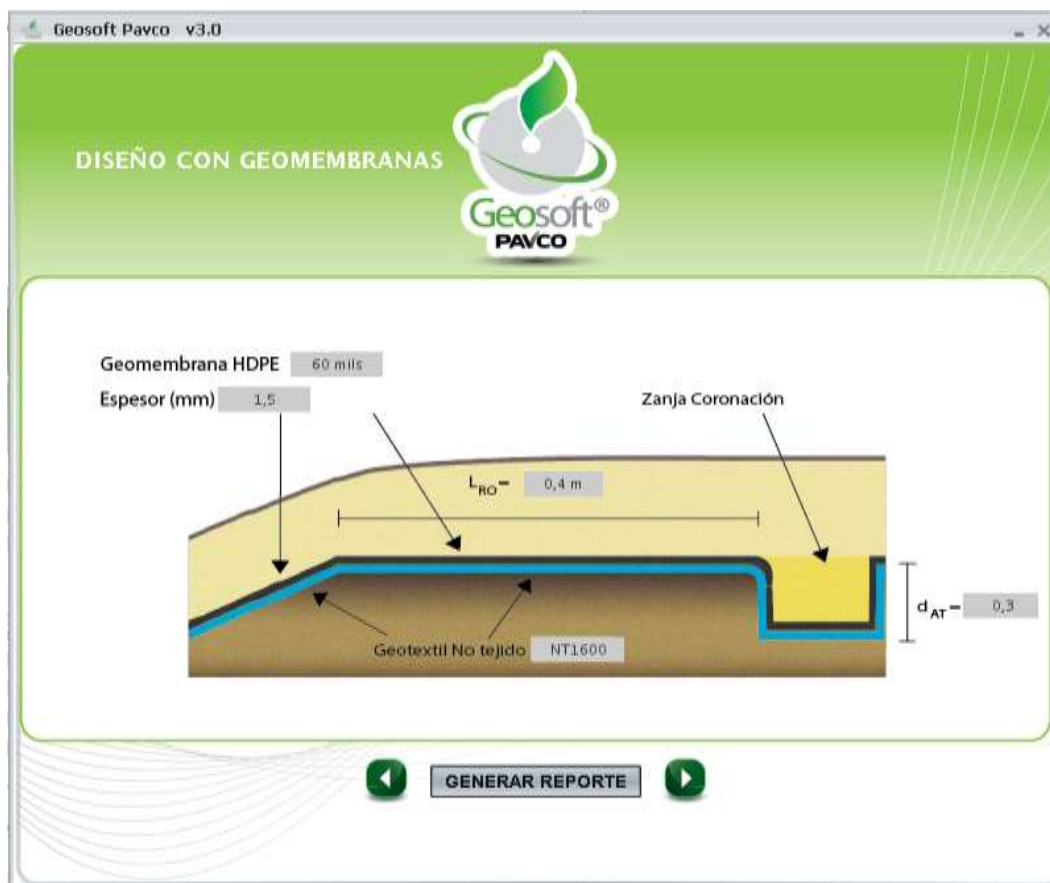


Figura 22: Diseño con Geosoft Pavco 3.0 (Paso 5 – diagrama de resultado)

**Tabla 16:** Datos de proyecto

Nombre del proyecto	:	Diseño e instalación de geomembrana para impermeabilización de depósito de relaves utilizando el Geosoft -PAVCO, Sina, Puno, 2021
Nombre de la empresa	:	Universidad Cesar Vallejo
Nombre del Diseñador	:	Bach. Wilian Luciano Quispe Apaza
Cargo del diseñador	:	Tesista

Notas: Software Geosoft PAVCO v 3.0

**País:** PERU    **Departamento:** puno    **Ciudad:** Sina

**Otra Ubicación:** C.C. Betaspata

**Descripción del Proyecto:**

Diseño de geomembrana para impermeabilización de un depósito de relaves

**Tabla 17: PARÁMETROS DE ENTRADA**

DESCRIPCION	VALORES
Altura del Relleno H :	7.90m
Peso Específico Material :	16 kN/m <sup>3</sup>
Pendiente del talud (H:1 V) :	1.25
Fricción entre la geomembrana y el material superior :	30.0°
Fricción entre la geomembrana y el material inferior :	32.0°
Distancia de Movilización de la deformación de la geomembrana X :	0.05m
Grado Requerido de Supervivencia G :	ALTO
Altura Efectiva de la Protuberancia (mm) h :	0.0
Peso específico del suelo Zanja :	18 kN/m <sup>3</sup>
Espesor Suelo Cobertura :	0.30m
Peso específico del suelo Cobertura :	18 kN/m <sup>3</sup>
Longitud de Desarrollo :	0.40m
Factor de Seguridad Global FS :	4.5
Factor de modificación por forma de la protuberancia :	1.0
Factor de modificación por densidad del relleno :	1.0
Factor de modificación por efecto de arco en sólidos :	1.0
Factor de reducción por fluencia del material :	2.0
Factor de reducción por colmatación química y biológica :	1.3
Espesor a instalar (mm) :	1.5

Notas: Software Geosoft PAVCO v 3.0

**Tabla 18: Parámetros calculados y resultados**

DESCRIPCION	VALORES
Espesor calculado (mm)	1.297
Espesor recomendado por criterio de supervivencia (mm)	1.0
Espesor recomendado (mm)	1.5
Chequeo de espesor	1.156

Observación	CUMPLE
Recomendación geomembrana HDPE	60 mils
Recomendación geotextil no tejido	NT1600
RESISTENCIA A LA TENSIÓN (ASTM D4632) [N]	400.0
RESISTENCIA AL PUNZONAMIENTO METODO CBR (ASTM D6241) [N]	1200.0
RESISTENCIA AL ESTALLIDO (ASTM D3786) [kPa]	1139.0
Profundidad de la Zanja de Anclaje Calculado(m)	0.29
Profundidad de la Zanja de Anclaje Recomendado(m)	0.30

Notas: Software Geosoft PAVCO v 3.0

**Nota:** Los valores de los geosintéticos corresponden a valores mínimos promedio por rollo (VMPR) ó (MARV) por su nombre en inglés.

### **ADVERTENCIA**

Esta herramienta de cálculo es un complemento al Manual de Diseño. El usuario debe conocer las ecuaciones, su aplicabilidad y limitaciones.

La información contenida aquí no puede ser garantizada ya que las condiciones del usuario están más allá de nuestro control. El usuario de esta herramienta asume todos los riesgos asociados con su uso.

A pesar de que todos los esfuerzos han sido hechos para verificar su funcionamiento y resultados, GEOSISTEMAS-PAVCO no se hace responsable por cualquier error en los cálculos obtenidos con esta herramienta. Datos asumidos o valores entrados erróneos pueden dar soluciones incorrectas.

#### 4.2.3. DISEÑO DE GEOMEMBRANA - MANUAL DE DESIGNING WITH GEOSYNTHETIC 5TA EDICIÓN.

##### 4.2.3.1. Diseño por espesor

$$t = \frac{\sigma n X (\tan \delta_U + \tan \delta_L)}{\sigma_{adm} (\cos \beta - \text{sen} \beta \cdot \tan \delta_L)}$$

Donde:

t: espesor de la geomembrana

$\beta$ :  $38.66^\circ = 39^\circ$

$\sigma n$ :  $7.90 \text{ m} \cdot 16 \text{ Kn/m}^3 = 126.4 \text{ Kn/m}^2$  (Presion)

$\delta_L$ :  $30^\circ$  (Angulo de fricción) ya que en este caso la geomembrana es texturizada en conjunto con la arena

$\delta_U$ :  $32^\circ$  (Angulo de fricción) por ser un geotextil no tejido punzonado por agujas y una geomembrana texturizada

X: 50 mm (distancia más desfavorable para movilización de la geomembrana)

$\sigma_{adm}$ : 15'000 kPa, (Mayor esfuerzo soportado por las geomembranas HDPE según Designing with Geosynthetic Cap. 5, 5ta Ed.)

Reemplazando los valores en la ecuación obtenemos:

$$t = \frac{126.4 (0.05)(\tan 30^\circ + \tan 32^\circ)}{15000 (\cos 39^\circ - \text{sen} 39^\circ \cdot \tan 32^\circ)}$$

$$t = \frac{7.60}{5758.54}$$

$$t = 1.32 \cdot 10^{-3}$$

$$t = 1.32 \text{ mm.}$$

Entonces:

$$\text{F. S.} = \frac{t_{\text{instalado}}}{t_{\text{requerido}}} \quad \text{F. S.} = \frac{1.50 \text{ mm}}{1.32 \text{ mm}} \quad \text{F. S.} = 1.13 > 1.0 \text{ (ok).}$$



#### 4.2.3.2. Estabilidad de la cobertura de relleno

$$F. S. = \frac{(W \cos \beta) \tan \delta u (L) + T}{W \sin \beta (L)}$$

Donde:

F.S.: Factor de seguridad por equilibrio limite.

w:  $(18 \cdot 0.50 \cdot 1.00) = 9 \text{Kn/m}$  (peso del material de relleno)

$\beta$ :  $39^\circ$

$\delta u$ :  $30^\circ$  (Angulo de fricción) ya que en este caso la geomembrana es texturizada en conjunto con la arena.

T adm:  $15'000 \cdot 0.0015 = 22.5$  ( $\sigma_{adm} \cdot t$ ) Fuerza de tención en la geomembrana

L: Longitud de inclinación.

Reemplazando los valores en la ecuación obtenemos:

$$F. S. = \frac{(9 \cos 39^\circ) \tan 30^\circ (L) + 22.5}{9 \sin 39^\circ (L)}$$

$$F. S. = \frac{4.03 (L) + 22.5}{5.66 (L)}$$

Asumiendo diferentes valores para la longitud de inclinación se obtienen diferentes resultados en el F.S.

**Tabla 19:** Valores para longitud de inclinación

Longitud de Inclinación	F.S.
7	1.27
9	1.15
11	1.07
<b>13</b>	<b>1.02</b>
15	0.97
17	0.94
19	0.92

Fuente: Manual de Designing with Geosynthetic 5ta Edición

Por lo tanto la longitud de inclinación máxima deberá ser 13.0 con el fin de obtener un factor de seguridad adecuado mayor a 1.00

#### 4.2.3.3. Diseño de la longitud y zanja de anclaje

$$T_{adm} = \frac{\sigma_n L_{ro} (\tan \delta_U + \tan \delta_L) - Pa + Pp}{\cos \beta - \sin \beta \cdot \tan \delta_L}$$

$T_{adm}$ : Factor de seguridad por equilibrio limite.

$$Pa: (0.5 \gamma_{AT} d_{AT} + \sigma_n) K_A d_{AT}$$

$$Pp: (0.5 \gamma_{AT} d_{AT} + \sigma_n) K_p d_{AT}$$

Donde:

$$\gamma_{AT}: 18 \text{ kN/m}^3$$

$$\sigma_n: (18 \text{ kN/m}^3)(0.30 \text{ m}) = 5.4 \text{ kN/m}^2$$

$\phi$ : Angulo de fricción de la arena =  $30^\circ$

$$K_A: \tan^2(39^\circ - \frac{\phi}{2}) = \tan^2(39^\circ - \frac{30^\circ}{2}) = 0.198$$

$$K_p: \tan^2(39^\circ + \frac{\phi}{2}) = \tan^2(39^\circ + \frac{30^\circ}{2}) = 1.894$$

$\delta_U$ :  $30^\circ$  porque en este caso la geomembrana es texturizada en conjunto con la arena

$\delta_L$ :  $32^\circ$  por ser un geotextil no tejido punzonado por agujas y una geomembrana texturizada.

$$\beta: 39^\circ$$

$$T_{adm}: 15'000 * 0.0015 = 22.5 (\sigma_{adm} * t)$$

Reemplazando los valores en la ecuación obtenemos:

$$T_{adm} = \frac{5.4 L_{ro} (\tan 30^\circ + \tan 32^\circ) - ((0.5) (18) d_{AT} + 5.4) 0.198 d_{AT} + ((0.5) (18) d_{AT} + 5.4) 1.894 d_{AT}}{\cos 39^\circ - \sin 39^\circ \cdot \tan 32^\circ}$$

$$T_{adm} = \frac{6.49 L_{ro} - ((9 d_{AT} + 5.4) 0.198 d_{AT}) + (9 d_{AT} + 5.4) 1.894 d_{AT}}{0.2653}$$

$$22.5 = \frac{6.49 L_{ro} - 1.782 d_{AT}^2 - 1.069 d_{AT} + 17.046 d_{AT}^2 + 10.227 d_{AT}}{0.2653}$$

$$5.969 = 6.49 L_{ro} + 15.264 d_{AT}^2 + 9.158 d_{AT}$$

Entonces nos queda finalmente una ecuación con dos incógnitas, las cuales son:

L<sub>ro</sub>: Longitud de desarrollo

d<sub>AT</sub>: Profundidad de la zanja de anclaje

Se asume una de las dos incógnitas y se encuentra la otra. Asumiendo L<sub>ro</sub>=0.40m, se reemplaza en la ecuación quedando una cuadrática de la siguiente forma:

$$5.969 = 6.49 (0.40) + 15.264d_{AT}^2 + 9.158d_{AT}$$

$$3.373 = 15.264d_{AT}^2 + 9.158d_{AT}$$

$$0 = 15.264d_{AT}^2 + 9.158d_{AT} - 3.373$$

$$0.25 = d_{AT}$$

Resolviendo para d<sub>AT</sub> = 0.25m

**Tabla 20:** Pruebas con longitud de desarrollo

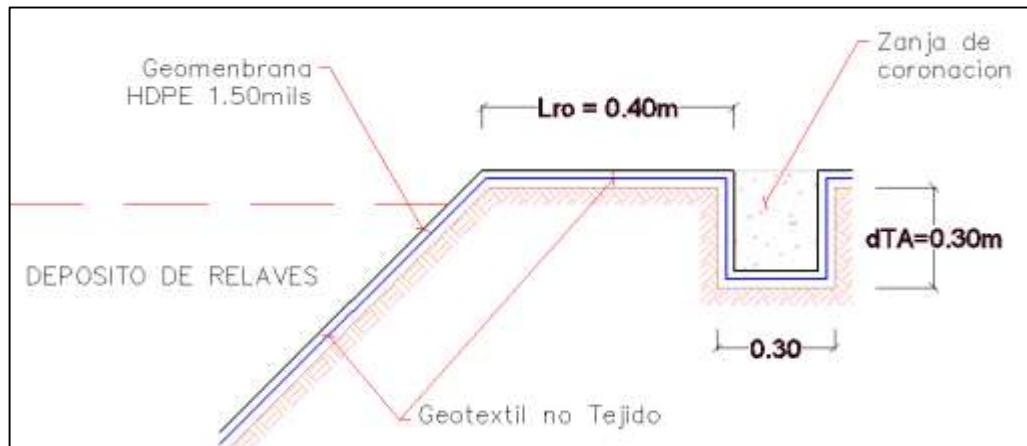
Resolviendo incógnita	
L <sub>ro</sub>	d <sub>AT</sub>
0.40	0.25
0.50	0.22
0.80	0.07

Fuente: Manual de Designing with Geosynthetic 5ta Edición.

Se recomienda que d<sub>AT</sub> sea ≥ 0.30m por razones constructivas prácticas.

Por lo tanto d<sub>AT</sub> = 0.30m y L<sub>ro</sub> = 0.40m

#### 4.2.3.4. Chequeo por supervivencia



**Figura 23:** Chequeo por supervivencia

**Fuente:** Manual de Designing with Geosynthetic 5ta Edición.

En el chequeo por supervivencia se revisa los parámetros de diseño del geotextil de protección a la geomembrana, por lo que se revisa la tabla N° 8 en el cual se determina que para el caso de manejo de relaves se debe tener en cuenta la condición más crítica (MUY ALTO), la cual determina como mínimo una geomembrana de 1.5 mm, por este motivo muestra geomembrana será HDPE 60 mils (1.5mm) con una tensión de 137 Lb/pulg., una resistencia al rasgado de 45.6 Lb., un punzonamiento de 120 Lb. y una resistencia al impacto de 20 J. La cual “cumple” con todos los parámetros requeridos para la impermeabilización que se desea realizar (espesor, resistencia a la tensión, rasgado).

**Tabla 21:** Valores mínimos recomendados para supervivencia de la geomembrana asociada al proceso de la instalación

PROPIEDAD FISICA Y MÉTODO DE LABORATORIO	GRADO REQUERIDO DE SUPERVIVENCIA			
	BAJO <sup>1</sup>	MEDIO <sup>2</sup>	ALTO <sup>3</sup>	MUY ALTO <sup>4</sup>
Espesor (D5199), mils (mm)	20 (0.50)	30 (0.75)	40 (1.0)	60 (1.5)
Tensión (D6693), Lb/pulg (KN/m)	46 (8.0)	69 (12)	91 (16)	137 (24)
Rasgado (D1004), Lb (N)	15 (67)	22.7 (101)	30.3 (135)	45.6 (203)
Punzonamiento (D4833), Lb (N)	36 (160)	60 (268)	80 (357)	120 (536)
Impacto (D3998 mod), J	10	12	15	20

Fuente: Designing With Geosynthetics 5ta. Edición. Robert Koerner. – Adaptada a materiales disponibles en el mercado

#### **4.3. PROCESO CONSTRUCTIVO PARA INSTALACIÓN DE GEOMEMBRANA.**

El objetivo principal de esta etapa del proyecto es plasmar, describir y comentar el proceso constructivo de la instalación de geomembrana de polietileno HDPE, geotextil y componentes para la impermeabilización de depósito de relaves producto de la minería en el distrito de Sina – Puno.

A través de una estructuralización de partidas se muestra el orden de ejecución, con especificaciones e imagen fotográfica real de la partida. Este trabajo se detalla con una “Guía de instalación y proceso constructivo” en el Anexo 5.

El resultado obtenido es:

- **TRABAJOS PRELIMINARES**

Actividades que se realizan antes del tendido de geomembrana (IGS Perú, 2020)

- ✓ **Planos de instalación de paneles**

Contienen toda la información necesaria para poder distribuir e instalar los paneles de geomembrana y otras partidas.

- ✓ **Señalización temporal de seguridad**

Con el objeto de disponer prohibiciones, obligaciones e informar, esto de conformidad con la norma G.050 Seguridad durante la construcción del RNE.

- ✓ **Trazo, niveles y replanteo**

Refiere en llevar al terreno los ejes, distancias, alturas y niveles establecidos en los planos.

- **PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE:**

Un aspecto importante para trabajos con geomembranas es la preparación de superficie donde se va a extender el geotextil y geomembrana, esta deberá estar limpia, seca, regularizada y libre de cualesquiera objetos que puedan dañar la geomembrana.

- ✓ **Excavación de zanja de anclaje**

Comprende el corte de terreno normalmente de forma lineal con una profundidad en este caso de 0.30 x un ancho de 0.30m; Según refiere los cálculos realizados por el software Geosoft Pavco 3.0.

- ✓ **Limpieza de terreno manual**

Comprende la limpieza manual de la superficie, retirando toda obstrucción que hubiera hasta 0,001 m por debajo o encima del nivel de la cota indicada en los planos.
- **MOVILIZACIÓN DESPLIEGUE Y SUJECIÓN DE GEOMEMBRANA Y GEOTEXTIL**
  - ✓ **Despliegue de geotextil y geomembrana**

Consiste en desplegar el geotextil en primer orden sobre la cama de área, seguido de la geomembrana en la superficie del geotextil.
  - ✓ **Sujeción en cresta con sacos**

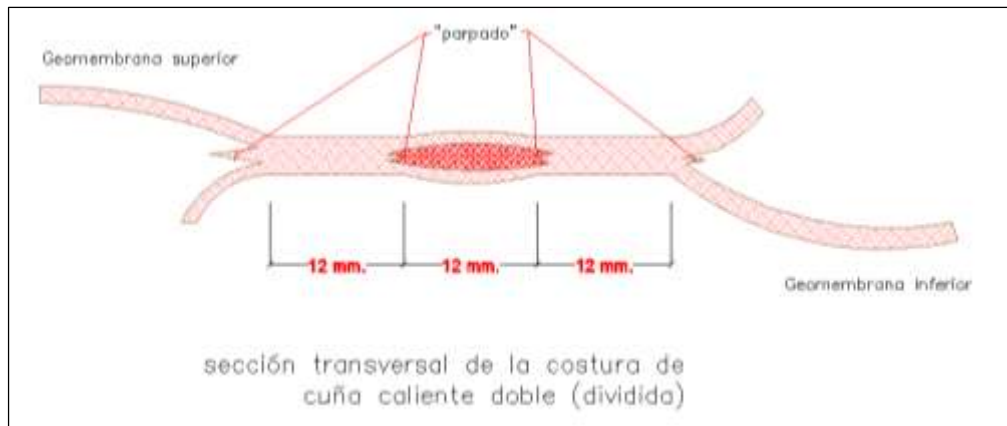
Se colocarán sacos con lastre (sacos rellenos con material cascajo, arena o similar) esto para la sujeción de las láminas de geotextil y/o geomembrana sobre la cresta del dique; También se usara para dar forma al geotextil y geomembrana sobre la superficie del terreno.
- **TERMOFUSIÓN DE GEOTEXTIL**

Una vez que tenemos el equipo preparado procedemos a extender los rollos. Para realizar la termofusión con equipo semimecanico equipo manual en cuyo caso el procedimiento es el mismo. Se recomienda que se debe establecer la velocidad de trabajo, a una temperatura ambiente de 25°C y con una boquilla de 40 mm, La temperatura recomendable del equipo es de 560°C y con una velocidad de 4,5 m/min.
- **SOLADURA Y TERMOFUSIÓN DE GEOMEMBRANA**

La unión de geomembrana consiste en juntar una serie de paneles en forma escalonada o simultanea de tal forma se pueda recubrir el vaso de relavera como una sola unidad, este trabajo se realiza con equipos mecánicos de dos formas:

  - ✓ **Soldadura por Termofusión**

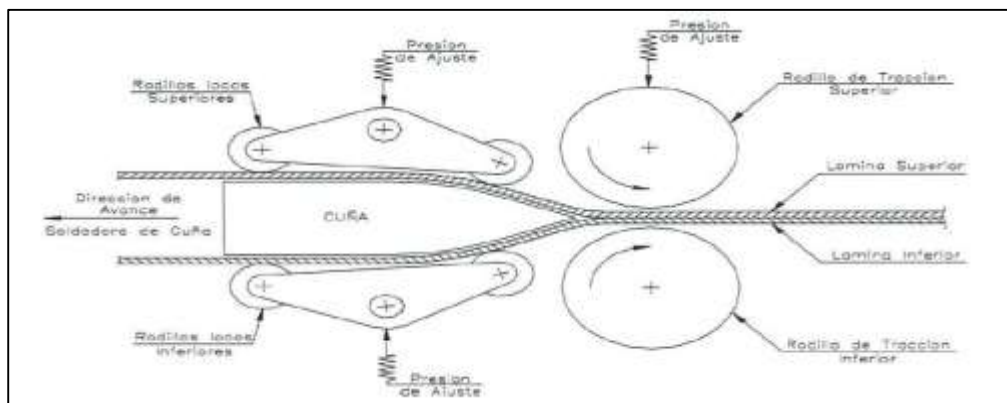
Este trabajo se realiza con un equipo denominado de “cuña caliente” estas están equipadas “Split wedge” (cuñas divididas), estas cuñas divididas que presionan en dos partes de forma paralela dejan un canal de aire, este canal de aire nos permitirá realizar los ensayos y pruebas aplicando presión de aire a la junta termo fusionada.



**Figura 24:** Sección transversal de la soldadura por termofusión con cuña caliente

Fuente: Sotrafa

Según a la temperatura que se programe, a la presión que se ejerza, esto sumando la velocidad que se utilice, hacen que la soldadura y/o termofusión sea sencilla.

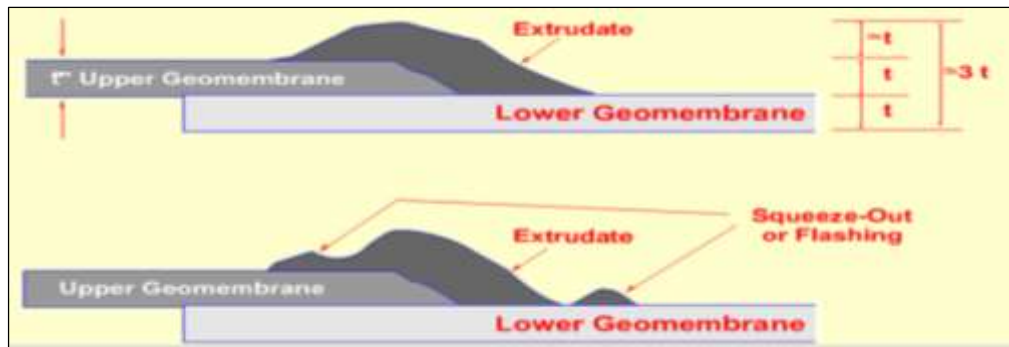


**Figura 25:** Diagrama de sistema por termofusión

Fuente: Tecnifluidos

### ✓ Soldadura por Extrusión

Se utiliza esta técnica específicamente para detalles especiales y reparaciones de parchado en geomembranas. La extrusión es muy útil en caso un proyecto con geomembranas ya esté concluido y se pretenda aumentar una lámina así sea un trozo.



**Figura 26:** Sección transversal de la soldadura por extrusión

Fuente: Sotrafa

- **CODIFICACIÓN A PLIEGUES DE GEOMEMBRANA**

Para la identificación y realizar el control respectivo se debe de codificar todos los paneles; Esto se realiza en los paneles ya instalados en la superficie, como también en la obtención de muestras de los diferentes ejes termofusionados o soldados.

- **VERIFICACIÓN Y REPARACIÓN DE GEOMEMBRANA**

Se deberá verificar todas las soldaduras ya sea por cuña caliente o extrusora. De acuerdo a las características de la falla en la geomembrana; la reparación se puede realizar de 3 formas:

- ✓ Alto relieve con cordón extruido directamente sobre la geomembrana
- ✓ Parches
- ✓ Huinchas (Caps)

Verificación de reparaciones; Una vez realizado las reparaciones ya sea por cuña caliente o extrusión deberán ser sometidas a ensayos no Destructivos, ensayo que garantiza que se realizó un buen trabajo.

- **RELLENO, NIVELACIÓN Y COMPACTACIÓN DE ZANJAS**

Este relleno se realizara con arena o el mismo material producto de la excavación de acuerdo al diseño, posterior a esto deberá ser compactado a la cota de la cresta del dique, la compactación deberá aproximarse a su forma primitiva de la cal fue excavada.



- **INSTALACIÓN Y SUMINISTRO DE TUBERÍAS HDPE PARA DRENAJE DE AGUAS**

Para el sistema de circulación y colección de aguas acidas dentro de vaso de la relavera se aplicaran tuberías HDPE; Se utilizaran tuberías HDPE de 6" para colección y tubería HDPE de 4" para formar quenas.

- ✓ **Suministro de tubería perforada HDPE CPT (tipo SP) de 4" y 6 " diámetro**

Corresponden a la correcta selección, almacenamiento y traslado de tuberías HDPE con características específicas de tuberías CPT del tipo estructural "SP" (doble pared),

- ✓ **Instalación de tubería HDPE CPT (tipo SP) de 4" y 6 " diámetro**

Corresponden a la instalación de tuberías CPT (Tipo SP) correspondientes al sistema de drenaje de aguas de infiltración, tanto para el armado de quenas con accesorios de tipo "Yee", acoples y otros. De igual forma el circuito en el perímetro del vaso de la relavera el cual desemboca en la poza de colección.

- **POZA DE COLECCIÓN**

El depósito de relaves "relavera" separa las partículas finas de los líquidos, por lo que estas aguas acidas pasan a un poza de colección por medio de tuberías HDPE; En esta se realiza el tratamiento de purificación a las aguas acidas, esta servirá también como poza de sedimentación.

#### 4.4. CALIBRACION DE EQUIPOS PARA TERMOFUSIÓN Y SOLDADURA

Para el éxito de una impermeabilización con geomembrana es indispensable que los equipos estén calibrados y se realicen pruebas de calibración antes de iniciar con la instalación, de forma periódica o al iniciar la jornada de trabajo; Por lo que la presente tesis añade la descripción de puntos a considerar en la calibración de equipos, sito en el anexo 07.

##### 4.4.1. CALIBRACIÓN DE EQUIPOS PARA TERMOFUSIÓN DE GEOTEXTIL

###### Calibración de Pistola de calor manual

Antes de realizar a fusión con aire se hace una prueba para verificar que la temperatura seleccionada es la adecuada, esta puede variar en función a las condiciones ambientales, el flujo de aire, la boquilla empleada y la velocidad del trabajo.



**Figura 27:** Pistola de aire caliente  
Fuente: Internet



**Figura 28:** semiautomático  
Fuente: Internet

##### 4.4.2. CALIBRACIÓN DE EQUIPO PARA TERMOFUSIÓN DE GEOMEMBRANA “CUÑA CALIENTE” Equipo para la Unión por Termofusión

Para soldar geomembranas es esencial contar con un equipo bien calibrado y un técnico operario bien capacitado. Mediante una máquina de termofusión, (fig. N°40), esta técnica permite soldar láminas desde 0.5 mm hasta 3.0 mm, al ser una maquina automática se le programa la velocidad, temperatura y presión a los rodillos escalonados que contactan a la geomembrana.



**Figura 29:** Máquina de termofusión (Cuña)

Fuente: Internet

### **“EXTRUSORA” Equipo para unión por soldadura**

La función de esta máquina es la de almacenar el plástico, realizar el transporte del material, calentarlo y comprimirlo, además de favorecer su homogenización, la misma extrusora puede definir la temperatura, presión y cantidad de material a extrusar. Estas extrusoras originan una soldadura de entre 25 mm y 40 mm entre los materiales (según interese) a través de una zapata o teflón preformado que contacta con la lámina.



**Figura 30:** Extrusora (modelo Swt-ns620)

Fuente: MM-Tech (página web de internet)

#### 4.5. PRUEBAS DE CONTROL DE CALIDAD

Las pruebas de control de calidad se realizan antes de iniciar, durante y al finalizar el trabajo, realizando ensayos constantes en los diferentes tipos de termofusión, estas pruebas son del tipo destructivas y no destructivas según sea el caso, por lo que la presente tesis describe detalladamente los ensayos que se deben de realizar en este trabajo, sito en el anexo 06.

##### 4.5.1. “DESTRUCTIVE TEST” ENSAYOS DESTRUCTIVOS

###### Destructivos de Fusión y Extrusión (ASTM D6392)

Estos ensayos determinan las características mecánicas de las uniones soldadas por termofusión o extrusión, el ensayo de muestra destructiva comprende ensayos de resistencia al desgarre y al corte según la Norma ASTM D 6392.

El criterio de aceptación de la prueba será:

Tabla N° 22: Resistencia de la costura y propiedades relacionadas de las geomembranas de polietileno de alta densidad (HDPE) lisas y texturizadas unidas térmicamente (unidades inglesas)

**Tabla 22: Resistencia a la costura**

Table 1(a) – Seam Strength and Related Properties of Thermally Bonded <b>Smooth and Textured</b> High Density Polyethylene (HDPE) Geomembranes ( <b>English Units</b> )							
Geomembrane Nominal Thickness	30 mils	40 mils	50 mils	60 mils	80 mils	100 mils	120 mils
<b>Hot Wedge Seams<sup>(1)</sup></b>							
shear strength <sup>(2)</sup> , lb/in	57	80	100	120	160	200	240
shear elongation at break <sup>(3)</sup> , %	50	50	50	50	50	50	50
peel strength <sup>(2)</sup> , lb/in.	45	60	76	91	121	151	181
peel separation, %	25	25	25	25	25	25	25
<b>Extrusion Fillet Seams</b>							
shear strength <sup>(2)</sup> , lb/in	57	80	100	120	160	200	240
shear elongation at break <sup>(3)</sup> , %	50	50	50	50	50	50	50
peel strength <sup>(2)</sup> , lb/in.	39	52	65	78	104	130	156
peel separation, %	25	25	25	25	25	25	25

Notes for Tables 1(a) and 1(b):

- Also for hot air and ultrasonic seaming methods
- Value listed for shear and peel strengths are for 4 out of 5 test specimens; the 5<sup>th</sup> specimen can be as low as 80% of the listed values
- Elongation measurements should be omitted for field testing

Table 1(b) – Seam Strength and Related Properties of Thermally Bonded <b>Smooth and Textured</b> High Density Polyethylene (HDPE) Geomembranes ( <b>S.I. Units</b> )							
Geomembrane Nominal Thickness	0.75 mm	1.0 mm	1.25 mm	1.5 mm	2.0 mm	2.5 mm	3.0 mm
<b>Hot Wedge Seams<sup>(1)</sup></b>							
shear strength <sup>(2)</sup> , N/25 mm.	250	350	438	525	701	876	1050
shear elongation at break <sup>(3)</sup> , %	50	50	50	50	50	50	50
peel strength <sup>(2)</sup> , N/25 mm	197	263	333	398	530	661	793
peel separation, %	25	25	25	25	25	25	25
<b>Extrusion Fillet Seams</b>							
shear strength <sup>(2)</sup> , N/25 mm	250	350	438	525	701	876	1050
shear elongation at break <sup>(3)</sup> , %	50	50	50	50	50	50	50
peel strength <sup>(2)</sup> , N/25 mm	170	225	285	340	455	570	680
peel separation, %	25	25	25	25	25	25	25

GMD9 9 of 13 Rev. 8: 2/12/2015

Fuente: Geosynthetic Institute (Revisión 8: February 12, 2015)

Estos ensayos son de tipo:

- ✓ “SHEAR” Ensayo de Tensión al Corte.
- ✓ “PEEL” Ensayo de Tensión al Desgarro.

#### **4.5.2. “NOT DESTRUCTIVE TEST” ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS**

##### **Ensayos para soldadura por extrusión.**

- **“ VACCUM TEST” Prueba de vacío (ASTM D5641)**

Es de obligatoriedad realizar esta prueba en las soldaduras por extrusión.

- ✓ Se coloca la caja de vacío y aplica una determinada fuerza sobre la caja.
- ✓ Inmediatamente se acciona la bomba de vacío para generar un sello entre la espuma de la caja con la geomembrana para que succione con una presión en negativo de 5 psi durante un lapso de 15 segundos.

- **“SPARK TEST” Prueba de chispa eléctrica (ASTM 6365)**

Esta prueba se realiza sobre las soldaduras de extrusión que lleven alambre de cobre desnudo recubiertas con un relieve de cordón extruido.

##### **Ensayos para soldadura por fusión**

- **“AIR TEST” Prueba de presión de aire (ASTM D5820)**

Esta prueba se realiza para la termofusión por cuña caliente, ya que esta al ser aplicada a la geomembrana deja un espacio vacío (por el que pudiese fluir aire) entre dos soldaduras paralelas ejercida por la cuña.

- ✓ Se procede a introducir aire a presión a través del bombín (inflador) hasta alcanzar una presión de 35 psi.
- ✓ Tomada la lectura final de presión, se comparan ambas lecturas, esta lectura debe de ser igual o menor a 3 psi.
- ✓ Transcurrido el tiempo y no habiendo observaciones de fuga de aire, se verifica si la prueba de aire ha cubierto la totalidad de la longitud de del cordón de aire.

## V. DISCUSIÓN

De acuerdo a la hipótesis general y a los resultados alcanzados, realizado el desarrollo y cálculo del espesor de geomembrana requerida cuyo resultado es 1.5 mm. se determina que mediante el software Geosoft PAVCO 3.0 se puede llegar al valor requerido consiguiendo ventajas técnicas, de forma eficiente, con mayor rapidez y productividad. En tal sentido concuerda con el autor ALVAREZ, Walter (2020) quien realiza el diseño de geomembrana mediante fórmulas matemáticas establecidas en el “Designing With Geosynthetics de Robert Koerner”, quien a su vez comprueba este resultado con el software Geosoft PAVCO 3.0; Cabe resaltar que sus resultados le arrojan datos diferentes, por lo que no se puede comprobar la veracidad de sus resultados.

La presente investigación le da mayor realce a los parámetros de diseño exigidos por el software Geosoft PAVCO 3.0 para llegar a los resultados requeridos, resultados que son comprobados mediante las fórmulas matemáticas establecidas en el “Manual de Diseño con Geosintéticos, 8va Edición” las cuales están inmersas en “Designing With Geosynthetics de Robert Koerner”; Por su parte el autor CALUA, Yhoni (2018) le da mayor énfasis a la teoría establecida en ambos manuales para realizar el diseño de geomembrana por fórmulas matemáticas sin la utilización de software.

VILLASANTE, Fausto (2014) en sus pruebas de control de calidad, realizado sus ensayos destructivos de fusión y extrusión determina que 2.0 m/s de velocidad y una temperatura de 450°C son los parámetros correctos para la soldadura de geomembrana HDPE de 2.0 mm; No obstante, ya sea una geomembrana de 2.0, 1.5 ó 1.0 mm la descripción del proceso constructivo en la presente investigación ha resaltado que es indispensable realizar pruebas de velocidad y temperatura, someterlas a una prueba destructiva antes de realizar el trabajo de soldadura en los paneles de geomembrana, a su vez esta tarea debe de ser aprobada por el residente o supervisor antes de iniciar el trabajo.

El término “quena” para obras hidráulicas, no es un término común que se pueda encontrar fácilmente en internet o textos de ingeniería, ya que por su función a esta se le conoce como sistema de evacuación de aguas ya sean acidas o pluviales; Sin

embargo a este sistema de evacuación de aguas, que básicamente están conformadas por tuberías HDPE de 4" o 6" y accesorios varios de traslape de tipo "Teé", "Yeé", Tapas y abrazaderas, por su forma y características en obras de ingeniería de depósito de relaves se le conoce como "quenas" para su fácil identificación.

El hecho de que el lugar, espacio o sitio sea de difícil acceso por factores geográficos, clima, topografía etc., no son excusa para contaminar el medio ambiente que lo rodea, ya que hoy por hoy existen materiales alternos tales como la geomembrana que son de fácil accesibilidad para realizar este tipo de ingeniería.

## VI. CONCLUSIONES

- ✓ Cuidar el medio ambiente y proteger el ecosistema es lo que se quiere en la zona minera de Sina ubicada a 3500 msnm ya que el relave en el estado actual está deteriorando el medio ambiente por la falta de aliviaderos como son las relaveras producto de estudios técnico de ingeniería.
- ✓ Los resultados obtenidos por el Geosoft Pavco fueron 1.30 mm de espesor de geomembrana, contrastado por las formulas del manual de diseño de geosintéticos dando como resultado 1.32 mm., en ambos casos el resultado final es 1.5 mm. siendo este espesor el adecuado según diseño; Cabe resaltar que los geosintéticos se fabrican en medidas estándares como 0.5 mm, 1.0 mm, 1.5 mm, 2.0 mm, 2.5mm. de espesor.
- ✓ Se ha llegado a los objetivos deseados ya que el manual y software de diseño de Geosoft Pavco tiene como base teórica el manual de “Designing With Geosynthetics de Robert Koerner”, cuyo desarrollo lleva al resultado para la impermeabilización de depósito de relaves con geomembrana.
- ✓ Con los parámetros de diseño en paralelo al cálculo de espesor de geomembrana, el Geosoft Pavco 3.0, brinda las características del geotextil a utilizar para protección de la geomembrana. En este caso particular los datos obtenidos son: Geotextil no tejido NT-1600, con resistencia al punzonamiento de método CBR (ASTM D6241) 1200.0 N., resistencia al estallido (ASTM D3786) 1139.0 Kpa.
- ✓ Con las partidas, especificaciones técnicas adecuadas y con apoyo de imágenes reales, se puede realizar una correcta instalación de geomembrana y componentes para evitar la filtración de aguas acidas al suelo que la contiene.
- ✓ Antes de iniciar con los trabajos de termofusión de los paneles de geomembrana se deben de realizar pruebas de velocidad y temperatura, someterlas a una prueba destructiva ya que mucho influye el clima, tales como asoleamiento, viento, cielo despejado, nublado u otros, mas no se debe realizar la termofusión con un clima desfavorable. Asimismo finalizada las pruebas el supervisor o residente de obra debe de dar la autorización a los técnicos para iniciar la termofusión; Se obtienen muestras antes y después de la termofusión de geomembrana.



- ✓ Otro de los resultados obtenidos por el manual y software de diseño de Geosoft Pavco son las dimensiones de zanja de anclaje requerido 0.30 x 0.30 m.
- ✓ El espesor de la geomembrana no depende de las características físicas del material con el que se va a cargar a esta, depende del peso específico de este material, así también del ángulo de inclinación del talud de quique, muro de contención u otro que la sostenga, también depende de otros factores que lo denominamos parámetros de diseño.
- ✓ La geomembrana como material de construcción para impermeabilización tiene ventajas varios como reducción de tiempos, costos, eficiencia en protección del medio ambiente, ya que la mayoría de geotextiles son de buena calidad y por ende resistente a agentes químicos, a su vez contribuye a la estética de las obras.
- ✓ Con un depósito de relaves impermeabilizado adecuadamente se logra re-usar las aguas residuales, atreves de un sistema de recirculación de agua para el procesamiento de minerales en planta. De tal forma se minimiza el consumo de aguas de fuentes naturales.

## VII. RECOMENDACIONES

- ✓ Para el diseño de geomembrana con el Geosoft Pavco 3.0 se debe tener en cuenta los parámetros de diseño en la presente investigación, obteniendo datos confiables para obtener el resultado deseado.
- ✓ Como en todo diseño verificar que los valores obtenidos sobrepasen los valores mínimos requeridos y estas se ajusten con el factor de seguridad que requiere el software o el material en estudio.
- ✓ Se recomienda que la termofusión de geomembrana, geotextil y componentes se realice con un clima favorable para evitar realizar varias reparaciones, de tal forma que se pueda conservar un acabado final estético y agradable a la vista.
- ✓ Ya sea una geomembrana de 2.0, 1.5 ó 1.0 mm es indispensable realizar pruebas de velocidad y temperatura y someterlas a una prueba destructiva antes de realizar el trabajo de soldadura en los paneles de geomembrana
- ✓ Se deben de obtener muestras antes de iniciar el trabajo, así también al finalizar el trabajo para las pruebas de control de calidad.
- ✓ Se debe codificar cada detalle de los trabajos de termofusión ya sean por cuña caliente o extrusión, plasmarlas en un plano post construcción, de tal forma que se pueda identificar para realizar mantenimientos futuros.
- ✓ Se debe de colocar y/o instalar un cerco perimétrico de protección, cunetas y limpiar constantemente el perímetro del depósito de relaves donde se instaló la geomembrana para evitar el ingreso de agentes externos tales como piedras, barro y otros que puedan dañar el geotextil.
- ✓ Se recomienda realizar el levantamiento de datos con estación total para tener mayor precisión en la elaboración de planos post construcción para su posterior identificación en caso sea necesario.

## REFERENCIAS.

ALVAREZ, Walter. Diseño y aplicación de geosintéticos en la construcción de la planta de residuos sólidos de la localidad de Jesús 2020. Tesis (Ingeniero civil). Trujillo: Universidad Privada de Trujillo, 2020. 152 pp.

AMANCO 2021. Geomembranas HDPE-LLDPE.

Disponible en:

<https://amancowavingeosinteticos.com/geomembrana-hdpe/>.

AQUAPRUF S.A. 2008. Manual de Instalación geomembrana de polietileno HDPE CQA. 2008.

Disponible en:

[https://www.academia.edu/13846109/INFORMACION\\_PARA\\_LA\\_INSTALACION\\_GEOMEMBRANAS\\_HDPE\\_2012](https://www.academia.edu/13846109/INFORMACION_PARA_LA_INSTALACION_GEOMEMBRANAS_HDPE_2012)

ASTM D 5641 – 94 (Reapproved 2001) - Standard Practice for Geomembrane Seam Evaluation by Vacuum Chamber: Copyright © ASTM International.

ASTM D 5820 – 95 (Reapproved 2001) - Standard Practice for Pressurized Air Channel Evaluation of Dual Seamed Geomembrane: Copyright © ASTM International.

ASTM D 6392 – 99. (Reapproved 2008). Standard Test Method for Determining the Integrity of Nonreinforced Geomembrane Seams Produced Using Thermo-Fusion Methods. United States: Copyright © ASTM International.

ASTM D 4437 –99. (Reapproved 2002). Standard practice for Determining the Integrity of Field Seams Used in Joining Flexible Polymeric Sheet Geomembranes. United States: Copyright © ASTM International.

ASTM D 4439 – 02. United (Reapproved 2002). Standard Terminology for Geosynthetics States: Copyright © ASTM International.

BERNAL, César Metodología de la Investigación [en línea] Colombia: Pearson Educación, 2010. [Fecha de consulta: 07 de enero de 2020]. 78 pp.

ISBN: 9706860614

Disponible en:

[https://www.academia.edu/25497606/Metodolog%C3%ADa\\_de\\_la\\_Investigaci%C3%B3n](https://www.academia.edu/25497606/Metodolog%C3%ADa_de_la_Investigaci%C3%B3n)

CALUA, Jhony, MORI, José. . Bases teóricas para el diseño y aplicación de geosintéticos en la construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales de la localidad de baños. Tesis (Bachiller) Trujillo: Universidad Privada de Trujillo 2018. 73 pp.

CIDELSA. (2021) Características de la Geomembrana de HDPE.

Disponible en: <http://www.cidelsa.com/esp/geomembrana-de-hdpe.html>

CONSEJO MINERO (2021). Depósito de relaves.

Disponible en: <https://consejominero.cl/areas-de-trabajo/depositos-de-relaves/>

GEOSISTEMAS PAVCO SA. (2009) Manual de diseño con geosintéticos (octava edición). Bogotá D.C. Geosistemas Pavco. 2009. Mexichem.

Disponible en:

[http://www.mexichem.com.mx/Sol\\_Integrales/geosinteticos/pdfs/Manual\\_Disenio\\_8aEdicion/Manual\\_Disenio\\_Geosinteeticos\\_OctavaEdicion.pdf](http://www.mexichem.com.mx/Sol_Integrales/geosinteticos/pdfs/Manual_Disenio_8aEdicion/Manual_Disenio_Geosinteeticos_OctavaEdicion.pdf).

GIROUD, J. P. Geo synthetics. a remarkable discipline with great achievements in the past and exciting challenges for a bright future. Ingenieria Civil (Madrid), 2014, vol. 171, p. 27-37.

HERNÁNDEZ, Roberto. Metodología de la Investigación. Sexta. México D.F.: Mc Graw Hill, 2014. pág. 600.

ISBN 978-1-4562-2396-0.

Disponible en: [http://observatorio.epacartagena.gov.co/wpcontent/](http://observatorio.epacartagena.gov.co/wpcontent/uploads/2017/08/metodologia-de-la-investigacion-sexta-edicion.compressed.pdf)

[uploads/2017/08/metodologia-de-la-investigacion-sexta-edicion.compressed.pdf](http://observatorio.epacartagena.gov.co/wpcontent/uploads/2017/08/metodologia-de-la-investigacion-sexta-edicion.compressed.pdf)

IGC - Innovación en geosintéticos y construcción. Instalación de geosintéticos

Disponible en: <https://igc.com.pe/portfolio-item/instalacion-de-geosinteticos/>

Institute Geosynthetic – GRI Test Method GM19- Seam Strength and Related Properties of Thermally Bonded Polyolefin Geomembrane - USA- Revision October 2012.

Koerner M. (2012). Diseño con Geosintéticos, 5ta edición. Estados Unidos de América KELLER, Gordon R. Application of geosynthetics on low-volume roads. Transportation Geotechnics, 2016, vol. 8, p. 119-131.

ISBN: 0131454153

Disponible en: <https://es.scribd.com/document/478846412/Designing-with-Geosynthetics-5th-Edition-Robert-M-Koerner-pdf>

Koerner, George y Koerner, Robert. 2017. La durabilidad de las cubiertas de geomembranas expuestas. Florida: s.n., 2017.

Disponible en: <https://ascelibrary.org/doi/pdf/10.1061/9780784480434.014>.

LAVOIE, Fernando Luiz, et al. Durability of HDPE geomembranes: An overview. Química Nova, 2020, vol. 43, no 5, p. 656-667.

LLANOS, Edgar y LLANOS, Nelson. Resistencia al corte y desgarro en geomembrana HDPE. Tesis (ingeniero civil). Cajamarca: Universidad Privada del Norte, 2019. 109 pp.

MACAFERRI, (2008). Manual De Diseño Geosintéticos, Manual Técnico, Lima — Perú.

Disponible en:

[https://www.maccafferri.com/br/es/peru/?gclid=CjwKCAjw2ZaGBhBoEiwA8pfP\\_vB99bydd0EFVnVNw1-lze-NgcZPIB0DNHdjK0hmSgSctD8iEQo6BoCvrkQAvD\\_BwE](https://www.maccafferri.com/br/es/peru/?gclid=CjwKCAjw2ZaGBhBoEiwA8pfP_vB99bydd0EFVnVNw1-lze-NgcZPIB0DNHdjK0hmSgSctD8iEQo6BoCvrkQAvD_BwE)

Ministerio de energía y minas del Perú. (2006). Guía de plan de cierre de minas. Lima: s.n., 2006.

Ministerio de Energía y Minas del Perú. (2015). Guía Ambiental Para el Manejo de Relaves Mineros.

Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd27/compendio-manejo.pdf>

Ministerio de energía y minas del Perú. (2020). Guía ambiental para el manejo de relaves mineros -. Lima: s.n., 2020. pág. 93, guía.

Ministerio de Minería de Chile. Estudios de normativas internacionales de diseño. 2018. Relave.

Disponible en: <http://www.minmineria.gob.cl/glosario-minero-r/relave/>

NORMA G-050. Seguridad durante la construcción. Reglamento nacional de edificaciones

Disponible en:

<https://ww3.vivienda.gob.pe/ejes/vivienda-y-urbanismo/documentos/Reglamento%20Nacional%20de%20Edificaciones.pdf>

OSINERMING. 2017. LA INDUSTRIA DE LA MINERIA EN EL PERU. LIMA: S.N., 2017. PÁG. 17. 978-612-47350-1-1.

PALMA, Katherine. La construcción de presas de concreto para relaves mineros en proyecto Conga, Un medio para lograr desarrollo sostenible. Tesis (Ingeniero Civil). Lima: Universidad Ricardo Palma, 2016.

Disponible en: <https://es.scribd.com/document/343948310/ESTUDIO-PREVIO-PARA-ELMEJORAMIENTO-DEL-DISENO-DE-PRESAS-DE-RELAVE-EN-CONGA>

PALMEIRA, Ennio M.; OTANI, J. Backanalyses of geosynthetic reinforced embankments on soft soils. Geotextiles and Geomembranes, 2002.

PAVANELLO, P.; CARRUBBA, P.; MORACI, N. The characterisation of geosynthetic interface friction by means of the inclined plane test. *Geotextiles and Geomembranes*, 2020.

Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0266114420301369>

PAVCO de Mexichem - Funciones y aplicaciones de geomembrana de HDPE y LLDPE- Geo-sistemas.

Disponible en:

<http://www.pvcamano.com/webpvc/dmdocuments/Geomembranas.pdf>

Polytec. Manual técnico de instalación de geomembranas.

Disponible en: <http://www.slideshare.net/BereniceGarces/38324122-manualtecnicogeomembranas>

Procedimientos de soldadura. Revinca, C, A.

Disponible en:

[https://uploads-ssl.webflow.com/5a4d50032076080001a8f2aa/5a6d067b513ec40001b714ae\\_fusion.pdf](https://uploads-ssl.webflow.com/5a4d50032076080001a8f2aa/5a6d067b513ec40001b714ae_fusion.pdf)

Referencias estilo ISO 690 y 690-2, Lima: Fondo editorial Universidad Cesar Vallejo, 2017. 34 pp.

Revista Seguridad Minera. (21 de mayo de 2020).

Disponible en: <https://www.revistaseguridadminera.com/operaciones-mineras/fallas-queafectan-la-estabilidad-de-taludes/>

Servicio Nacional de Geología y Minería. Depósito de relaves. Recuperado: <https://www.sernageomin.cl/preguntas-frecuentes-sobre-relaves/>

Tejada, O. (2014). Parámetros de soldadura de fusión entre Geomembranas de alta densidad y de baja densidad, (Tesis de Titulación) Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Perú.

Touze, Natalie, Xie, Haijian y Stoltz, Guillaume. 2020. Geotextiles and Geomembranes [Geotextiles y geomembrans]. s.l. : Official Journal of the International Society of Geosynthetics [Revista Oficial de la Sociedad Internacional de Geosintéticos], 2020.

Disponibile en: <https://doi.org/10.1016/j.geotexmem.2020.10.016>.


VALENCIA, Mónica. Análisis global de una geomembrana de polietileno de alta densidad con propósitos de impermeabilización en el desarrollo de proyectos de ingeniería en Magallanes. Tesis (Ingeniero constructor). Chile, Punta arenas: Universidad de Magallanes, escuela tecnológica, 2010. 92 pp.

VILLASANTE, Fausto. Propiedad Intelectual de la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa: Evaluar las propiedades mecánicas y el deterioro de la microestructura de las uniones soldadas por termofusión (cuña caliente). Tesis (ingeniero de materiales). Arequipa: Universidad Nacional San Agustín de Arequipa, 2014. 91 pp.



## **ANEXOS.**

## ANEXO 01: Ensayo de peso específico del Relave minero en el distrito de Sina.

	<b>PESO ESPECÍFICO</b> NORMA: N.T.P. 400.022 / ASTM C-128	Código : F - 030
		Versión : 2.0
		Aprobado : ene-21

### DATOS GENERALES

**PROYECTO:** DISEÑO E INSTALACIÓN DE GEOMEMBRANA PARA IMPERMEABILIZACIÓN DE DEPÓSITO DE RELAVES UTILIZANDO EL GEOSOFT-PAVCO, SINA, PUNO, 2021  
**UBICACIÓN:** SECTOR BETASPATA, SINA, PUNO  
**SOLICITANTE :** WILIAN LUCIANO QUISPE APAZA

**REGISTRO:** C - 000136-21  
**FECHA:** 04/05/2021

### DATOS DE LA MUESTRA

**DESCRIPCIÓN:** RELAVE MINERO

**MUESTREO :** ACOPIO

**MUESTRA :** M-1

### PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO (GLOBAL)

DATOS DEL PESO ESPECIFICO Y ABSORCIÓN		UND	01	RESULTADOS DEL ENSAYO
A	Peso del picnómetro + agua aforado	gr.	850.7	
B	Peso de la muestra seca al horno	gr.	470.5	
C	Peso de picnómetro + agua aforado + muestra	gr.	841.5	
Peso específico aparente		gr/cm <sup>3</sup>	1.630	P.E.A. : 1630 Kg/m <sup>3</sup>

### OBSERVACIONES:

- Muestreo e identificación realizado por el solicitante.
- Se realizó el ensayo de peso específico aparente de la muestra, del acopio de Relave minero
- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización escrita de CONGEOMAT.

  
**CONGEOMAT S.R.L.**  
  
 John Percy Paricañua Tintaya  
 TEC. DE SUELOS Y PAVIMENTOS

  
**CONGEOMAT S.R.L.**  
  
 Alberth Ysidro Quispe Bustinza  
 ING<sup>º</sup> DE SUELOS Y PAVIMENTOS  
 C.I.P. N<sup>º</sup> 151300

## ANEXO 02: Certificado de calibración de equipo.

Fecha de emisión	2020/11/09
Solicitante	<b>CONSULTORES EN GEOTECNIA Y MATERIALES SOCIEDAD COMERCIAL DE RESPONSABILIDAD LIMITADA</b>
Dirección	JR. 16 DE DICIEMBRE MZA. A (LOTE. 30/JULIACA) PUNO- SAN ROMAN - JULIACA
Instrumento de medición	<b>BALANZA</b>
Identificación	1172-145-2020
Intervalo de indicación	3100 g
División de escala Resolución	0.01 g
División de verificación (e)	0.01 g
Tipo de indicación	Digital
Marca / Fabricante	OHAUS
Modelo	PAJ310Z
N° de serie	NO INDICA
Procedencia	USA
Lugar de calibración	Laboratorio de CONSULTORES EN GEOTECNIA Y MATERIALES SOCIEDAD COMERCIAL DE RESPONSABILIDAD LIMITADA
Fecha de calibración	2020/11/09

### Método/Procedimiento de calibración

"Procedimiento para la Calibración de Balanzas de Funcionamiento no Automático Clase II y III" (PC-001) del SNM-INDECOPI, 3era edición Enero 2009 y la Norma Metroológica Peruana "Instrumentos de Pesaje de Funcionamiento No Automático (NMP 003:2009)

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI)

Los resultados son válidos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento recalibrar sus instrumentos a intervalos regulares, los cuales deben ser establecidos sobre la base de las características propias del instrumento, sus condiciones de uso, el mantenimiento realizado y conservación del instrumento de medición o de acuerdo a reglamentaciones vigentes.

ARSOU GROUP S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento después de su calibración, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración declarados en este documento.

Este certificado no podrá ser reproducido o difundido parcialmente, excepto con autorización previa por escrito de ARSOU GROUP S.A.C.



**ARSOU GROUP S.A.C**  
Ing. Hugo Luis Arévalo Carnica  
METROLOGÍA



ARSOU GROUP S.A.C.

Asoc. Viv. Las Flores de San Diego Mz C Lote 01, San Martín de Porres, Lima, Perú  
Telf: +51 801-5880 / Cel: +51 928 196 793 / Cel: +51 925 151 427  
ventas@arsougroup.com  
www.arsougroup.com



**Patrones e Instrumentos auxiliares**

Trazabilidad	Patrón Utilizado	Certificado de Calibración
Patrones de referencia de INACAL	Juego de Pesas de 1g a 2kg	0828-LM-2019
Patrones de referencia de INACAL	Pesa de 5 kg	0826-LM-2019
Patrones de referencia de INACAL	Pesa de 10 kg	0827-LM-2019
Patrones de referencia de INACAL	Pesa de 25 kg	0170-CLM-2019

**Condiciones ambientales durante la calibración**

Temperatura Ambiental	Inicial: 21,5 °C	Final: 21,9 °C
Humedad Relativa	Inicial: 58 %hr	Final: 69 %hr
Presión Atmosférica	Inicial: 1015 mbar	Final: 1015 mbar

**Resultados**

**ENSAYO DE REPETIBILIDAD**

Medición N°	Carga L1= 1550 g			Carga L1= 3100 g		
	I (g)	ΔI (g)	E (g)	I (g)	ΔI (g)	E (g)
1	1550.0	0.001	-0.001	3100	0.005	-0.002
2	1550.0	0.002	-0.004	3100	0.004	-0.004
3	1550.0	0.004	-0.005	3100	0.006	-0.004
4	1550.0	0.003	-0.007	3100	0.003	-0.009
5	1550.0	0.003	-0.009	3100	0.005	-0.012
6	1550.0	0.004	-0.001	3100	0.007	-0.014
7	1550.0	0.004	-0.004	3100	0.003	-0.01
8	1550.0	0.007	-0.008	3100	0.005	-0.009
9	1550.0	0.006	-0.004	3100	0.004	-0.007
10	1550.0	0.005	-0.003	3100	0.004	-0.008

Carga (g)	Diferencia Máxima Encontrada (g)	Error Máximo Permitido (g)
1550	0	0.05
3100	0	0.3



**ARSO GROUP S.A.C.**  
Ing. Hugo Luis Arévalo Carnica  
METROLOGÍA



**ENSAYO DE EXCENTRICIDAD**

Posición de la Carga	Determinación de E <sub>0</sub>				Determinación de E <sub>0</sub>				
	Carga Min <sup>(1)</sup> (g)	I (kg)	ΔL (g)	E <sub>0</sub> (g)	Carga L (g)	I (kg)	ΔL (g)	E (g)	E <sub>c</sub> (g)
1	1	1	0.004	-0.001	100	100	0.006	-0.001	0.001
2		1	0.006	-0.004		100	0.003	-0.001	0.004
3		1	0.005	0.004		100	0.004	-0.002	-0.005
4		1	0.007	0.001		100	0.001	0.004	0.003
5		1	0.009	-0.002		100	0.004	0.004	0.002

<sup>(1)</sup> Valor entre 0 y 10 e

**ENSAYO DE PESAJE**

Carga L (g)	Crecientes				Decrecientes				EMP <sup>(2)</sup> (±g)
	I (g)	ΔL (g)	E (g)	E <sub>c</sub> (g)	I (g)	ΔL (g)	E (g)	E <sub>c</sub> (g)	
1.00	1.00	0.004	-0.001						0.1
5.00	2.00	0.006	0.004	0.004	2.00	0.006	0.001	0.004	0.1
10.00	10.00	0.002	-0.005	0.003	10.00	0.005	0.004	-0.003	0.1
50.00	50.00	0.002	0.004	0.005	50.00	0.009	-0.003	-0.003	0.1
100.00	100.00	0.009	0.004	0.008	100.00	0.005	0.005	0.001	0.1
200.00	200.00	0.004	0.008	0.002	200.00	0.004	-0.004	0.003	0.1
500.00	500.00	0.005	0.008	0.003	500.00	0.007	0.004	0.004	0.1
1000.00	1000.00	0.004	0.004	0.005	1000.00	0.005	-0.03	-0.002	0.1
2000.00	2000.00	0.009	0.004	0.004	2000.00	0.003	-0.008	-0.01	0.5
3000.00	3000.00	0.015	0.008	0.001	3000.00	0.014	-0.014	-0.01	0.5
3100.00	3100.00	0.19	0.006	0.005	3100.00	0.02	-0.015	-0.018	0.5

**Leyenda**

I: Indicación de la balanza                      ΔL: Carga Incrementada                      E: Error encontrado  
E<sub>0</sub>: Error en cero                                      E<sub>c</sub>: Error corregido                              EMP: Error máximo permitido

**INCERTIDUMBRE EXPANDIDA Y LECTURA CORREGIDA**

Incertidumbre expandida de medición  $U_x = 2 \cdot \sqrt{0.00002 \text{ g}^2 + 0.0000054019412 \text{ R}^2}$



Lectura Corregida  $R_{\text{corregida}} = R + 211420822081 \cdot R$

R: Indicación de lectura de balanza [ g ]

**Observaciones**

1. Antes de la calibración no se realizó ningún tipo de ajuste.
2. Los EMP para esta balanza, corresponden para balanzas en uso de funcionamiento no automático de clase de exactitud II según la Norma Metrológica Peruana NMP 003:2009
3. La incertidumbre de la medición ha sido calculada para un nivel de confianza de aproximadamente del 95 % con un factor de cobertura k=2.
4. (\*) Código indicado en una etiqueta adherida al instrumento.
5. Con fines de identificación se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación "CAUBRADO"

**ARSO GROUP S.A.C**  
Ing. Hugo Luis Arévalo Carnica  
METROLOGÍA



**Arsou Group**  
Laboratorio de Metrología

**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN**  
N° 1110-108-2020

Página 1 de 5

Fecha de emisión	2020/10/29
Solicitante	<b>CONSULTORES EN GEOTECNIOA Y MATERIALES SOCIEDAD COMERCIAL DE RESPONSABILIDAD LIMITADA</b>
Dirección	JR. 16 DE DICIEMBRE MZA. A LOTE. 30(JULIACA) PUNO- SAN ROMAN - JULIACA
Instrumento de medición	<b>HORNO DE LABORATORIO</b>
Identificación	1110-108-2020
Marca	ARSOU GROUP
Modelo	HR702
Serie	2102954
Cámara	85 LITROS
Ventilación	NATURAL
Pirómetro	DIGITAL
Procedencia	PERÚ
Ubicación	Laboratorio de CONSULTORES EN GEOTECNIA Y MATERIALES SOCIEDAD COMERCIAL DE RESPONSABILIDAD LIMITADA
Fecha de calibración	2020/10/29
Método/Procedimiento de calibración	- SNM – PC-018 2da Ed. 2009 – Procedimiento para la calibración de medios isotermos con aire como medio termostático. INACAL. - ASTM D 2216, MTC E 108 – Método de ensayo para determinar el contenido de humedad del suelo.

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI)

Los resultados son válidos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento, recalibrar sus instrumentos a intervalos regulares, los cuales deben ser establecidos sobre la base de las características propias del instrumento, sus condiciones de uso, el mantenimiento realizado y conservación del instrumento de medición o de acuerdo a reglamentaciones vigentes.

ARSOU GROUP S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento después de su calibración, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración declarados en este documento.

Este certificado no podrá ser reproducido o difundido parcialmente, excepto con autorización previa por escrito de ARSOU GROUP S.A.C.



**ARSOU GROUP S.A.C**  
*Hugo Luis Arzavalo Carnica*  
**Ing. Hugo Luis Arzavalo Carnica**  
METROLOGÍA

**ARSOU GROUP S.A.C.**  
Asoc. Viv. Las Flores de San Diego Mz C Lote 01, San Martín de Porres, Lima, Perú  
Telf: +51 496-8887 / + 51 301-1680 / Cel: +51 928 196 793 / Cel: +51 925 151 437  
ventas@arsougroup.com  
www.arsougroup.com



**Arsou Group**  
Laboratorio de Metrología

**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN**  
N° 1110-108-2020

Página 2 de 5

**Patrones e Instrumentos auxiliares**

Trazabilidad	Patrón Utilizado	Certificado de Calibración
INACAL	Termómetro con sonda MARCA: EZODO	0545-CLT-2019 - LABORATORIO ACREDITADO CON REGISTRO N° LC-005

**Condiciones ambientales durante la calibración**

Temperatura Ambiental	Inicial: 20,1 °C	Final: 20,5 °C
Humedad Relativa	Inicial: 65 %hr	Final: 65 %hr
Presión Atmosférica	Inicial: 1015 mbar	Final: 1015 mbar

**Resultados**

**TEMPERATURA**

Tiempo (h:mm)	Pirómetro °C	INDICACIONES CORREGIDAS DE CADA TERMOCUPLA ° C										T <sub>Prom.</sub> °C	T <sub>max - T<sub>min</sub></sub> °C	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
0:00	110	111.0	110.8	110.7	111.0	110.3	110.1	110.0	110.5	110.5	110.6	110.5	110.5	1.0
0:02	110	110.5	110.5	111.0	110.6	110.8	110.7	110.5	110.9	110.1	110.4	110.5	110.5	0.9
0:04	110	110.7	110.4	110.6	110.7	110.5	110.4	110.5	110.1	110.5	111.0	110.5	110.5	0.9
0:06	110	110.8	110.9	110.4	110.6	110.7	110.3	110.0	110.6	110.1	110.5	110.5	110.5	0.9
0:08	110	110.5	110.0	110.5	110.5	110.1	110.7	110.2	110.5	110.5	110.7	110.7	110.4	0.7
0:10	110	110.3	110.6	110.8	110.0	110.8	110.1	110.7	110.1	110.5	110.1	110.4	110.4	0.8
0:12	110	110.7	111.0	110.3	110.3	110.5	110.3	110.0	110.1	110.1	110.7	110.4	110.4	1.0
0:14	110	110.6	110.5	110.1	110.3	110.1	110.6	110.2	110.6	110.1	110.9	110.4	110.4	0.8
0:16	110	110.2	110.0	110.2	110.7	110.3	110.3	111.0	110.4	110.3	110.9	110.5	110.5	1.0
0:18	110	110.4	110.3	110.8	110.0	110.7	110.1	110.0	110.8	110.2	110.2	110.4	110.4	0.8
0:20	110	110.1	110.1	110.8	110.9	110.8	110.5	110.7	110.5	111.0	110.7	110.6	110.6	0.9
0:22	110	110.4	110.7	110.7	110.7	110.4	110.1	110.3	110.3	110.5	111.0	110.5	110.5	0.9
0:24	110	110.8	110.4	110.5	110.6	110.0	110.4	110.1	110.5	110.1	110.7	110.4	110.4	0.8
0:26	110	110.3	110.4	110.5	110.3	110.0	110.7	110.9	110.9	110.5	110.7	110.4	110.4	0.7
0:28	110	110.9	110.5	110.1	110.9	110.4	110.7	110.9	110.4	111.0	110.7	110.7	110.7	0.9
0:30	110	110.4	110.2	110.0	110.7	110.9	110.2	110.4	110.0	110.2	110.9	110.4	110.4	0.9
0:32	110	110.7	110.5	110.4	110.7	110.7	110.4	110.3	110.4	110.7	110.5	110.6	110.6	0.4
0:34	110	110.5	110.1	110.5	110.5	110.3	110.5	110.1	110.7	110.0	110.6	110.4	110.4	0.7
0:36	110	110.8	110.7	110.7	110.6	110.4	110.8	110.5	110.2	110.1	110.4	110.5	110.5	0.7
0:38	110	110.5	110.1	110.5	110.9	110.5	110.6	110.7	110.2	110.4	110.4	110.5	110.5	0.8
0:40	110	110.2	111.0	110.4	110.2	110.9	110.5	110.5	110.5	110.5	110.3	110.5	110.5	0.8
0:42	110	110.0	110.5	110.8	110.8	110.3	110.3	110.1	110.1	110.1	110.9	110.4	110.4	0.9
0:44	110	110.1	110.6	111.0	110.9	110.3	110.9	110.6	110.2	110.5	110.7	110.6	110.6	0.9
0:46	110	110.2	110.5	110.2	110.4	110.4	110.7	110.8	110.3	110.3	111.0	110.5	110.4	0.8
0:48	110	110.1	110.8	110.1	110.8	110.7	110.4	110.6	110.0	110.4	110.5	110.4	110.4	0.8
0:50	110	110.8	110.8	110.4	110.7	110.7	110.2	110.8	111.0	110.1	110.5	110.6	110.6	0.9
T. PROM.	110	110.5	110.5	110.5	110.6	110.5	110.4	110.5	110.4	110.4	110.6	110.5	110.5	
T. MAX.	110	111.0	111.0	111.0	111.0	110.9	110.9	111.0	111.0	111.0	111.0	111.0	111.0	
T. MIN.	110	110.0	110.0	110.0	110.0	110.0	110.1	110.0	110.0	110.0	110.1	110.1	110.1	

**Nomenclatura:**

- T. P Promedio de indicaciones corregidas de los termopares para un instante de tiempo.
- T<sub>max</sub> Diferencia entre máxima y mínima temperatura para un instante de tiempo.
- T. P Promedio de indicaciones corregidas para a cada termocupla durante el tiempo total.
- T. N La Máxima de las indicaciones para cada termocupla durante el tiempo total.
- T. N La Mínima de las indicaciones para cada termocupla durante el tiempo total.

**ARSOU GROUP S.A.C.**

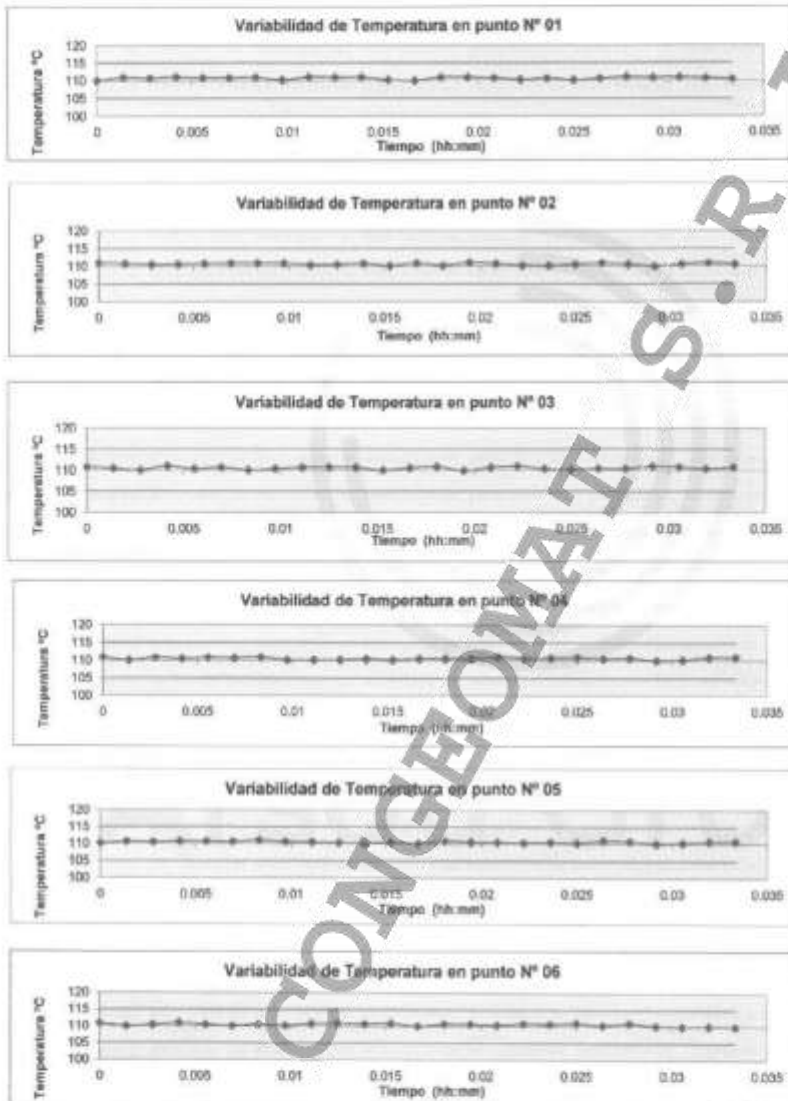
Asoc. Viv. Las Flores de San Diego Mz C Lote 01, San Martín de Porres, Lima, Perú  
Tel: +51 496-8887 / + 51 301-1680 / Cel: +51 928 196 793 / Cel: +51 925 151 437  
ventas@arsougroup.com  
www.arsougroup.com



**ARSOU GROUP S.A.C.**  
Ing. Hugo Luis Arevalo Carnica  
METROLOGÍA



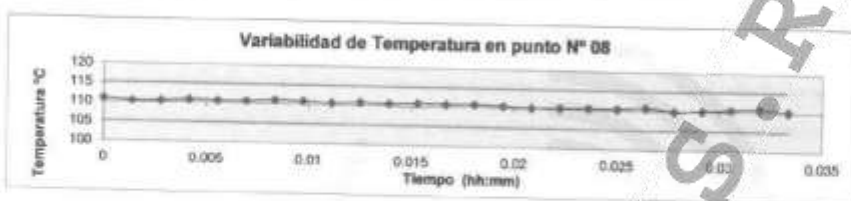
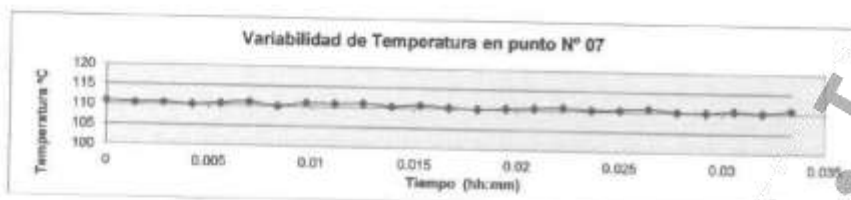
GRÁFICO



ARSOU GROUP S.A.C.  
Asoc. Vlv. Las Flores de San Diego Mz C Lote 01, San Martín de Porres, Lima, Perú  
Telf: +51 496-8887 / + 51 301-1680 / Cel: +51 928 196 793 / Cel: +51 925 151 437  
ventas@arsougroup.com  
www.arsougroup.com

ARSOU GROUP S.A.C.  
Ing. Hugo Luis Arévalo Carnica  
METROLOGÍA





DISTRIBUCIÓN DE LA TEMPERATURA EN EL ESPACIO

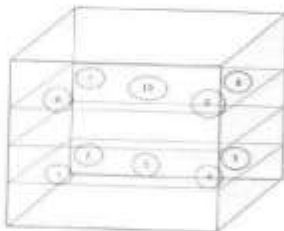


ARSOU GROUP S.A.C.  
Asoc. Viv. Las Flores de San Diego Mz C Lote 01, San Martín de Porres, Lima, Perú  
Telf: +51 496-8887 / +51 301-1680 / Cel: +51 928 196 793 / Cel: +51 925 151 437  
ventas@arsougroup.com  
www.arsougroup.com

ARSOU GROUP S.A.C.  
Ing. Hugo Luis Arevalo Carnice  
METROLOGÍA



GRÁFICO DE DISTRIBUCIÓN DE SENSORES DE TEMPERATURA



PANEL FRONTAL DEL EQUIPO

**Observaciones**

1. Antes de la calibración no se realizó ningún tipo de ajuste.
2. La incertidumbre de la medición ha sido calculada para un nivel de confianza de aproximadamente del 95 % con un factor de cobertura  $k=2$ .
3. (\*) Código indicado en una etiqueta adherida al instrumento.
4. Con fines de identificación se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación "CALIBRADO"

ARSOU GROUP S.A.C.

Ing. Hugo Luis Arevalo Cornejo  
METROLOGÍA



**ARSOU GROUP S.A.C.**

Asoc. Viv. Las Flores de San Diego Mz C Lote 01, San Martín de Porres, Lima, Perú  
Telf: +51 496-8887 / + 51 301-1680 / Cel: +51 928 196 793 / Cel: +51 925 151 437  
ventas@arsougroup.com  
www.arsougroup.com

## ANEXO 03: Autorización para uso del software “Geosoft PAVCO 3.0”

8/8/2021

Formulario de Registro Geosoft Pavco v3.0



Gracias por registrarse. Ahora puede descargar el software [\[VERSION DE 32 BITS\]](#) - [\[VERSION DE 64 BITS\]](#) .

La llave de activación es requerida únicamente si luego de instalar el software, no es posible establecer conexión con el servidor, bien sea por configuración interna del equipo o la red.

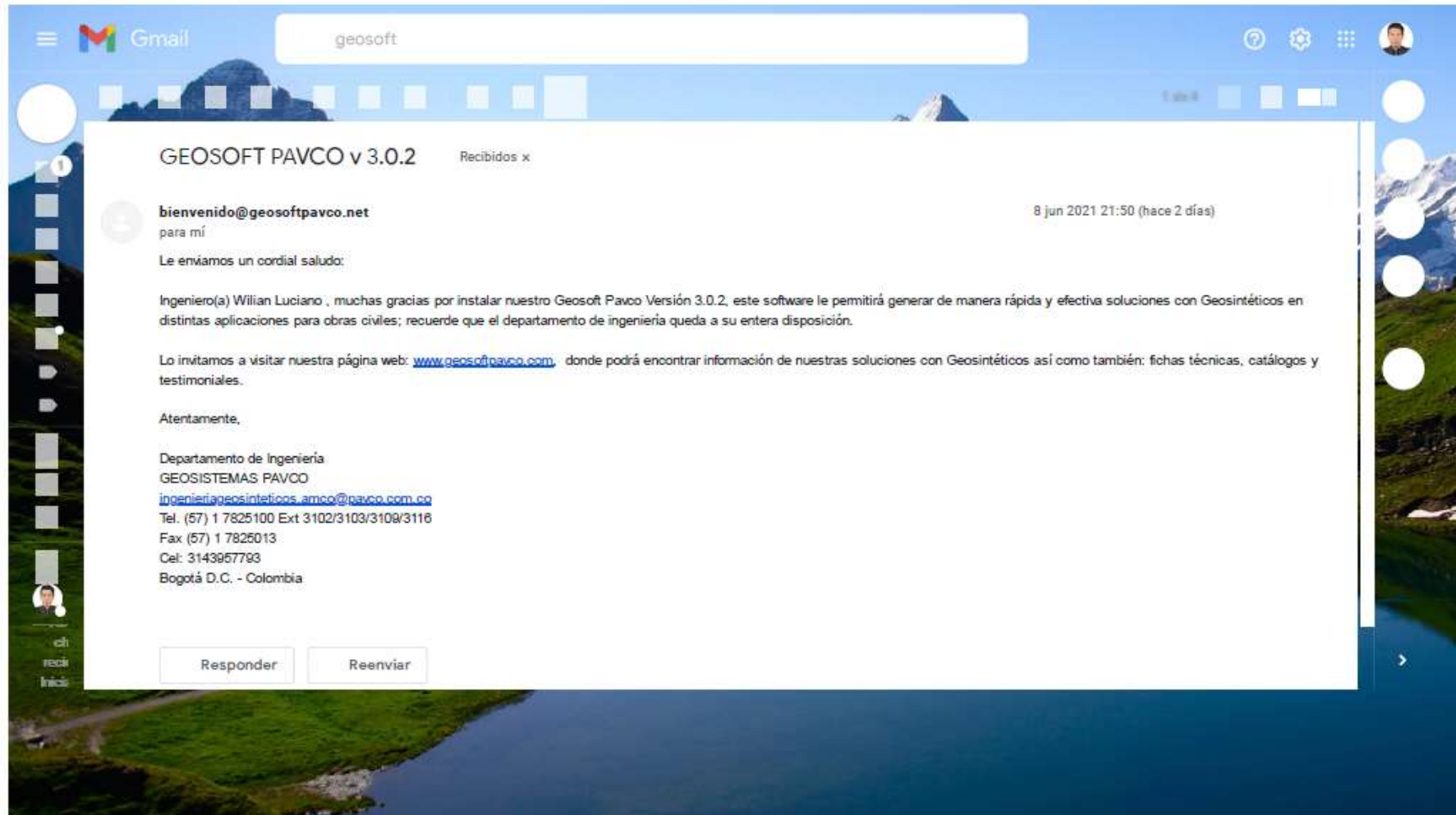
Para instalarla, luego de haber instalado el programa, ubique la llave en el directorio en el que fue instalado el geosoft (usualmente es "C:\Program Files\Geosoft PAVCO 3.0")

Para obtener la llave por favor dirjase al siguiente link:

[Obtener llave de activación](#)

[Volver al menu principal](#)

[www.geosoftpavco.com/download.php](http://www.geosoftpavco.com/download.php)



<https://mail.google.com/mail/u/0/#search/geosoft/FMfcgzGkXmWjmBjdGqGgfKnKVxCGvQjx> 1/1

**ANEXO 04:** Fotos de Levantamiento topográfico In-Situ y extracción de muestra de relave.



**Figura 31:** Levantamiento topográfico

**Fuente:** Elaboración propia



**Figura 32:** Levantamiento topográfico

**Fuente:** Elaboración propia



**Figura 33:** Toma de muestra de relave en la zona minera de Sina

**Fuente:** Elaboración propia



**Figura 34:** Muestra de relave (se coloca celular para referencia de escala)

**Fuente:** Elaboración propia

## **ANEXO 05:** Guía de instalación y proceso constructivo.

El objetivo principal de esta etapa del proyecto es describir, dotar de una imagen real y comentar el proceso constructivo de la instalación de geomembrana de polietileno HDPE, geotextil no tejido y componentes para la impermeabilización de depósito para relaves producto de la minería en el distrito de Sina – Puno.

El orden de ejecución y el procedimiento es el siguiente:

### **1. TRABAJOS PRELIMINARES**

Los trabajos preliminares son actividades que se realizan antes del tendido de geomembrana y componentes a fin de obtener un resultado adecuado minimizando el desperdicio de geomembrana, las cuales se nos entregan en rollos, minimizar las imperfecciones y dar soporte al personal de campo y así realizar los trabajos de forma racional y coherente. (IGS Perú, 2010)

#### **1.1. Planos de instalación de paneles**

##### **Descripción de la partida:**

Los planos como en todo trabajo de ingeniería contienen toda la información necesaria para poder construir y/o ejecutar el proyecto; Son necesarias para poder iniciar las obras, estos dependiendo del proyecto contienen más o menos hojas en diferentes formatos con su respectiva codificación; Pueden incluir cálculos sobre topografía, planta, en este caso la distribución de paneles, leyendas de símbolos, los cimientos y muchos más detalles.

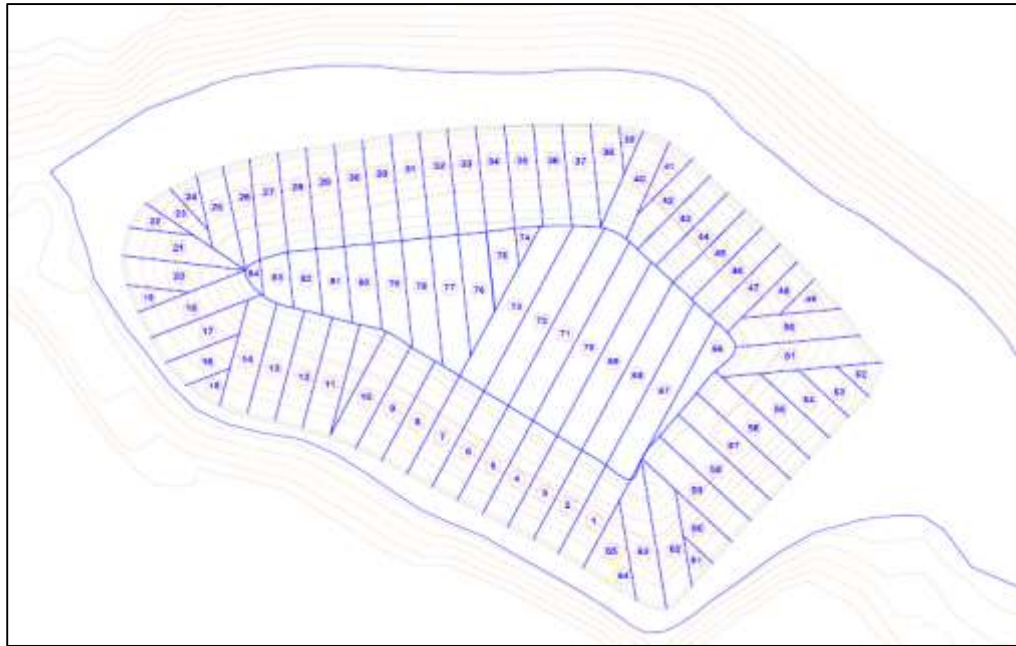
##### **Materiales y equipos:**

Papel en formato adecuado,

##### **Método de ejecución de la partida:**

En este caso particular data de los planos de paneles de geomembrana:

- La colocación de los paneles de geomembrana debe ser planeada con la finalidad de minimizar los encuentros de soldadura.
- El traslape mínimo será de 1,00m al pie del talud la cual se da en el fondo del vaso (en el encuentro talud y piso) (Fig. 26).



**Figura 35:** Plano de distribución de paneles de geomembrana

**Fuente:** Elaboración propia

**Control:**

Estas son revisadas por el responsable de la instalación ya sea ingeniero, técnico o maestro de obra, en el proyecto todos los paneles deben de ser previamente numerados a su vez planeadas con apoyo de un topógrafo. La tarea de planos para instalación consiste en realizar una codificación y trazo adecuado en campo.

El técnico instalador y profesionales encargados deberán evaluar la distribución de paneles según plano y contrastan en plazo (in situ) realizando un replanteo de tal forma que se minimicen los desperdicios.

**1.2. Señalización temporal de seguridad**

**Descripción de la partida:**

Se considera la instalación de señales de seguridad, con el objeto de disponer prohibiciones, obligaciones e informar; esto de conformidad con la norma G.050 Seguridad durante la construcción del Reglamento Nacional de Edificaciones.

**Materiales y equipos:**

Carteles y/o letreros, balizas, vallas, cadenas, sirena, otros.



### **Método de ejecución de la partida:**

Según se desarrolle los trabajos y los riesgos emerjan se deben implementar más parámetros de seguridad tales como: carteles y/o letreros, balizas, vallas, cadenas, sirena, otros. Señales que deberán cumplir lo indicado en el Código Internacional de Señales de Seguridad.

Esto para cuidar el material geosintético, evitar accidentes tanto del personal obrero, técnico e inclusive los equipos.



**Figura 36:** Señalización de seguridad

Fuente: Internet

### **Control:**

El Ejecutor de obra con el visto bueno del supervisor de obra deberá señalar los sitios indicados según planos de seguridad o señalización de seguridad brindada por el responsable de seguridad, de conformidad con los parámetros que este caso particular amerite.

## **1.3. Trazo, niveles y replanteo**

### **Descripción de la partida:**

El trazo y replanteo dentro de la Construcción, refiere en llevar al terreno los ejes y niveles establecidos en los planos, que permitirán ejecutar el movimiento de tierras tales como la excavación de zanja de anclaje. El replanteo refiere las modificaciones que se pudieran dar en cuanto a medidas ya sean por distancia o altura de todos los elementos que se detallan en los planos generales y de detalles.

**Materiales y equipos:**

Estación total, Nivel, Mira, cordeles, plomadas de albañil, reglas de madera, estacas, martillo y otros; yeso, tiza, libretas, lápiz de carpintero.

**Método de ejecución de la partida:**

Los ejes, distancias, alturas deberán ser fijados permanentemente en el terreno por señales fijas tales como varillas de acero empotradas en el piso, yeso en superficies de piso, según indiquen los planos.



**Figura 37:** Trazo en superficie de terreno

Fuente: Internet

**Control:**

Es función de la supervisión ejercer un control permanente de los trabajos, a fin de asegurar que el proyecto sea llevado fielmente a la infraestructura en ejecución.

**2. PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE:**

La superficie donde se va a extender el geotextil y geomembrana deberá estar limpia, seca, regularizada y libre de cualesquiera objetos que puedan dañar la geomembrana. El técnico-instalador junto con el ingeniero residente deberá reconocer toda la superficie de terreno y no permitir el tendido de los paneles hasta que las mínimas condiciones aceptables sean cumplidas. Se eliminará cualquier material así no se encuentre directamente en la superficie del terreno, ya que esto puede perjudicar en alguna forma a los obreros y los equipos. (IGS Perú, 2010).



**Figura 38:** Preparación de superficie.

Fuente: internet

## **2.1. Excavación de zanja de anclaje**

### **Descripción de la partida:**

Comprende el corte de terreno normalmente de forma lineal con una profundidad en este caso de 0.30 x un ancho de 0.30m, Este trabajo se realiza con herramientas manuales tales como pala y pico. En todos los trabajos de excavación las condiciones de la herramienta de ser aprobado por el supervisor.

### **Materiales y equipos:**

Herramientas manuales como pico y pala.

### **Método de ejecución de la partida:**

Antes del tendido de geomembrana y geotextil se deberá aprobar las dimensiones de la excavación; asimismo no se permitirá realizar zanjas sobre material que no tenga una consolidación adecuada.

El fondo de la zanja de anclaje debe quedar limpio y parejo, también se deberá compactar el material suelto en caso se haya excedido en la profundidad de la excavación, de ninguna forma se permitirá relleno con material suelto.

El material excavado que sea útil para otros trabajos tales como rellenos, nivelaciones, etc. deberá ser distribuido a lo largo de la plataforma en cantidad suficiente de tal forma que no estorbe en la ejecución de otros trabajos. El material excedente será eliminado según indicaciones del residente de obra.



**Figura 39:** Zanja de anclaje

Fuente: elaboración propia

**Control:**

El Supervisor verificara las dimensiones indicadas en los planos sean de tamaño exacto al diseño de estas.

**2.2. Limpieza de terreno manual**

**Descripción de la partida:**

Comprende la limpieza manual de tipo superficial retirando toda obstrucción que hubiera hasta 0,001 m por debajo o encima del nivel de la cota indicada en los planos.

**Materiales y equipos:**

Herramientas manuales

**Método de ejecución de la partida:**

En este rubro se efectuara la eliminación de basura, eliminación de elementos sueltos, livianos y pesados existentes en toda la superficie del terreno, destinado a la obra, así como la extracción de piedrillas que sobresalgan el trazo del talud.



**Figura 40:** Limpieza de terreno manual

Fuente: elaboración propia

**Control:**

Es el supervisor el único autorizado para dar por aprobado la partida para el posterior tendido de del geotextil y geomembrana.

**3. MOVILIZACIÓN DESPLIEGUE Y SUJECIÓN DE GEOMEMBRANA Y GEOTEXTIL**

**3.1. Despliegue de geotextil y geomembrana**

**Descripción de la partida:**

Este trabajo consiste en desplegar la geomembrana en la superficie del terreno la cual previamente ha sido limpiada, nivelada, por lo que está libre de cualquier material extraño que pudiese dañar a la geomembrana, ya que partículas extrañas significan un riesgo para la manipulación de esta; Por lo general esta superficie está expuesta a la intemperie, a los fenómenos naturales como ráfagas de viento, lluvias o condiciones de terreno que hacen difícil la maniobrabilidad del material a desplegar, por lo que se debe de tomar las previsiones del caso.

**Materiales y equipos:**

El Despliegue de la geomembrana HDPE deberá realizarse con apoyo de un camión grúa o excavadora mediante barras de despliegue de manera que faciliten el desenrollado y se pueda minimizar el contacto de la geomembrana con el suelo y evitar la fricción.

### **Método de ejecución de la partida:**

Para el despliegue de paneles se debe tener en cuenta:

La superficie de apoyo que debe estar en condiciones óptimas.

- La accesibilidad y transitabilidad en el terreno.
- Dirección y orientación del traslape entre paneles.
- No fumar o hacer fuego cerca a los geosintéticos.
- Que los zapatos no ocasionen daños a los geosintéticos.
- La dirección y velocidad del viento.
- Las condiciones favorables y desfavorables del clima.
- El anclaje temporal se debe realizar con sacos de arena.
- El equipo utilizado en el despliegue no debe de dañar la superficie de terreno.



**Figura 41:** Despliegue de geotextil y geomembrana

Fuente: elaboración propia



**Figura 42:** Despliegue y tendido de geomembrana

Fuente: elaboración propia

El personal tiene que estar capacitado mínimamente en el cuidado de los geosintéticos.

**Control:**

El supervisor de obra es el encargado de supervisar el despliegue y colocación in-situ de las láminas de geomembrana.

**3.2. Sujeción en cresta con sacos**

**Descripción de la partida:**

Se refiere a la sujeción temporal de paneles en la superficie del vaso de relavera, con la finalidad de dar forma y anclar temporalmente los paneles para su posterior soldadura.

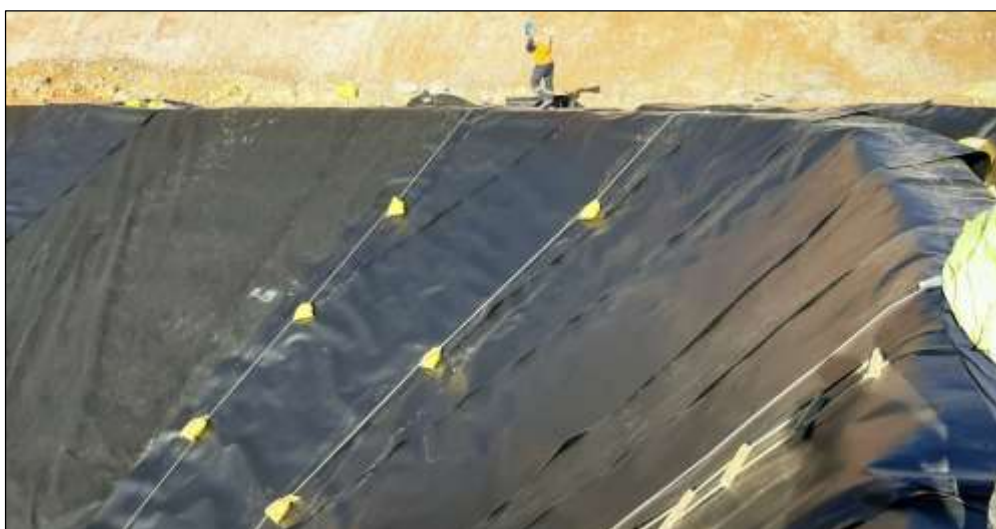
**Materiales y equipos:**

(Sacos rellenos con material cascajo, arena o de uso temporal)

**Método de ejecución de la partida:**

Antes de cortar las láminas se colocarán sacos con arena, para la sujeción en la cresta de la zanja, la parte lateral de la lámina que queda en el talud será sujetadas y/o presionadas con sogas, también se colocaran sacos en la base para darle forma al vaso, estos sacos deberán estar espaciados a cada metro.

Todo el geosintético utilizado en el trabajo del día deberá quedar soldado y/o termofusionado, debidamente anclado y asegurado con los sacos de lastre. Tomando como regla: “panel instalado igual a panel soldado”.



**Figura 43:** Sujeción en cresta, talud y base.

Fuente: elaboración propia



**Figura 44:** Preparación de saquillos miner para sujeción

Fuente: elaboración propia

**Control:**

La supervisión es el encargado de aprobar el trabajo antes de la termofusión de los paneles de geomembrana.

**4. TERMOFUSIÓN DE GEOTEXTIL**

**Descripción de la partida:**

Consiste en la termofusión de un panel de geotextil con otro panel mediante aire caliente graduada a una determinada temperatura.

**Materiales y equipos:**

Pistola de aire caliente, rodillo de silicona de 40 mm., Tobera con solapa de 40mm., destornillador punta roma. Existen tamaños y formas específicos para la justa de detalles, para las juntas longitudinales y transversales las boquillas de 40mm son las más adecuadas



**Figura 45:** Pistola de aire caliente (Modelo clásico)

Fuente: Internet



### **Método de ejecución de la partida:**

Una vez que tenemos el equipo preparado procedemos a extender los rollos, dejamos un solape mínimo de 5 cm, y con equipo semiautomático mínimo de 10 cm, de este modo la fijación quedara totalmente cubierta, es conveniente fijar la laminada dando unos puntos de soldadura en el eje del tramo; se introduce la boquilla entre las dos laminas en un Angulo de 45°, se desplaza el soldador de forma continua, al mismo tiempo se presiona con el rodillo dando el golpe hacia adelante para evitar la formación de arrugas, la aparición de una franja brillante y un ligero humo blanquecino son indicativos de una correcta soldadura.

Una vez realizado la junta, se comprueba con un destornillador punta roma que no haya quedado partes sin soldar.

Para realizar la termofusión con equipo semimecanico es similar a la forma manual, con la diferencia que se debe establecer la velocidad de trabajo, a una temperatura ambiente de 25°C y con una boquilla de 40 mm lo recomendada es de 560°C y con una velocidad de 4,5 m/min

Las juntas en T, es recomendable soldar primero las uniones transversales y posterior las uniones longitudinales, al soldar se pone especial atención en el escalón de la soldadura anterior, nunca deben de encontrarse 4 láminas en el mismo punto.



**Figura 46:** Termofusión con pistola de aire

**Fuente:** elaboración propia



**Figura 47:** Termofusión con aire caliente

**Fuente:** elaboración propia

### **Control:**

El supervisor es el encargado de dar el V°B° de la unión fusionada, tomando en consideración la temperatura de aire caliente que se emplea para este trabajo.

## **5. SOLADURA Y TERMOFUSIÓN DE GEOMEMBRANA**

La unión de geomembrana consiste en juntar paneles dando lugar a la formación de un único revestimiento e impermeabilizando en toda el área requerida.

Para realizar la soldadura, termofusión y reparaciones de geomembrana se conocen dos procesos: la de fusión simple (termofusión) utilizando equipos de termofusión (maquina cuña) y de extrusión con equipos que adicionan y crean un relieve (maquina extrusora).

El traslape entre los paneles a soldar debe de ser el adecuado de acuerdo

### **5.1. Soldadura por Termofusión**

#### **Descripción de la partida:**

Este proceso se utiliza para la unión de dos paneles de geomembrana libres con espacio amplio para trabajar, (fig. 52, fig. 53), colocando un trazo previo para mantener la horizontalidad. De ninguna forma esta será usada para parchar o realizar trabajos de detalle.

**Materiales y equipos:**

Este trabajo se realiza con un equipo denominado de “cuña caliente” estas están equipadas “Split wedge” (cuñas divididas).

**Método de ejecución de la partida:**

“Split wedge” (cuñas divididas), estas cuñas presionan en dos partes de forma paralela dejan un canal de aire, este canal de aire nos permitirá realizar los ensayos y pruebas aplicando presión de aire a la junta termo fusionada (soldada). Ver figura N° 24.

Según a la temperatura que se programe, a la presión que se ejerza, esto sumando la velocidad que se utilice, hacen que la soldadura y/o termofusión sea sencilla. Ver figura N° 25.

El equipo de soldadura para termofusión al ser mecánico y eléctrico es auto propulsado mediante rodillos escalonados que con el ajuste adecuado entre sí originan una tracción positiva de avance y una presión para soldar. Además se resalta que está equipado de una cuña caliente, un controlador de velocidad y un controlador de temperatura para una correcta termofusión (soldadura).

Para realizar la termofusión simple se debe tomar en consideración las recomendaciones siguientes:

- Para asegurar una adecuada adherencia, el área de la lámina de geomembrana donde se va a realizar la termofusión debe estar limpia y seca y caliente en lo posible.
- Debido a los efectos negativos que pueden ser causados por factores climáticos como el viento, el agua la neblina, lluvia y otros al final de cada jornada de trabajo ya sea turno mañana o turno noche todas las costuras deberán ser soldadas,
- Los traslapes entre uno y otro panel de geomembrana deben seguir una dirección en línea recta.
- Siempre es preferible realizar las uniones por fusión simple con cuña caliente, antes que las uniones por extrusión.
- Para la instalación de geomembrana se debe tomar también en consideración que al final de cada jornada (turno) no debe de haber

tención entre una y otra lamina a medio soldar, debido a que estos puntos sometidos a tensión pueden constituir posibles fallas.



**Figura 48:** Codificación de soldadura por termofusión

Fuente: Elaboración propia



**Figura 49:** Soldadura con cuña caliente

Fuente: Elaboración propia

### **Control:**

El supervisor es el autorizado para solicitar muestras del trabajo señalando cualquier lugar del tramo soldado para su posterior ensayo; Cabe resaltar que antes de esta instalación se deben de realizar pruebas destructivas para determinar la temperatura y velocidad adecuada.

## 5.2. Soldadura por Extrusión

### Descripción de la partida:

Se utiliza esta técnica específicamente para detalles especiales y reparaciones de parchado en geomembranas.

La extrusión es muy útil en caso un proyecto con geomembranas ya esté concluido y se pretenda aumentar una lámina así sea un trozo, para esto solo basta tener un borde libre (Tie-in). En la fig. N°49, podemos observar una sección típica transversal de la soldadura por extrusión.

El La extrusora tiene componentes tales como controlador de temperatura con propulsión manual y utiliza un cordón como material adicional para realizar la soldadura dejando un alto relieve. Ver figura N° 26.

### Materiales y equipos:

Cordón para soldaduras HDPE (4mm, 5mm) p/geomembrana, Extrusora.



**Figura 50:** Extrusora Modelo típico

Fuente: MM-Tech (página web de internet)

### Método de ejecución de la partida:

Para realizar los trabajos de soldadura por extrusión se recomienda los siguientes aspectos:

- El traslape mínimo entre dos láminas de geomembrana debe ser de 15 cm. (6.0 Pulg.).

- En caso se desee realizar un parche el borde de la lámina debe exceder en 15 cm. a la lámina a la cual se desea parchar, esta debe de ser previamente lijado.
- 30 cm x 30 cm. es lo mínimo que se debe usar en caso se desea realizar un parche, se le adiciona un cable de cobre para pruebas.



**Figura 51:** Soldadura por extrusión

Fuente: elaboración propia



**Figura 52:** Lijado e incorporación de cable de cobre para termofusión por extrusión

Fuente: Elaboración propia

### **Control:**

El supervisor es el autorizado para solicitar muestras del trabajo señalando cualquier lugar del tramo soldado para su posterior ensayo; Cabe resaltar que antes de esta instalación se deben de realizar pruebas destructivas para determinar la temperatura y velocidad adecuada.

## 6. CODIFICACIÓN A PLIEGUES DE GEOMEMBRANA

### Descripción de la partida:

Para la identificación y realizar el control respectivo se debe de codificar todos los paneles, a su vez la termofusión realizada por soldadura de aire caliente, soldadura de cuña caliente y soldadura por extrusión, tanto en geomembrana y geotextil.

### Materiales y equipos:

Corrector o plumón con tinta blanca, cinta masking, revisar datos técnicos del equipo.

### Método de ejecución de la partida:

- Para láminas de geotextil se codifican en el lugar instalado. Cada panel bordeado por soldadura se le pone una codificación.

- Para láminas de Geomembrana

Primero: las láminas se codifican en la superficie instalada

Segundo: Se toman muestras realizando corte de las uniones soldadas, estas son de 100 cm, la cual se parte en 3 pedazos, de 2 de 0.30m y una de 0.40m. Se separa una muestra de 0.40m para realizar los ensayos y las otros dos la guardan el instalador y el supervisor.

Estas se cortan en trozos de 1 Pulg X 6 pulg, las cuales se codifican para determinar la calidad de soldadura del eje en mención.

Los datos consignados son:

- N° de panel : P-13/14
- Código de equipo (MQ) : 216-17
- Temperatura ambiente : 20°C
- Temperatura equipo : 230°C
- Espesor de geomembrana : 1.5 mm
- Fecha : 06/05/2021
- Hora/minuto : 02:15
- Tc am/pm : Pm



**Figura 53:** Codificación de paneles de geomembrana (Ejemplo)

Fuente: Elaboración propia



**Figura 54:** Codificación a muestras de termofusión por cuña y extrusión

Fuente: Elaboración propia

### **Control:**

Es supervisor es el encargado de aprobar las codificaciones en los paneles instalados en la superficie, a su vez es el encargado de señalar en que ejes y tramos de la soldadura se va a obtener la muestra para su codificación y posterior ensayo.

## **7. VERIFICACIÓN Y REPARACIÓN DE GEOMEMBRANA**

### **Descripción de la partida:**

Se deberá verificar todas las soldaduras ya sea por cuña caliente o extrusora, de igual forma se revisara las áreas libres del panel o lámina de geomembrana para identificar posibles fallas por agentes externos. Una



vez identificada las fallas deberán ser marcadas con un marcador visible e indeleble para ser analizadas y reparadas por extrusión.

### **Materiales y equipos:**

Extrusora, cordón HDPE para geomembrana, cúter punta de loro, cúter con cuchilla normal, regla de aluminio, cable de bronce, lijar, Herramientas de limpieza.

Equipos para pruebas no destructivas, tales como prueba de aire, chispa eléctrica.

### **Método de ejecución de la partida:**

De acuerdo a las características de la falla en la geomembrana; la reparación se puede realizar de 3 formas:

#### ➤ **Alto relieve con cordón extruido directamente sobre la geomembrana**

Este tipo de reparaciones es más sencilla y se utiliza en puntos afectados de mínimo tamaño, esto provocado por alguna piedra angular, o similar.

Para este tipo de reparaciones se utiliza la extrusora, se debe efectuar una limpieza y un lijado manual de la superficie y se vierte el cordón calentado con la extrusora directo sobre la rotura.

#### ➤ **Parches**

Los parches se realizan con un pedazo de la misma geomembrana con la que se está trabajando; Estos parches se utilizan sobre roturas, perforaciones, desgarros, defectos de la geomembrana por presencia de material extraño, etc. Para reparar un defecto deberá ser previamente acondicionado con lijado de los bordes, redondeo de las aristas y puntas rectas, eliminación del material extraño, relleno y/o retiro de material en exceso y se le debe adicionar un cable de cobre en el borde del parche antes de realizar los trabajos con la extrusora.

Los parches deben de tener las siguientes características:

- ✓ El parche debe de ser del mismo material que la geomembrana.
- ✓ Con un cúter tipo loro se debe redondear las puntas.

- ✓ El tamaño del parche depende del tamaño de la abertura, y esta como mínimo debe de tener 15 cm. desde el borde del parche hacia el interior de la misma, colocada sobre la geomembrana a reparar.
- ✓ usando el esmeril se debe lijar el borde del parche y el perímetro de la lámina a ser reparada de tal forma que quede áspera o rugosa, siempre evitando el exceso de lijado para no debilitar la lámina de geomembrana.
- ✓ El enfriamiento de la soldadura debe darse de forma natural, no se debe enfriar con agentes extraños o con trapos húmedos.

➤ **Huinchas (Caps)**

Para reparaciones de huinchas por lo general se utiliza la cuña caliente ya q estas huinchas son de dimensiones muy grandes por lo que hay que reemplazar una porción grande de la geomembrana base. Adicional a esto se debe sellar los extremos con una extrusora o un parche simple dependiendo del riesgo que esta pudiese dar.

Las huinchas obligarse a tener un ancho mínimo de 60 cm., libres entre una unión y la otra, Se debe de prever que no haya recalentamiento excesivo en el material a reparar.

**Control:**

**Verificación de reparaciones**

Una vez realizado las reparaciones ya sea por cuña caliente o extrusión deberán ser sometidas a ensayos no Destructivos, ensayo que garantiza que se realizó un buen trabajo.

El supervisor es el encargado de aprobar las reparaciones.

## **8. RELLENO, NIVELACIÓN Y COMPACTACIÓN DE ZANJAS**

**Descripción de la partida:**

La nivelación interior del terreno, deberá realizarse después del relleno al nivel de la cresta del dique; este relleno se realizara con arena o el mismo material producto de la excavación de acuerdo al diseño, posterior a esto deberá ser compactado.

**Materiales y equipos:**

Herramientas manuales como pala y pico, Plancha compactadora

### **Método de ejecución de la partida:**

Estos rellenos deberán ser adecuadamente compactados de modo que sus características mecánicas sean similares a las del terreno primitivo.

- El relleno deberá estar libre de raíces, plantas, material orgánico, etc.
- El material se colocará y compactará en capas uniformes de 20 cm, deberá llegar a la cota establecida por topografía, el cual debe de ser la misma que la creta de dique.
- En caso de que se trabaje con arena, este es un material granular la compactación deberá alcanzar la densidad mínima de 80% del Proctor Standard.
- La humedad del material será de  $\pm 2\%$  respecto al material primitivo.



**Figura 55:** Compactación de zanjas de anclaje

Fuente: Elaboración propia

### **Control:**

La norma nos indica que todo material que se usa para relleno deberá ser granular bien graduado de acuerdo a diseño en caso tuviese, aprobado por la supervisión y esta no deberá contener material orgánico, no deberá ser turba ni deberá contener elementos alteración el material seleccionado.

## **9. INSTALACIÓN Y SUMINISTRO DE TUBERÍAS HDPE PARA DRENAJE DE AGUAS**

### **9.1. Suministro de tubería perforada HDPE CPT (tipo SP) de 4" y 6 " diámetro**

#### **Descripción de la partida:**

Corresponden al suministro de tuberías CPT del tipo estructural "SP" (doble pared) se utilizarán para conformar el sistema de drenaje de aguas de

infiltración. Se utilizarán tuberías HDPE de 6" para colección y tubería HDPE de 4" para las quenas.

La salida de subdrenos de relavera a poza de colección deberá ser de tubería sólida HDPE SDR 21 de 6" de diámetro.

### Materiales y equipos:

Tuberías HDPE de 4", 6" acoples y otros, herramientas manuales.

**Tabla 23:** Relación estándar de dimensión para tuberías HDPE

		(1) Relación estándar de dimensión SDR																					
		37.5		21		21		17		15.5		13.5		11		9.3		9		8.3		7.3	
Procedo de	PE-3008	51	64	80	100	110	126	136	150	160	200	241	250	274	317	325	350	375	400	425	450	475	500
Tubería (Pulg.)	PE-4710	63	80	100	125	136	150	160	180	200	241	250	274	317	325	350	375	400	425	450	475	500	525
DN (Pulg.)	DN Equiv (mm)	e min (mm)	Peso prom. Kg/m	e min (mm)	Peso prom. Kg/m	e min (mm)	Peso prom. Kg/m	e min (mm)	Peso prom. Kg/m	e min (mm)	Peso prom. Kg/m	e min (mm)	Peso prom. Kg/m	e min (mm)	Peso prom. Kg/m	e min (mm)	Peso prom. Kg/m	e min (mm)	Peso prom. Kg/m	e min (mm)	Peso prom. Kg/m	e min (mm)	Peso prom. Kg/m
2"	50.8	-	-	2.8	0.42	2.9	0.52	3.6	0.65	3.9	0.69	4.5	0.79	5.5	0.95	6.5	1.11	6.7	1.14	7.3	1.21	8.3	1.35
3	76.2	2.7	0.76	3.4	0.94	4.2	1.15	5.2	1.40	5.7	1.52	6.6	1.73	8.1	2.08	9.6	2.41	9.9	2.48	10.7	2.66	12.2	2.96
4	114.3	3.5	1.24	4.4	1.54	5.4	1.89	6.7	2.31	7.4	2.52	8.5	2.86	10.4	3.44	12.3	3.98	12.7	4.10	13.8	4.40	15.7	4.90
5	136.5	4.2	1.77	5.3	2.21	6.5	2.70	8.0	3.29	8.8	3.59	10.1	4.70	12.4	4.90	14.7	5.68	15.2	5.85	16.4	6.27	18.7	6.98
5 1/8	141.3	4.3	1.80	5.4	2.38	6.7	2.89	8.3	3.53	9.1	3.84	10.5	4.96	12.8	5.25	15.2	6.09	15.7	6.27	17.0	6.72	19.4	7.48
6	168.3	5.2	2.70	6.5	3.35	8.0	4.10	9.9	5.00	10.9	5.45	12.5	6.19	15.3	7.45	18.1	8.64	18.7	8.89	20.3	9.53	23.1	10.61
7	181.0	5.6	3.12	7.0	3.87	8.6	4.75	10.7	5.80	11.7	6.31	13.4	7.16	16.5	8.62	19.5	9.98	20.1	10.28	21.8	11.02	24.8	12.28
8	219.1	6.7	4.57	8.4	5.68	10.4	6.95	12.9	8.48	14.1	9.24	16.2	10.49	19.9	12.63	23.6	14.64	24.3	14.79	26.4	16.15	30.0	17.99
10	273.1	8.4	7.12	10.0	8.00	13.0	10.80	16.1	12.87	17.6	14.56	20.2	15.95	24.6	19.62	29.4	22.75	30.3	22.97	32.9	25.09	37.4	27.96
12	323.8	10.0	9.99	12.4	12.39	15.4	14.84	19.1	18.53	20.9	19.85	24.0	22.92	29.4	27.58	34.8	31.96	36.0	32.91	39.0	35.28	44.4	39.30
13	339.7	10.5	11.02	13.1	13.63	16.2	16.72	20.0	20.39	21.9	22.22	25.2	25.23	30.9	30.38	36.5	36.2	37.7	36.22	40.9	38.82	46.5	43.25
14	355.6	10.9	12.07	13.7	14.93	16.9	17.89	20.9	21.84	22.9	23.91	26.3	27.64	32.3	32.60	38.2	38.57	39.5	39.68	42.8	42.54	48.7	47.39
16	406.4	12.5	16.74	15.6	19.51	19.4	23.92	23.9	28.52	26.2	31.8	30.1	35.34	36.9	42.99	43.7	50.36	45.2	51.92	49.0	55.56	56.7	61.90
18	457.2	14.1	19.94	17.6	24.70	21.8	29.58	26.9	36.93	29.5	39.53	33.9	44.73	41.6	54.00	49.2	63.78	50.8	65.60	55.1	70.32	62.6	78.34
20	506.0	15.6	26.00	19.5	29.77	24.2	36.52	29.9	44.58	32.8	48.80	37.8	55.22	46.2	67.88	54.6	78.71	56.4	79.97	61.2	86.80	-	-
21.5	548.1	16.8	28.48	21.0	35.25	26.0	43.20	32.1	52.69	35.2	57.41	40.5	65.19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22	568.8	17.2	29.78	21.5	36.90	26.6	44.18	32.9	53.94	36.1	59.04	41.4	66.90	50.8	82.14	60.1	95.24	62.1	96.63	-	-	-	-
24	609.6	18.7	35.42	23.4	42.87	29.0	51.00	35.9	64.19	39.3	70.27	45.2	79.60	55.4	97.75	65.5	113.35	67.7	115.03	-	-	-	-
26	680.4	20.3	41.08	25.4	51.55	31.4	63.17	38.8	77.05	42.0	85.90	48.9	95.34	60.0	114.72	71.0	133.05	-	-	-	-	-	-
28	711.2	21.9	48.26	27.4	59.79	33.9	73.26	41.8	89.36	45.9	97.57	52.7	110.57	64.7	133.05	76.5	154.26	-	-	-	-	-	-
30	782.0	23.4	55.37	29.3	68.64	36.3	84.10	44.8	102.66	49.2	111.76	56.4	126.93	69.3	152.74	81.9	177.11	-	-	-	-	-	-
32	812.8	25.0	63.03	31.3	78.10	38.7	95.69	47.6	116.72	52.4	127.18	60.2	144.42	73.9	173.76	-	-	-	-	-	-	-	-
34	863.6	26.6	71.12	33.2	88.17	41.1	108.03	50.8	131.76	55.7	143.56	64.0	160.04	78.5	196.19	-	-	-	-	-	-	-	-
36	914.4	28.1	79.78	35.2	98.85	43.5	121.11	53.8	147.72	59.00	160.96	67.7	180.78	83.1	219.95	-	-	-	-	-	-	-	-
42	1068.8	32.8	106.51	41.0	134.48	50.8	164.84	62.8	201.06	68.8	219.09	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
48	1219.2	37.5	141.77	46.9	175.68	58.1	215.31	71.7	260.61	78.7	286.16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
54	1371.6	42.2	179.49	52.6	222.56	65.3	272.43	80.7	330.43	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fuente: Cidelsa

**Tabla 24:** Tuberías corrugadas de doble pared – Primera clase (Tipo A)

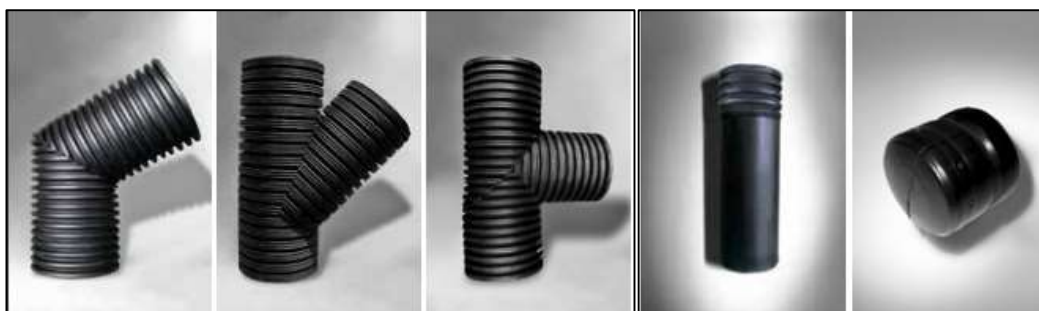
Diámetro Nominal	Diámetro Interior Promedio	Diámetro Exterior Promedio	Espesor de Pared Mínimo	Rigidez del tubo deflexión del 5%	Peso por 20'
4" (100 mm)	3.9" (100 mm)	4.6" (117 mm)	0.6 mm (0.025")	70 psi (485 kN/m²)	11.3 lbs (5.1 Kg)
6" (150 mm)	5.9" (150 mm)	6.8" (170 mm)	0.6 mm (0.025")	65 psi (450 kN/m²)	21.8 lbs (9.90 Kg)
8" (200 mm)	8.0" (200 mm)	9.7" (117 mm)	0.9 mm (0.035")	60 psi (415 kN/m²)	34.8 lbs (15.8 Kg)
12" (300 mm)	11.9" (300 mm)	14.6" (370 mm)	0.9 mm (0.035")	50 psi (350 kN/m²)	66 lbs (30.0 kg)
18" (450 mm)	17.9" (455 mm)	21.6" (550 mm)	1.3 mm (0.051")	40 psi (275 kN/m²)	136 lbs (61.8Kg)
24" (600 mm)	23.9" (605 mm)	28.2" (715 mm)	1.5 mm (0.059")	34 psi (235 kN/m²)	218 lbs (99.1 kg)

Fuente: Cidelsa

### **Método de ejecución de la partida:**

#### **- Almacenaje de la tubería en obra**

Estas deberán ser ordenadas en un almacén adecuado protegido de las inclemencias del clima, por ningún motivo debe dejarse caer tuberías al suelo. Estas deben de ser ordenadas de tal forma que se separen las corrugadas de las lisas y estas de los accesorios, ningún personal deberá caminar sobre estas, el interior de todas las tuberías y accesorios siempre deberán mantenerse libres de basura y materias extraños.



**Figura 56:** Accesorios para tubería HDPE corrugado

Fuente: Cidelsa

#### **- Sistema de unión**

Los acoplamientos son abrazaderas corrugadas, estas deben de coincidir con las corrugaciones de las tuberías HDPE y proporcionar la suficiente resistencia longitudinal para conservar la alineación de la tubería y evitar la separación de las juntas. Los acoplamientos, salvo que se especifiquen conexiones herméticas, deben ser de collar partido y deben enganchar al menos dos corrugaciones completas a cada lado de las tuberías. En este caso particular los acoples deberán ser de 4" y 6".

#### **- Acoples abiertos (Split couplers):**

Son abrazaderas corrugadas en el interior y exterior de tal forma que sujeten al menos 2 corrugaciones a cada lado de las tuberías.



**Figura 57:** Acople abierto para tubería HDPE

Fuente: Cidelsa

- **Sistemas de unión Espiga – Campana**

Este sistema ofrece una serie de ventajas tales como: un sello hermético 100% estanco, alta resistencia a cargas de enterramiento, una instalación rápida a bajo costo, posibilidad de trabajo de acople de espacios reducidos. También nos permite extruir una campana de doble espesor de pared y de alta rigidez.



**Figura 58:** Sistema de unión espiga campana

Fuente: Cidelsa

**Control:**

El supervisor de obra es el encargado de aprobar la calidad de las tuberías y accesorios, según especificaciones del expediente técnico.

**9.2. Instalación de tubería HDPE CPT (tipo SP) de 4" y 6 " diámetro**

**Descripción de la partida:**

Corresponden a la instalación de tuberías CPT (Tipo SP) correspondientes al sistema de drenaje de aguas de infiltración.

Las tuberías se instalarán según indicaciones de planos respetando la horizontalidad, verticalidad y pendiente de diseño. Estas tuberías también deben de adecuarse a las condiciones existentes del terreno.

### **Materiales y equipos:**

Tuberías HDPE lisa, corrugada de doble pared, acoples, accesorios y otros según especificaciones técnicas y planos; Herramientas manuales tales como alicates, desarmador, tortol flexometro y otros.

### **Método de ejecución de la partida:**

Antes de la instalación de tuberías se realiza una revisión de cada fracción de la tubería para determinar si tienen defectos y/o daños.

- Se deberá tener cuidado y revisar las conexiones cada cierto tramo con el fin de prevenir el ingreso de materias extrañas en las tuberías mientras están siendo instaladas.
- Los extremos de la tuberías al ser siempre abiertos de deberán cubrir con tapones temporales u otros medios aprobados.
- El doblado de tuberías para formar curvas ya sean de forma horizontal o vertical no deberá exceder lo recomendado por el fabricante (esto normalmente está inscrito en el catálogo o ficha técnica del material).
- El corte de tuberías para insertar accesorios o piezas de cierre deberá hacerse en forma prolija dejando el extremo liso en ángulo recto de tal forma que no se debe de dañar la tubería.



**Figura 59:** *Ensamble de tubería corrugada*

Fuente: Elaboración propia

### **- Ensamble de tubería corrugada**

Normalmente las tuberías se unen para formar longitudes continuas largas. Por lo que se deberá tener especial cuidado al arrastrar las tuberías hasta su lugar donde se conectara y/o ensamblara con otra

tubería y sólo se permitirá si es que las tuberías no sufren daño. Este ensamble lo realizara personal técnico calificado.



**Figura 60:** Quenas con tubería HDPE (sistema de drenaje de aguas)  
Fuente: Elaboración propia

#### **Control:**

El supervisor de obra es el encargado de aprobar el ensamble de tuberías, pendiente del anillo en perímetro de poza y distribución de quenas, previa revisión de planos.

### **10. POZA DE COLECCIÓN**

#### **Descripción de la partida:**

Está diseñada para captan las aguas acidas provenientes de la relavera; Esta poza de colección también servirá como poza de sedimentación. Las aguas captadas son de flujo de agua contaminada y deberán ser monitoreadas durante la recirculación para el proceso en planta o eliminación en el medio ambiente.

El depósito de relaves “relavera” separa las partículas finas de los líquidos, por lo que estas aguas acidas pasan a un poza de colección por medio de tuberías HDPE; Estas aguas son captadas por quenas, llegando a los colectores dispuestos al interior del depósito de relaves, posterior a esto traspasan el dique o muro de contención a través de una tubería HDPE de 6”, todo esto por gravedad.

#### **Materiales y equipos:**



Geotextil, Geomembrana, equipos de termofusión por cuña caliente y soldadura por extrusión.

**Método de ejecución de la partida:**

Su forma de ejecución es la misma que la impermeabilización de depósito de relaves en menor escala.

La dimensión promedio de una poza de colección para relaveras depende de la magnitud de esta. En este caso se propone 12.00 m. de ancho y 7.00 m de largo con una profundidad de 2.50 m., Esta poza de colección deberá tener taludes internos de 1H: 1V y deberá ser ubicado aguas abajo o propiamente dicho en una cota inferior a la base de la relavera, el interior deberá ser revestidos con una geomembrana de HDPE de 1.5 mm (60 mil) simple texturada protegida por un geotextil no tejido (con las mismas características del diseño para relavera).



**Figura 61:** Poza de colección

Fuente: Elaboración propia

**Control:**

El supervisor de obra es el encargado de aprobar los trabajos de impermeabilización de poza de colección de aguas acidas, el cual deberá realizar el uso de herramientas de control tal cual se impermeabilizo el depósito de relaves.

## ANEXO 06: Pruebas de control de calidad

### “DESTRUCTIVE TEST” ENSAYOS DESTRUCTIVOS

#### 1. Destructivos de Fusión y Extrusión (ASTM D6392)

Estos ensayos determinan las características mecánicas de las uniones soldadas por termofusión o extrusión. El ensayo de muestra destructiva comprende ensayos de resistencia al desgarre y al corte según la Norma ASTM D 6392.

El supervisor de obra deberá solicitar y percatarse que las muestras sean obtenidas a cada 150 m lineales para realizar pruebas destructivas tanto para termofusión con cuña caliente y soldadura con extrusora.

Los ensayos destructivos datan de tomar muestras de la unión soldada la cual ya se efectuó y/o plasmo en el terreno, la muestra deberá ser 30 cm de ancho y 100 cm de largo con la unión en el centro.



**Figura 62:** Ensayo destructivo

Fuente: Elaboración propia

Para estas pruebas destructivas se cortan fragmentos de geomembrana ya termofusionadas en la superficie de terreno, estos Fragmentos deberá tener un largo de 100cm y un ancho mínimo de 30 cm. La muestra se cortara en 3 pedazos (2 pedazos de 30 cm y 1 de 40 cm). El técnico especialista realiza la prueba con el pedazo de 40 cm y deberá

entregar al cliente un pedazo de 30 cm. El fragmento restante se entrega al encargado de control de calidad.



**Figura 63:** Ensayo destructivo

Fuente: Elaboración propia

Del fragmento de 40 cm. se debe cortar 10 fragmentos más de 1.00 Pulg., de ancho y 6.00 Pulg., de largo, de esto 5 Fragmentos serán sometidas al desgarre (Peel), y los otros 5 al ensayo de Corte (Shear). Los fragmentos y/o muestras serán ensayados a través de un tensiómetro a una velocidad de prueba de 2 Pulg/min., en geomembranas de HDPE.



**Figura 64:** Ensayo destructivo

Fuente: Elaboración propia

El criterio de aceptación de la prueba será:

Tabla N° 24: Resistencia de la costura y propiedades relacionadas de las geomembranas de polietileno de alta densidad (HDPE) lisas y texturizadas unidas térmicamente (unidades inglesas)

**Tabla 25: Resistencia a la costura**

Table 1(a) – Seam Strength and Related Properties of Thermally Bonded <b>Smooth and Textured</b> High Density Polyethylene (HDPE) Geomembranes ( <b>English Units</b> )							
Geomembrane Nominal Thickness	30 mils	40 mils	50 mils	60 mils	80 mils	100 mils	120 mils
<b>Hot Wedge Seams<sup>(1)</sup></b>							
shear strength <sup>(2)</sup> , lb/in.	57	80	100	120	160	200	240
shear elongation at break <sup>(3)</sup> , %	50	50	50	50	50	50	50
peel strength <sup>(2)</sup> , lb/in.	45	60	76	91	121	151	181
peel separation, %	25	25	25	25	25	25	25
<b>Extrusion Fillet Seams</b>							
shear strength <sup>(2)</sup> , lb/in.	57	80	100	120	160	200	240
shear elongation at break <sup>(3)</sup> , %	50	50	50	50	50	50	50
peel strength <sup>(2)</sup> , lb/in.	39	52	65	78	104	130	156
peel separation, %	25	25	25	25	25	25	25

Notes for Tables 1(a) and 1(b):  
 1. Also for hot air and ultrasonic seaming methods  
 2. Value listed for shear and peel strengths are for 4 out of 5 test specimens; the 5<sup>th</sup> specimen can be as low as 80% of the listed values  
 3. Elongation measurements should be omitted for field testing

Table 1(b) – Seam Strength and Related Properties of Thermally Bonded <b>Smooth and Textured</b> High Density Polyethylene (HDPE) Geomembranes ( <b>S.I. Units</b> )							
Geomembrane Nominal Thickness	0.75 mm	1.0 mm	1.25 mm	1.5 mm	2.0 mm	2.5 mm	3.0 mm
<b>Hot Wedge Seams<sup>(1)</sup></b>							
shear strength <sup>(2)</sup> , N/25 mm.	250	350	438	525	701	876	1050
shear elongation at break <sup>(3)</sup> , %	50	50	50	50	50	50	50
peel strength <sup>(2)</sup> , N/25 mm	197	263	333	398	530	661	793
peel separation, %	25	25	25	25	25	25	25
<b>Extrusion Fillet Seams</b>							
shear strength <sup>(2)</sup> , N/25 mm	250	350	438	525	701	876	1050
shear elongation at break <sup>(3)</sup> , %	50	50	50	50	50	50	50
peel strength <sup>(2)</sup> , N/25 mm	170	225	285	340	455	570	680
peel separation, %	25	25	25	25	25	25	25

GM19 9 of 13

Rev. 8: 2/12/2015

Fuente: Geosynthetic Institute (Revisión 8: February 12, 2015)

➤ **“SHEAR” Ensayo de Tensión al Corte**

- Para este ensayo la resistencia mínima requerida se calcula en base al 90 % de la resistencia del material base.
- También se realiza una inspección visual en las que se evalúa la amoladura, porosidad, adherencia, limpieza y otros.



**Figura 65:** Ensayo de corte (Shear)

Fuente: GRI-GM19 con imagen de internet

➤ **“PEEL” Ensayo de Tensión al Desgarro**

- En caso de soldaduras por Termofusión (cuña caliente) en este ensayo la resistencia mínima requerida se calcula en base al 70 % de la resistencia del material base y en caso de soldadura por extrusión un 60 % del material base.
- La longitud lineal de pelado debe ser  $< 10\%$  para geomembranas de HDPE.



**Figura 66:** Ensayo de desgarre (Peel)

Fuente: GRI-GM19 con imagen de internet

Se considera apto o aprobado a los ensayos destructivos que cumplan los criterios de aceptación. Si uno o más de los ensayos no cumplen con las especificaciones según lo dispuesto por el instituto de geosintéticos, la prueba se la considera defectuosa.

En caso de no cumplir con los parámetros óptimos de aceptación, se deberá obligar a realizar lo siguiente:

- Se debe realizar nuevos ensayos con el procedimiento antes descrito para lo cual se extraerá 3 muestras a una distancia de 3.00 m. aproximado, ensayadas las muestras se verificar su aceptación o rechazo.
  - ✓ En caso de rechazo, se deberá repetir el procedimiento hasta obtener un resultado satisfactorio.
  - ✓ En caso de aceptación; Se reparara la unión entre estas 2 láminas que sirvieron como muestras mediante extrusión y parches.

➤ **“STRAIN TEST” Ensayo de Elongación**

El ensayo denominado “prueba de deformación” (Strain Test) (siglas en ingles), nos deja comprobar el grado o porcentaje de deformación de la lámina de gemembrana HDPE, esta se realiza de forma paralela al ensayo de corte (Shear) de las pruebas destructivas. Esto con el procedimiento siguiente:

- Velocidad del ensayo igual a 2 Pulg/min.
- Se mide y registra la distancia de 25 mm., desde una grapa (sujetador) al borde de la soldadura (medida inicial).
- Al iniciar el ensayo a corte (Shear) a la velocidad iniciada pasado un tiempo prudente sucederá una de dos:
  - ✓ Elongación de la probeta hasta igualar la capacidad de desplazamiento del tensiómetro.
  - ✓ Ruptura de la probeta de ensayo (testigo).

Al instante que pase cualquiera de las dos condiciones descritas, se mide y registra la distancia en el lado y/o extremo, tomado como referencia (grip-límite de soldadura). Esta será la medida final.

El porcentaje de elongación se da por la siguiente formula:

$$ELONGACION = \frac{L}{L_0} \times 100$$

Dónde:

L = Distancia final de la longitud (al final de la prueba).

Lo = Distancia original de la longitud.

El valor obtenido debe de registrarse en los formatos de pruebas destructivas, siendo el mínimo 100 %. Este método involucra que toda elongación se produce en un solo lado de la soldadura.

## 2. “NOT DESTRUCTIVE TEST” ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

La intención de las pruebas en ensayos NO DESTRUCTIVOS es examinar mediante un sello hidráulico realizado con una caja transparente, la unión soldada entre dos láminas de geomembrana ya sea por extrusión o termofusión.

**Las soldaduras por Termofusión** Realizada por Cuña Caliente, a este ensayo le corresponde la prueba de aire (air test) en la soldadura. Para identificar fallas solo en casos excepcionales se usa la prueba de vacío (Vaccum test), pero de ninguna forma esta reemplazar la prueba de aire.

**Las soldaduras por extrusión**, En este caso si es de obligatoriedad realizar la prueba de vacío (Vaccum Test), sin embargo esta prueba no reemplaza las pruebas de chispa eléctrica (Spark Test).

### 2.1. Ensayos para soldadura por extrusión.

#### ➤ “ VACCUM TEST” Prueba de vacío (ASTM D5641)

Es de obligatoriedad realizar esta prueba en las soldaduras por extrusión.

El equipo consta de una caja de material apropiado con superficie de vidrio transparente por lo general en la parte superior, se debe contar con medidor de vacíos (instrumento de medición), se debe contar con una bomba de succión y una mezcla de agua y jabón (solución jabonosa).



**Figura 67:** Prueba de Vacío

Fuente: Elaboración propia

Antes de realizar el ensayo:

- Se debe trabajar en una superficie plana.
- Se realizara limpieza en la superficie, pues esta debe estar exenta de polvo, libre de partículas de geomembrana u otro material que pudiera afectar el ensayo.
- A esto se aplica una solución de agua y jabón con una escobilla o cepillo.
- Se coloca la caja de vacío y aplica una determinada fuerza sobre la caja.
- Inmediatamente se acciona la bomba de vacío para generar un sello entre la espuma de la caja con la geomembrana para que succione con una presión en negativo de 5 psi durante un lapso de 15 segundos.
- En caso de existir fugas seguramente aparecerán burbujas sobre la lámina, estas serán marcadas para su posterior reparación.
- Se realizará la prueba hasta que no haya rastro de burbujas.

➤ **“SPARK TEST” Prueba de chispa eléctrica (ASTM 6365)**

La prueba de Chispa eléctrica o Spark Test (siglas en ingles), esta prueba se realiza sobre las soldaduras de extrusión que lleven alambre de cobre desnudo recubiertas con un relieve de cordón extruido.



El campo de acción de esta prueba está determinado por los materiales geosintéticos en donde, por sus características o por el difícil acceso no se puede aplicar el ensayo de vacío.



**Figura 68:** Equipo para Chispa eléctrica  
Fuente: Elaboración propia



**Figura 69:** Prueba de chispa eléctrica  
Fuente: Elaboración propia

Este equipo consigna una fuente de 35 KV, adicional a esto una escobilla metálica; Se aplica una potencial entre 20 a 35 KV sobre el cordón que cubre el alambre de cobre. En caso de que la soldadura se encuentre defectuosa normalmente por la existencia de poros profundos, sectores delgados o vacíos, mala adherencia y otros), se producirá un cortocircuito y un ruido (chasquido) entre la punta del equipo y el alambre de cobre.

Este defecto será marcado para su reparación y se realizara otra prueba.

## 2.2. Ensayos para soldadura por fusión

### ➤ “AIR TEST” Prueba de presión de aire (ASTM D5820)

Esta prueba se realiza para la termofusión por cuña caliente, ya que esta al ser aplicada a la geomembrana deja un espacio vacío (por el que pudiese fluir aire) entre dos soldaduras paralelas ejercida por la cuña.

Para esto el equipo con el que se realiza la prueba consta de:

- Bombin manual “capacidad de 50 psi”.
- Set de prueba de aire compuesta por aguja hueca, un manómetro por encima de 35 psi y otros accesorios
- pistola de aire caliente.



**Figura 70:** Prueba de aire

Fuente: Elaboración propia

Para realizar la prueba se sigue el siguiente procedimiento:

- Con la pistola de aire caliente se sella ambos extremos el canal de aire donde se quiere realizar la prueba.
- Por uno de los extremos se inserta la aguja dentro del canal de aire, se realiza solo un pinchazo dejando la aguja insertada.
- Se procede a introducir aire a presión a través del bombín (inflador) hasta alcanzar una presión de 35 psi.
- Se deja en reposo un lapso de 120 segundos para que esta se estabilice.
- Trascurrido el tiempo de 120 segundos se toma la lectura inicial de presión, esperamos un lapso de 5 min más para tomar la siguiente lectura de presión.
- Tomada la lectura final de presión, se comparan ambas lecturas, esta lectura debe de ser igual o menor a 3 psi.



**Figura 71:** Prueba de aire

Fuente: Elaboración propia

- Transcurrido el tiempo y no habiendo observaciones de fuga de aire, se verifica si la prueba de aire ha cubierto la totalidad de la longitud de del cordón de aire.
- Se deberá realizar un corte en el extremo opuesto al que se inyecta la aguja y se verifica si el aire utilizado sale en su totalidad.
- Luego de hacer el corte en el cordón de aire, el manómetro debe bajar a cero (0).
- Si el aire no sale en su totalidad es señal que el canal de aire se encuentra bloqueado, esta se debe localizar, reparar y realizar otra prueba de aire.
- La prueba deberá realizarse una y otra vez hasta que el resultado sea cero (ya que cero "0" es la respuesta favorable).

## ANEXO 07: Calibración de equipos

### 1. CALIBRACIÓN DE EQUIPOS PARA TERMOFUSIÓN DE GEOTEXTIL

#### 1.1. Calibración de Pistola de calor manual

Las uniones se realizan con aire caliente, existen tamaños y formas específicos para la justa de detalles, para las juntas longitudinales y transversales las boquillas de 40mm son las más adecuadas, comprobamos que la boquilla este limpia y no haya restos que obstruyan la salida del aire, se regula la temperatura del equipo para 550°C encendemos el interruptor y esperamos unos minutos hasta que el equipo haya alcanzado la temperatura programada.

Antes de realizar a fusión con aire se hace una prueba para verificar que la temperatura seleccionada es la adecuada, esta puede variar en función a las condiciones ambientales, el flujo de aire, la boquilla empleada y la velocidad del trabajo.

Si la temperatura es demasiado elevada apreciaremos que la lámina se quema y no suelda adecuadamente, Si la temperatura es demasiado baja quedaran puntos sin soldar.



**Figura 72:** Pistola de aire caliente

Fuente: Internet



**Figura 73:** Pistola de aire caliente semiautomático

Fuente: Internet

## 2. CALIBRACIÓN DE EQUIPO PARA TERMOFUSIÓN DE GEOMEMBRANA

### 2.1. “CUÑA CALIENTE” Equipo para la Unión por Termofusión

Para soldar geomembranas es esencial contar con un equipo bien calibrado y un técnico operario bien capacitado. Con estos dos elementos se puede asegurar uniones óptimas en cualquier proyecto de impermeabilización. (IGC innovación en geosintéticos y construcción).

El proceso con el que mayor porcentaje se realiza para la unión de láminas de geomembrana de HDPE es la soldadura por termofusión y esta se realiza a través de una cuña caliente “conocido como método de cuña caliente” mediante una máquina de termofusión, (fig. N°40), esta técnica permite soldar láminas desde 0.5 mm hasta 3.0 mm, al ser una maquina automática se le programa la velocidad, temperatura y presión a los rodillos escalonados que contactan a la geomembrana. Cabe resaltar que este equipo está equipado de una cuña caliente y un controlador de velocidad y temperatura para asegurar una correcta fusión.



**Figura 74:** Máquina de termofusión (Cuña)

Fuente: Internet

Presión a aplicar a las geomembranas en cuña (se programa de acuerdo a las especificaciones del modelo o marca de la cuña):

**Tabla 26:** presión aplicada por cuña

Espesor de geomembrana	Presión aplicada
0.5 mm	20
1.0 mm	40
1.5 mm	60
2.0 mm	80
2.5 mm	100

Fuente: Demtech (cuña wedge-it)

Las dificultades o fallas se dan generalmente por ajustes de los rodillos de tracción.

### Calibración de cuña caliente

Este proceso se debe de realizar cuando la maquina está completamente fría, Hay que tener en cuenta que se van a manipular partes de la cuña que se pueden calentar muchísimo durante el funcionamiento. Los pasos son los siguientes:

➤ **Ajuste de leva o sado de presión**

Esa es una pieza que está unida a una palanca negra que se encuentra en un lado del equipo. Para iniciar con la calibración se debe aplicar la presión correspondiente al espesor de la geomembrana a soldar.

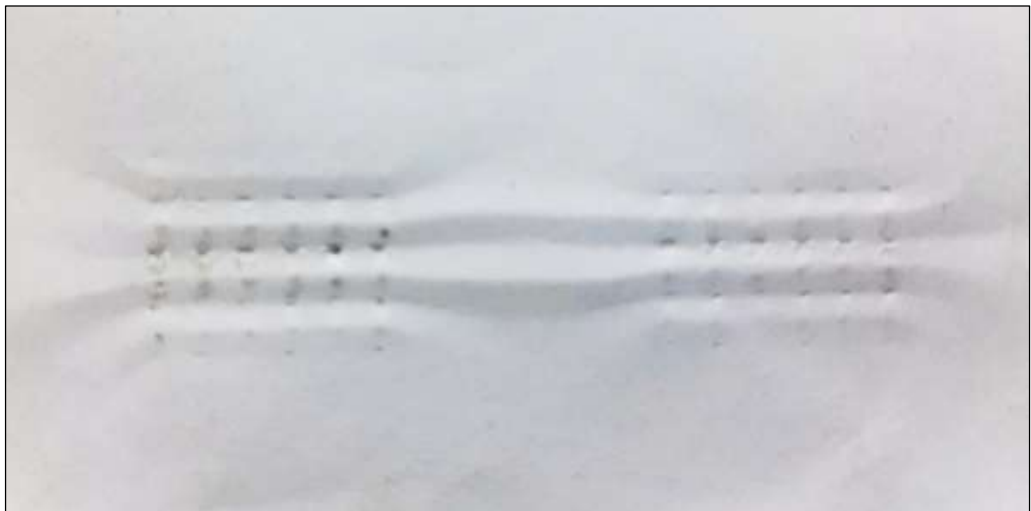


**Figura 75:** Ajuste de leva o sado a presión

Fuente: Demtech

### ➤ **Calibración de rodillos de presión**

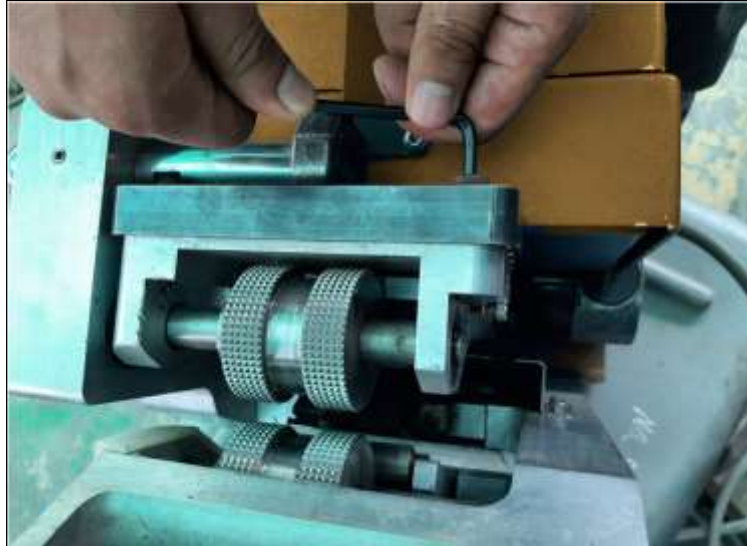
El primer paso es determinar si los rodillos de la cuña están pisando la geomembrana de manera uniforme, para eso se requiere contar con una hoja A4, un plumón o cualquier objeto para escribir. Se debe liberar la presión de los rodillos insertar el papel en medio de ellos y ajustarlos hasta que pisen la hoja. En la hoja deben de quedar un par de huellas dejados por los rodillos, esas líneas deben ser pintadas con el plumón y se debe medir su grosor, lo ideal es que cada lado de las marcas tenga 10 mm o  $\frac{3}{4}$ " de grosor, una medida inferior a esta es indicador que el equipo no está bien calibrado.



**Figura 76:** Marca izquierda del rodillo de presión

Fuente: IGC (Innovación en geosintéticos y construcción)

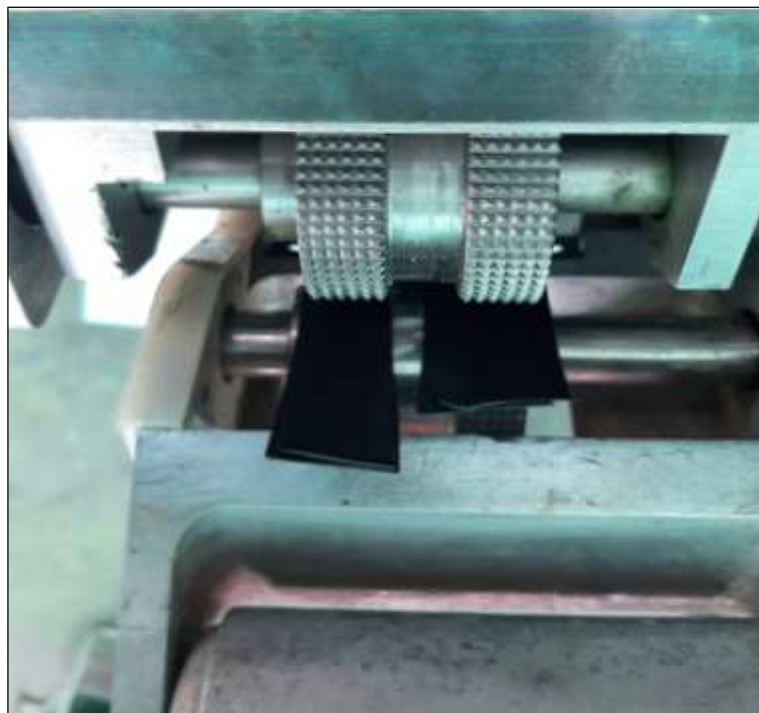
Si los rodillos dejan marcas desiguales (más delgada de un lado) se debe regular la inclinación con los tornillos de ajustes de la cuña caliente, esas piezas se pueden encontrar en la parte superior de la placa de regulación, esos tornillos son especiales y aumentan o liberan presión por cada cuarto de vuelta que dan.



**Figura 77:** Ajuste de presión en cuña

Fuente: IGC (Innovación en geosintéticos y construcción)

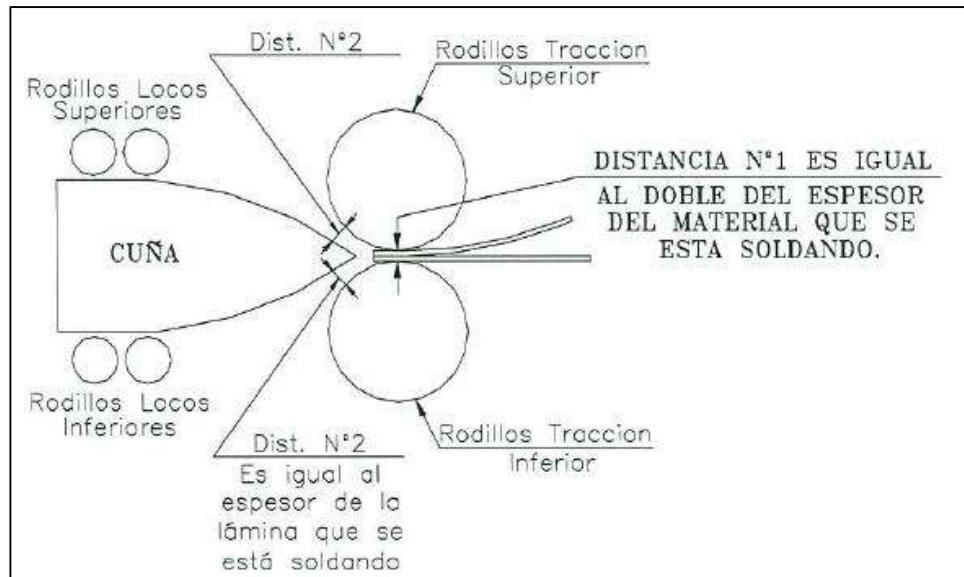
Se debe recortar un par de pedazos de geomembrana de 10mm de ancho y 10 cm de largo, esas laminas dobladas por la mitad se deben poner en medio de los rodillos de tracción, se debe repetir el procedimiento del papel para verificar que queden marcas iguales



**Figura 78:** Prueba con tiras de geomembrana

Fuente: IGC (Innovación en geosintéticos y construcción)





**Figura 79:** Calibración de equipos

Fuente: Tecnifluidos

➤ **Ajustar altura y avance de cuña**

Para graduar el avance o retroceso de la cuña se debe usar la capsula de ajuste que se encuentra en el lado derecho de la máquina. Allí se encuentran dos tuercas que se deben aflojar con una llave, se debe lograr que la cuña calefactora se encuentre cerca de los rodillos, pero sin tocarlos. La distancia que debe quedar entre ellos debe ser similar al grosor de la geomembrana a soldar. Al completar ese paso se vuelven a ajustar los tornillos.



**Figura 80:** Ajuste de velocidad de cuña

Fuente: IGC (Innovación en geosintéticos y construcción)

### ➤ **Calibración de rodillos locos o móviles**

Par esto se debe usar un pedazo de geomembrana de aproximadamente 20 cm x 20 cm., esa lamina se debe insertar por la parte superior e inferior de la cuña y los rodillos móviles. El ajuste debe ser firme, pero al aplicar un poco de fuerza se deben desplazar las láminas sin trababas.



**Figura 81:** Calibración de rodillos locos

Fuente: IGC (Innovación en geosintéticos y construcción)

En caso de que no sea así, los rodillos locos se regulan con el ajuste de unas tuercas especiales.



**Figura 82:** Regulación de rodillos locos

Fuente: IGC (Innovación en geosintéticos y construcción)

## 2.2. “EXTRUSORA” Equipo para unión por soldadura

La función de esta máquina es la de almacenar el plástico, realizar el transporte del material, calentarlo y comprimirlo, además de favorecer su homogenización, la misma extrusora puede definir la temperatura, presión y cantidad de material a extrusionar.

Estas extrusoras originan una soldadura de entre 25 mm y 40 mm entre los materiales (según interese) a través de una zapata o teflón preformado que contacta con la lámina.

### **CALIBRACIÓN DE EXTRUSORA**

3 Factores fundamentales determinan a calidad y eficiencia de la soldadura en geomembranas HDPE: tales como la temperatura, velocidad y la presión, cabe mencionar que dependiendo de las condiciones ambientales o la calidad del material que se va a unir estos valores o parámetros pueden cambiar, motivo suficiente para que el personal técnico encargado de este trabajo sepa cómo calibrar las extrusoras muy aparte de darle el mantenimiento respectivo.



**Figura 83:** Extrusora típica (modelo Swt-ns620)

**Fuente:** MM-Tech (página web de internet)

Tomando en consideración que va a realizar soldadura de geomembrana de 1.5mm, el nivel de calor recomendado para este espesor es de 210° C y de 230°C, valores de temperatura con los que se debe realizar las pruebas antes de realizar la soldadura de los paneles ya que hay factores que influyen en la soldadura por extrusión, tales como:

➤ **Temperatura de la extrusora**

Este equipo cuenta con un reloj controlador de temperatura (en su mayoría), ese dispositivo es indispensable al momento de calibrar las extrusoras; Esta máquina soldadora por extrusión tiene un panel de control en el que se puede establecer la temperatura deseada o la temperatura requerida para el material que se va a utilizar que por lo general es un cordón de soldadura (Fig. 50).

➤ **Temperatura del material extruido**

La verificación del material extruido se realiza con un termómetro de contacto. Cabe resaltar que a pesar de lo que se indique o especifique en el controlador de la extrusora, el material derretido para las uniones (cordón de soldadura) no siempre tiene esa temperatura. Esto puede deberse factores como el clima u otros.



**Figura 84:** Cordón para soldaduras HDPE (4mm, 5mm)  
P/GEOMEMBRANA

**Fuente:** Internet

➤ **Temperatura de precalentamiento.**

Esta refiere o está estrictamente vinculada a la temperatura - clima - ambiente a las que está expuesta la geomembrana HDPE, la temperatura de la lámina de geomembrana será diferente en cada espacio geográficos (costa, sierra, selva), Así que lo correcto es que las superficies que se van someter a termofusión estén calientes.

Si el clima es desfavorable (mientras no sea lluvia o neblina) esto se puede lograr con el uso de equipos que incorporan un dispositivo soplador de aire, Ya que estos equipos aportan calor a las láminas de geomembrana, también de forma indirecta hacen limpieza de los residuos como el polvo, Se calibra extrusora antes de iniciar el trabajo de turno mañana, antes de iniciar los trabajos de turno tarde, al cambio de clima y cuando se cambia de equipo de esta manera se garantizara un precalentamiento uniforme y una soldadura adecuada.

➤ **Velocidad y presión de trabajo de una extrusora.**

Ambos están interrelacionadas y ligadas, son interdependientes una de la otra y a su vez condicionadas por la forma del zapato de teflón que contiene la extrusora. La presión que se le debe aplicar está relacionada con el ángulo de inclinación respecto a la geomembrana.

Se recomienda que la abertura de la extrusora o por donde sale el material extruido sea 2 cm aproximado de espesor, además es indispensable que la velocidad de la soldadura sea uniforme y constante.



**Figura 85:** Soldadura con extrusora

**Fuente:** Elaboración propia

## Anexo 08: Matriz de consistencia

**Título:** Diseño e instalación de geomembrana para impermeabilización de depósito de relaves, Sina, Puno, 2021

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES E INDICADORES			METODOLOGIA
			VARIABLE	DIMENSIÓN	INDICADORES	
<p><b>problema general:</b></p> <p>¿Cuál será el diseño e instalación adecuada de geomembrana para depósito de relaves?</p> <p><b>problemas específicos:</b></p> <p>¿Qué ventaja tiene diseñar un sistema de impermeabilización (Geomembrana) con software para depósito de relaves?</p> <p>¿Cuál será el proceso constructivo adecuado para la instalación de geomembrana en un depósito de relaves?</p>	<p><b>objetivo general:</b></p> <p>Proponer un método correcto de diseño e instalación adecuada de geomembrana en depósito de relaves, en el distrito de Sina.</p> <p><b>objetivos específicos:</b></p> <p>Realizar un diseño adecuado de geomembrana con software para impermeabilización de un depósito de relaves.</p> <p>Describir un correcto procedimiento constructivo para la instalación de geomembranas, geotextil y componentes.</p>	<p><b>hipótesis principal</b></p> <p>Existe un método correcto de diseño de geomembrana con software para la impermeabilización eficiente y un proceso constructivo adecuado para un correcto almacenamiento de relaves.</p> <p><b>hipótesis específicas:</b></p> <p>Diseñar mediante software un sistema de impermeabilización con geomembrana permitirá conseguir ventajas técnicas eficientes, velocidad y productividad.</p> <p>Con la correcta instalación de geomembrana, geotextil y componentes se logra una educada impermeabilización en un depósito de relaves de tal forma que no contamine al medio que lo rodea.</p>	<p><b>VARIABLE</b></p> <p>Diseño de geomembrana para impermeabilización de depósito para relaves.</p>	<p><b>DIMENSIÓN</b></p> <p>Espesor de geomembrana</p>	<p><b>INDICADORES</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Plano topográfico.</li> <li>- Pendiente de talud.</li> <li>- Angulo de fricción.</li> <li>- Peso específico del relave.</li> </ul>	<p><b>Tipo de investigación:</b> Investigación aplicada, no experimental, transversal de descripción simple.</p> <p><b>Variables:</b> Diseño de geomembrana, descripción para instalación.</p> <p><b>Población:</b> conjunto de depósitos artesanales. N=1</p> <p><b>Muestra:</b> Depósito de relaves existente sin impermeabilización alguna. N=1</p> <p><b>Técnicas e instrumentos de recolección de datos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Observación directa</li> <li>- Instrumentos documentales, mecánicos y electrónicos</li> </ul> <p><b>Procedimiento:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Actividades previas</li> <li>- Actividades en campo</li> <li>- Actividades en gabinete</li> </ul> <p><b>Método de análisis de datos:</b> Se realiza de acuerdo al instrumento utilizado.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Reglamentos</li> <li>- Manual de Diseño</li> <li>- Software de diseño</li> <li>- Planos</li> <li>- Descripción según norma</li> </ul>
			<p><b>VARIABLE</b></p> <p>Instalación de geomembrana en depósito para relaves.</p>	<p><b>DIMENSIÓN</b></p> <p>Proceso constructivo para instalación de geomembrana</p>	<p><b>INDICADORES</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Montaje.</li> <li>- Termofusión por cuña.</li> <li>- Termofusión por extrusión.</li> <li>- Anclaje.</li> <li>- Ensayos.</li> </ul>	

**Fuente:** Elaboración propia