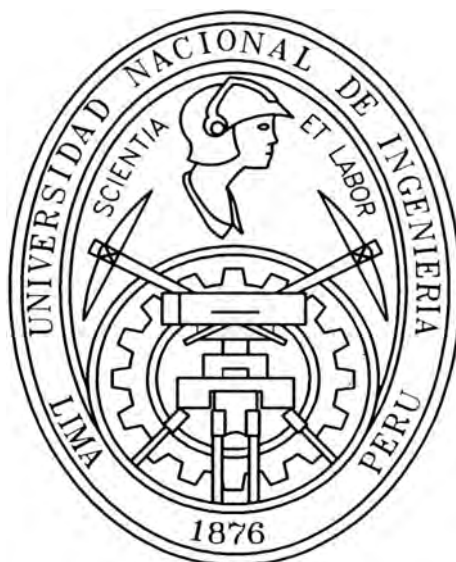


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**



**“DEPÓSITOS DE RELAVES CON APLICACIÓN DE
GEOSINTÉTICOS”
PROCESO CONSTRUCTIVO**

INFORME DE SUFICIENCIA

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

PEDRO MIGUEL GOÑI BERMUDEZ

Lima- Perú

2007

	Página
RESUMEN	4
LISTA DE TABLAS Y CUADROS	5
LISTA DE FIGURAS	6
INTRODUCCIÓN	7
CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO	8
1.1 DEPÓSITO DE RELAVES	9
1.1.1 Definición de relaves	9
1.1.2 Procedimientos de diseño	9
1.1.3 Marco legal	10
1.2 GEOSINTÉTICOS	10
1.2.1 Definición de geosintéticos	10
1.2.2 Tipos de geosintéticos	10
1.2.3 Propiedades	11
1.2.4 Procedimientos de diseño	13
1.2.5 Normativa	21
CAPÍTULO 2: DESARROLLO DEL PROYECTO	25
2.1 UBICACIÓN	26
2.2 CLIMA	26
2.3 ESTUDIOS BÁSICOS PARA DEPÓSITO DE RELAVES	26
2.3.1 Topografía y cartografía	26
2.3.2 Geotecnia	27
2.3.3 Hidrogeología	27
2.3.4 Hidrología	27
2.3.5 Peligro sísmico	28

2.4	DISEÑO DE DEPÓSITO DE RELAVE	29
2.4.1	Diseño de depósito	29
2.4.2	Diseño de geomembrana	30
2.4.3	Diseño de geotextil de protección	32
2.5	PROGRAMACIÓN DE OBRA	33
CAPÍTULO 3: PROCESO CONSTRUCTIVO DEL PROYECTO		35
3.1	TRAZOS, REPLANTEO Y NIVELES	36
3.1.1	Trazos y replanteo	36
3.1.2	Control de niveles	37
3.2	MOVIMIENTO DE TIERRAS	38
3.2.1	Excavación	38
3.2.2	Refine, nivelación y compactación	39
3.2.3	Relleno con material propio	40
3.3	INSTALACIÓN DE GEOTEXTIL DE PROTECCIÓN	41
3.4	INSTALACIÓN DE GEOMEMBRANA	42
3.4.1	Pruebas de adherencia	44
3.4.2	Soldadura de geomembrana HDPE	45
3.4.3	Equipos para soldadura de geomembrana	46
3.5	INSTALACIÓN DE GEODREN	49
3.6	INSTALACIÓN DE TUBERIAS	50
3.7	SEGURIDAD EN OBRA	50
CAPÍTULO 4: CONTROL DE CALIDAD EN OBRA		52
4.1	MUESTREO EN OBRA	53
4.1.1	Ensayos no destructivos	53
4.1.2	Ensayos destructivos	56
4.2	ENSAYOS DE LABORATORIO	58
4.3	ANÁLISIS DE RESULTADOS	59
CONCLUSIONES		60
RECOMENDACIONES		61

BIBLIOGRAFÍA	62
ANEXOS	63
A-1: PLANOS DEL PROYECTO	64
A-2: PERFIL ESTRATIGRÁFICO	74
A-3: PRECIPITACIONES MÁXIMAS EN 24 HORAS	76
A-4: ORGANIZACIÓN FÍSICA DE LA OBRA	78
A-5: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	80
A-6: FORMATOS DE CONTROL DE CALIDAD DE GEOSINTÉTICOS	95

RESUMEN

La Minería en el Perú, ha permitido en los últimos años que la economía peruana logre ingresos importantes, convirtiéndose así en la principal fuente de ingresos para la Nación. Dentro del campo de esta industria, se llevan a cabo diversos procesos para la obtención de los minerales; en muchos de los casos estos procesos, producen desechos minerales llamados "Relaves" los cuales deben ser almacenados en lugares seguros.

Los relaves son una fuente de contaminación y quizás la que más estragos ha causado a los riachuelos, quebradas, ríos, lagunas, lagos y mares; ya que ha sido costumbre arrojarlos directamente a ellos sin ningún tratamiento, ocasionando daños irreparables a la flora y a la fauna.

Es importante drenar y no dejar que el agua se evapore porque esta lleva consigo al evaporarse tóxicos, que aunque en pequeñas cantidades, pueden contaminar zonas mas extensas al ser llevadas por las corrientes de aire. Asimismo se debe evitar que el agua, utilizada en los procesos de extracción de minerales, se infiltre al subsuelo ya que esta contaminaría el agua subterránea.

En el Perú, es común encontrar canchas de relaves abandonadas que son otra fuente contaminadora. Los relaves se secan y los vientos esparcen las partículas por campos y poblados vecinos, y en las épocas de lluvia, estas lavan las canchas y arrastran las sustancias a los campos, riachuelos, ríos y lagunas.

El informe que a continuación se presenta explicará algunas pautas a tener en cuenta en el proceso de construcción empleado para un depósito de relaves, impermeabilizado con Geomembrana de HDPE (Polietileno de alta densidad).

LISTA DE TABLAS Y CUADROS

	Página
Tabla 1.1 Ángulos de fricción geomembrana-suelo y geomembrana-geotextil	14
Tabla 1.2 Valores mínimos recomendados para supervivencia de la geomembrana en el procesos de instalación	17
Tabla 1.3 Factores de seguridad global para el diseño	19
Tabla 1.4 Factor de modificación por forma de la protuberancia	19
Tabla 1.5 Factor de modificación por densidad del relleno	20
Tabla 1.6 Factor de modificación por efecto de arco en sólidos	20
Tabla 1.7 Factor de reducción por fluencia	20
Tabla 1.8 Factor de reducción por degradación química y biológica a largo plazo	20
Cuadro N° 2.1 Máximas aceleraciones	28

	Página
Figura 1.1 Modelo de diseño utilizado para calcular el espesor de la geomembrana	13
Figura 1.2 Fuerzas actuantes con suelos de cobertura sobre la geomembrana de recubrimiento, con profundidad del suelo constante	15
Figura 1.3 Sección transversal de la longitud de desarrollo de una geomembrana con zanja de anclaje y fuerzas actuantes	16
Figura 3.1 Detalle típico de soldadura por fusión	45
Figura 3.2 Detalle típico de soldadura por fusión	46
Figura 4.1 Prueba de caja de vacío	54
Figura 4.2 Prueba de canal de aire	55
Figura 4.3 Prueba de corte	57
Figura 4.4 Prueba de desgarre	57

INTRODUCCIÓN

El presente informe trató aspectos básicos considerados durante la ejecución del proyecto: Depósito de Relaves con aplicación de geosintéticos. Este proyecto piloto se ejecutó en la Universidad Nacional de Ingeniería -FIGMM. Donde el uso de los geosintéticos, tiene un papel protagónico, ya que su aplicación en la actualidad es poco difundida y conocida por los profesionales de Ingeniería Civil en nuestro país.

Es recomendable fomentar mayor investigación, referente a estos materiales, y su aplicación en el campo de la Ingeniería Civil. El proyecto en el cual emplearemos estos materiales, solo es una aplicación, de muchas a las que se le puede dar, con experiencias ya en nuestro país.

El informe consta de 4 Capítulos. El Capítulo 1 está referido al marco teórico, aquí se hace una introducción teórica de los geosintéticos así como también algunos conceptos de diseños de geomembrana y geotextil, en este capítulo también se dan las normas empleadas para el uso de estos materiales geosintéticos. El Capítulo 2, está enfocado a la parte del desarrollo del proyecto, tales como estudios básicos, así como también a la parte de diseño del depósito de relaves y de los materiales geosintéticos a emplearse. El Capítulo 3, detalla la secuencia de los trabajos realizados durante la construcción del depósito de relaves; en este capítulo se hace mención a los tipos de unión que se realizan entre las geomembranas. El Capítulo 4, esta enfocado al control de calidad de las uniones de las geomembranas.

CAPÍTULO 1· MARCO TEÓRICO

1.0 MARCO TEÓRICO

1.1 DEPÓSITO DE RELAVES

1.1.1 DEFINICIÓN DE RELAVES

Se definen como el desecho mineral sólido de tamaño entre arena y limo provenientes del proceso de concentración que son producidos, transportados o depositados en forma de lodo. Los Relaves son desechos tóxicos productos de procesos mineros y concentración de minerales, usualmente una mezcla de tierra, minerales, agua y rocas.

Los relaves contienen altas concentraciones de químicos y elementos que alteran el medio ambiente, por lo que deben ser transportados y almacenados en "tanques o pozas de relaves" donde lentamente los contaminantes se van decantando en el fondo y el agua es recuperada.

1.1.2 PROCEDIMIENTOS DE DISEÑO

Un componente importante en el diseño del Depósito de Relaves es el análisis de estabilidad del depósito de Relaves. En la etapa de desarrollo del Proyecto, los cimientos y los materiales de relaves son rigurosamente investigados tanto en campo como en laboratorio para asegurar que todos los aspectos del diseño sean abordados en el análisis de estabilidad. En este sentido, se realiza un estudio geotécnico inicial, para establecer las propiedades físicas de los materiales de fundación que están debajo del Depósito de Relaves.

Los estudios geotécnicos de campo incluyen la excavación, el registro y el muestreo de calicatas de prueba; posteriormente se ensayan las muestras obtenidas durante el programa de investigación de campo para clasificar el material y determinar sus propiedades físicas. Los resultados de estos ensayos se utilizan para identificar el revestimiento potencial del suelo, la capa de protección y las fuentes de préstamo para relleno, a fin de utilizarlas durante la construcción del Depósito de Relaves. Finalmente, se lleva a cabo un análisis de estabilidad dinámica y estática para garantizar que los diseños propuestos sean estables en condiciones de carga estática y que funcionen adecuadamente si están sujetas a deformaciones inducidas por sismos.

1.1.3 MARCO LEGAL

Las leyes que enmarcan el manejo de los Relaves en el Perú esta dada por la: "Ley General de Minería" aprobado por Decreto Supremo No 014-92-EM, del 2 de junio de 1992, y sus modificatorias. También tenemos la "Guía Ambiental para el manejo de Relaves Mineros". La autoridad competente es el Ministerio de Energía y Minas (MEM), asimismo hay entes reguladores involucrados en el manejo ambiental como lo son el INRENA (Instituto Nacional de Recursos Naturales), Consejo Nacional del Ambiente (CONAM), Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA), entre otros.

1.2 GEOSINTÉTICOS

1.2.1 DEFINICIÓN DE GEOSINTÉTICOS

Se puede definir a los Geosintéticos como: producto planar, de origen polímero, que usado en conjunto con los suelos, rocas y tierra u otro producto de la ingeniería geotécnica, forman parte de un proyecto u obra hecho por el hombre.

1.2.2 TIPOS DE GEOSINTÉTICOS

Los geosintéticos más comunes utilizados en el campo de la ingeniería son: las geomembranas, los geotextiles, las geomallas, las georedes y otros geocompuestos derivados de la unión de las características y cualidades de cada uno de los anteriores.

En el proyecto se ha empleado sólo alguno de ellos, entre los cuales detallaremos a *las geomembranas, los geotextiles*, y el geocompuesto de drenaje llamado *geodrén*.

GEOMEMBRANAS

De acuerdo a la norma ASTM D 4439, las geomembranas son definidas como: Revestimiento o barrera sintética de muy baja permeabilidad usada con cualquier material relacionado con la ingeniería geotécnica con el propósito de controlar la migración de fluidos en un proyecto, estructura o sistema construido por el hombre.

Según el GRI las geomembranas: son láminas delgadas "impermeables" de caucho o material plástico usados en primera instancia para recubrimientos y cubiertas de instalaciones de almacenamiento de sólidos o líquidos. De esta

manera la función primordial es siempre como una barrera para el líquido o el vapor.

GEOTEXTILES

Los geotextiles se definen como “un material textil plano, permeable polimérico (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”.

GEOCOMPUESTO DE DRENAJE

Un geocompuesto de drenaje consiste en la combinación de geotextil y geored, combinando las cualidades más sobresalientes de cada material, de tal manera que se resuelva en forma óptima la captación y conducción de fluidos.

La geored, es un geosintético especialmente diseñado para la conducción de fluidos. La geored es un sistema romboidal formado por tendones sobrepuestos conectados entre sí, que forman canales de elevada capacidad drenante, útiles en aplicaciones de ingeniería geotécnica, ambiental, hidráulica y de transporte.

El geotextil empleado para la fabricación de geocompuestos de drenaje es el No Tejido punzonado por agujas; ya que dentro del sistema cumple la función de filtro para retener el suelo y dejar pasar el agua que posteriormente será conducido por la geored.

1.2.3 PROPIEDADES

GEOMEMBRANAS

Las propiedades de las geomembranas (algunas de ellas se especificarán para la Geomembrana de HDPE) están agrupadas en las siguientes categorías:

a.- PROPIEDADES FÍSICAS

Las propiedades físicas deben evaluarse en la geomembrana en el estado de: “tal como son recibidas y almacenadas”. Esto es importante para el control de calidad, aseguramiento de la calidad y para una adecuada identificación. Siendo éstas: Espesor, Densidad, Peso (masa por unidad de área), Longitud, Ancho, Color, etc., siendo las tres primeras las más relevantes.

b.- PROPIEDADES MECÁNICAS

Hay varios ensayos mecánicos que se han desarrollado para determinar la resistencia de materiales poliméricos en forma de hojas y muchos han sido adoptados para el uso y evaluación en geomembranas. Dentro las propiedades más importantes destacamos las siguientes:

- Resistencia a la tensión (Índice) – ASTM D638
- Resistencia a la tensión (Muestra Ancha) – ASTM D4885
- Resistencia a la tensión (Axi-simétrico) – ASTM D5716

c.- PROPIEDADES HIDRÁULICAS

La caracterización del comportamiento hidráulico ha requerido la creación de nuevos métodos de ensayo. En la aplicación de geomembranas en estructuras hidráulicas es de principal relevancia su **permeabilidad**, la cual es calculada a partir de la **transmisibilidad al vapor de agua (ASTM E96)**. Estas dos, son las propiedades hidráulicas más importantes de la geomembrana.

GEOTEXILES

a.- PROPIEDADES FÍSICAS

Las propiedades físicas se refieren a las condiciones de fabricación y recepción en obra de los geotextiles. Estos ensayos son usualmente referidos como ensayos índices. Dentro de las propiedades más representativas se consideran las siguientes:

- Gravedad Específica – ASTM D1505
- Masa por unidad de Área (Peso) – ASTM D5261
- Espesor – ASTM D5199
- Rigidez – ASTM D1388

b.- PROPIEDADES MECÁNICAS

Las propiedades mecánicas discutidas aquí, se refieren a la resistencia del geotextil a esfuerzos de tensión movilizados a partir de las cargas aplicadas y/o a las condiciones de la instalación. Algunas de estas propiedades son:

- Compresibilidad
- Resistencia a la Tensión
- Resistencia a la fatiga

- Resistencia al estallido
- Resistencia de Rasgado
 - Ensayo de rasgado trapezoidal*
 - Ensayo de rasgado en lengüeta*
 - Ensayo de rasgado de Elmendorf*
- Ensayos de Impacto
- Ensayo de Punzonamiento
- Comportamiento a la Fricción

c.- PROPIEDADES HIDRÁULICAS

A continuación se mencionarán algunos ensayos en geotextiles, para cuantificar sus propiedades hidráulicas.

- Tamaño de Abertura Aparente (TAA)
- Permitividad (Permeabilidad en el Plano Transversal)
- Transmisividad (Permeabilidad en el Plano)

1.2.4 PROCEDIMIENTOS DE DISEÑO

DISEÑO DE GEOMEMBRANA

a.- ESPESOR

Para el cálculo del espesor se realiza un equilibrio límite teniendo en cuenta la posible deformación en la geomembrana como se muestra a continuación:

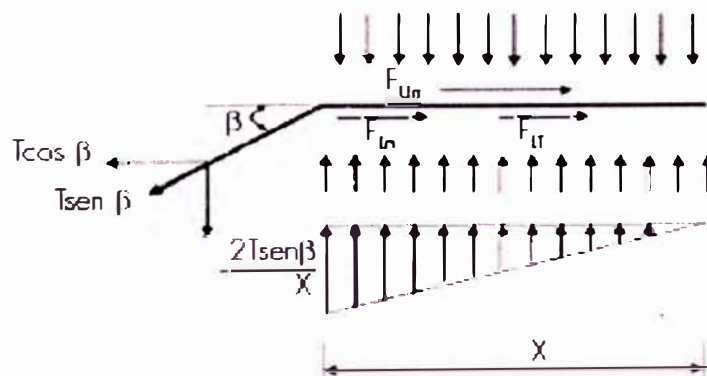


Figura 1.1 Modelo de diseño utilizado para calcular el espesor de la geomembrana

Resultando el espesor igual a:

$$t = \frac{\sigma_n x (\tan \delta_U + \tan \delta_L)}{\sigma_{adm} (\cos \beta - \sin \beta \tan \delta_L)} \quad (1.1)$$

Donde:

- β : Ángulo que forma el movimiento de la geomembrana a tensión con la horizontal.
- $F_{U\sigma}$: Fuerza de fricción sobre la geomembrana debido al suelo de cubierta (para suelos de cubierta demasiado delgados, la fracturación de este puede ocurrir por tensión, en estos casos este valor suele ser despreciable).
- $F_{L\sigma}$: Fuerza de fricción debajo de la geomembrana debido al suelo de cubierta
- F_{LT} : Fuerza de fricción debajo de la geomembrana al componente vertical de T admisible.
- σ_n : Esfuerzo aplicado por el material de relleno.
- δ_U : Ángulo de fricción entre la geomembrana y el material superior (ASTM D 5321).
- δ_L : Ángulo de fricción entre la geomembrana y el material inferior (ASTM D 5321).
- x: Distancia de movilización de la deformación de la geomembrana

Tabla 1.1 Ángulos de fricción geomembrana - suelo y geomembrana - geotextil Según ensayo ASTM D 5321

Tipo De Geomembrana	Tipo De Geotextil	Tipo De Suelo - Arena		
		$\phi = 30^\circ$	$\phi = 28^\circ$	$\phi = 26^\circ$
Texturizada	32°	30° (100%)	26° (92%)	22° (83%)
Lisa	8°	18° (56%)	18° (61%)	17° (63%)

b.- ESTABILIDAD DE LA COBERTURA DEL RELLENO

Las geomembranas por lo general deben ser recubiertas debido a que el recubrimiento se busca protección contra la oxidación, protección contra la degradación ultra-violeta, protección contra las altas temperaturas que incrementan la alta degradación, protección contra el punzonamiento y el

rasgado por materiales angulares, protección generada por daños accidentales o intencionales. Usualmente se suelen cubrir con espesores pequeños de suelo, que generalmente tienen la tendencia a deslizarse sobre los taludes, motivo por el cual este chequeo dentro de la metodología se basa en las condiciones de equilibrio límite entre el subsuelo, la geomembrana y el suelo de recubrimiento asumiendo que estos tienen un espesor uniforme.

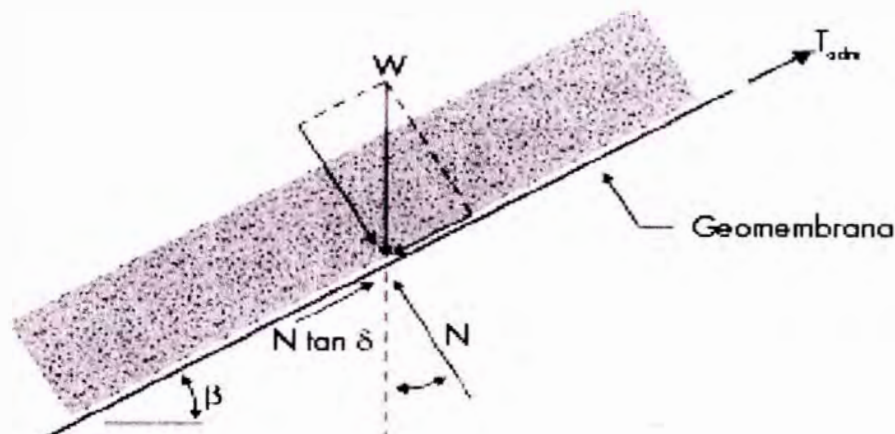


Figura 1.2 Fuerzas actuantes con suelos de cobertura sobre la geomembrana de recubrimiento, con profundidad del suelo constante

Para realizar el cálculo de la estabilidad de la cobertura se chequea un FS por equilibrio límite.

$$FS = \frac{\text{Fuerzas Resistentes}}{\text{Fuerzas Actuantes}}$$

$$FS = \frac{N \tan \delta_U(L) + T_{adm}}{W \sin \beta(L)}$$

$$FS = \frac{(W \cos \beta) \tan \delta_U(L) + T_{adm}}{W \sin \beta(L)} \quad (1.2)$$

Donde:

- W: Peso del material de relleno
- β : Ángulo de inclinación del talud con la horizontal
- δ_U : Ángulo de fricción entre la geomembrana y el material superior
- L: Longitud de la inclinación
- $T_{adm} = \sigma_{adm} * t$, Fuerza de tensión en la geomembrana

Se obtienen diferentes factores de seguridad para diferentes longitudes de inclinación y se escoge la longitud con la cual se obtenga un FS mínimo de 1 para garantizar que la capa de suelo no deslice.

c.- DISEÑO DE LA LONGITUD Y ZANJA DE ANCLAJE

Para este chequeo se tienen en cuenta un estado de esfuerzos dentro de la zanja de anclaje y su mecanismo de resistencia. En la profundidad de la zanja de anclaje se tienen fuerzas laterales actuando sobre la geomembrana, específicamente una presión activa de tierras tendiendo a desestabilizar el sistema y una presión pasiva de tierra que lo tiende a soportar.

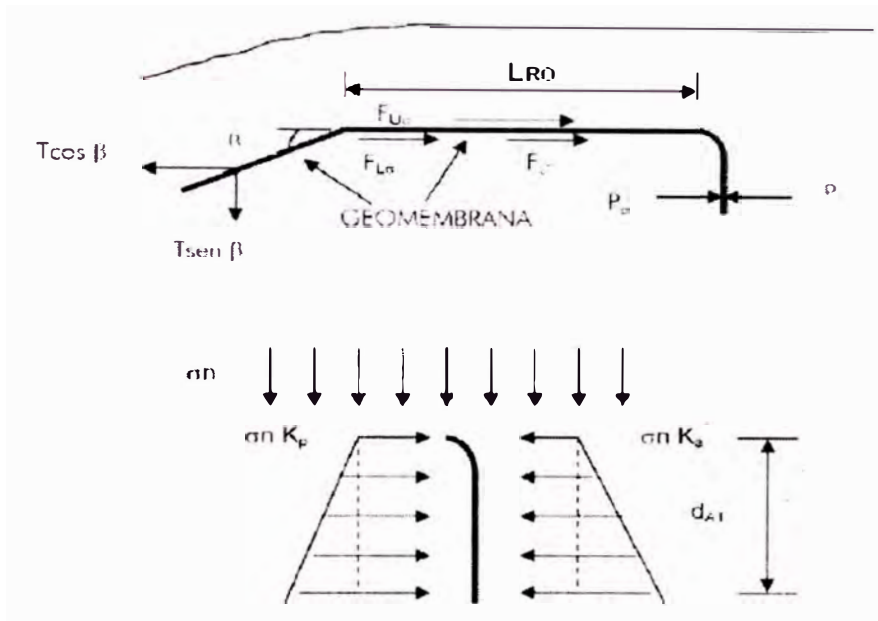


Figura 1.2 Sección transversal de la longitud de desarrollo de una geomembrana con zanja de anclaje y fuerzas actuantes

La ecuación resultante se presenta a continuación:

$$T_{adm} \cos \beta = \frac{\sigma_n L_{RO} (\tan \delta_U + \tan \delta_L) - P_A + P_P}{\cos \beta - \sin \beta \tan \delta_L} \quad (1.3)$$

$$P_A = (0.50 \gamma_{AT} d_{AT} + \sigma_n) K_A d_{AT}$$

$$P_P = (0.50 \gamma_{AT} d_{AT} + \sigma_n) K_P d_{AT}$$

Donde:

L_{RO} : Longitud de desarrollo.

P_A : Presión activa de tierras contra el material de relleno de la zanja de anclaje.

P_P : Presión pasiva de tierras contra el suelo in-situ de la zanja de anclaje.

γ_{AT} : Peso Específico del suelo de la zanja de anclaje.

d_{AT} : Profundidad de la zanja de anclaje.

σ_n : Esfuerzo normal aplicado por el suelo de cobertura.

K_A : Coeficiente de presión de tierra activa = $\tan^2 (45 - \phi/2)$.

K_P : Coeficiente de presión de tierra pasiva = $\tan^2 (45 + \phi/2)$.

ϕ : Ángulo de fricción del suelo respectivo.

Entonces resolviendo para la ecuación (1.3) se tendrían dos incógnitas, motivo por el cual se asume un dato y se encuentra el otro hasta que se encuentre un dato considerable tanto para la longitud de desarrollo como para la profundidad de la zanja de anclaje.

d.- CHEQUEO POR SUPERVIVENCIA

Después de haber escogido la geomembrana aplicando la metodología de diseño se debe tener en cuenta que es importante ésta sobreviva los procesos de transporte, manejo e instalación, parámetros que están fuera del alcance del diseñador.

El espesor es la propiedad física de la geomembrana que esta mas envuelta con la resistencia o con la susceptibilidad al rasgado, punzonamiento y daño por impacto. El incremento presentado del espesor puede ser en algún caso lineal o en algunos otros exponenciales. La **Tabla 1.2** nos muestra valores a cuatro niveles diferentes de supervivencia.

Tabla 1.2 Valores mínimos recomendados para supervivencia de la geomembrana en el proceso de instalación

PROPIEDAD FÍSICA Y MÉTODO DE LABORATORIO	GRADO REQUERIDO DE SUPERVIVENCIA			
	BAJO ¹	MEDIO ²	ALTO ³	MUY ALTO ⁴
Espesor (D 5199), mils (mm)	25 (0.63)	30 (0.75)	35 (0.88)	40 (1.00)
Tensión (D 6693), Lb/pulg (KN/m)	40 (7.0)	51 (9.0)	63 (11.0)	74 (13.0)
Rasgado (D 1004), Lb (N)	7.5 (33)	10 (45.0)	15 (67.0)	20 (90.0)
Punzonamiento (D 4833), Lb (H)	25 (110)	30 (140)	39 (170)	46 (200)
Impacto (D 3998 mod), J	10	12	15	20

Fuente: Designing With Geosynthetics 5ta Edición, Robert Koerner

¹ Bajo: Se refiere a una cuidadosa instalación a mano sobre un terreno bien gradado y uniforme con cargas leves de naturaleza estática. Típicos usados como barreras de vapor bajo trozos de piso.

² Medio: Se refiere a una instalación manual o con maquinaria sobre un terreno gradado con maquinaria de una pobre textura con cargas medianas. Generalmente usados para canales.

³ Alto: Se refiere a una instalación manual o con maquinaria sobre un terreno gradado con maquinaria de una pobre textura con cargas altas. Generalmente usados para suelos de relleno y coberturas.

⁴ Muy Alto: Se refiere a una instalación manual o con maquinaria sobre un terreno gradado con maquinaria de una textura muy pobre con cargas altas. Típicamente usados para reservorios y rellenos sanitarios.

DISEÑO DE GEOTEXTIL DE PROTECCIÓN

La metodología para escoger el geotextil más adecuado para la aplicación de protección se basa en la resistencia al punzonamiento de la geomembrana. En esta metodología se determina la presión que actúa sobre el geotextil, bajo unas determinadas condiciones y se verifica que el geotextil seleccionado resista el punzonamiento que se pueda generar.

El diseño del geotextil como material de protección utiliza la metodología planteada por Wilson-Fahmy, Narejo y Koerner, expuesta en 1996, a través de trabajos técnicos del GRI.

Este método usa la ecuación tradicional de factor de seguridad:

$$FS = \frac{P_{adm}}{P_{req}} \quad (1.4)$$

Donde:

FS = Factor de seguridad (en este caso contra el punzonamiento de la geomembrana).

P_{adm} = Presión admisible usando diferentes tipos de geotextiles y condiciones específicas del lugar.

P_{req} = Presión real debida al contenido del relleno o depósito superficial.

Se ha obtenido una relación empírica para el cálculo del P_{adm} basado en un gran número de ensayos y pruebas del método de punzonamiento hidrostático de la norma ASTM D5514, la cual se muestra en la siguiente ecuación, y utiliza factores de modificación y de reducción con el fin de tener en cuenta las condiciones de campo y comportamiento de los materiales.

$$P_{adm} = \left(450 \frac{M}{H^2} \right) \left(\frac{1}{FM_S * FM_{DR} * FM_A} \right) \left(\frac{1}{FR_{FL} * FR_{DQB}} \right) \quad (1.5)$$

Donde:

- P_{adm} : Presión admisible (KPa)
 M: Masa por unidad de área (g/m²)
 H: Altura Efectiva de la Protuberancia (mm)
 FM_S : Factor de Reducción por la forma de la protuberancia
 FM_{DR} : Factor de Modificación por Densidad del Relleno
 FM_A : Factor de Modificación por efecto de Arco en Sólidos
 FR_{FL} : Factor de Reducción por fluencia del material a largo plazo
 FR_{DQB} : Factor de Reducción por degradación química y biológica a largo plazo

Además de debe cumplir la siguiente condición:

$$P_{adm} = 450 * M / H^2 \geq 50 \text{ Kpa} \quad (1.6)$$

Donde 50 KPa es la resistencia al punzonamiento de una geomembrana de 1.5 mm o 60 mil sin geotextil de protección.

A continuación se muestran los valores típicos para cada uno de los factores, según las condiciones de cada proyecto.

Tabla 1.3 Factores de seguridad global para el 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

Tabla 1.4 Factor de Modificación por Forma de la Protuberancia

Forma de la Piedra	FM_S
Angular	1,00
Semiredondeado	0,50
Redondeada	0,25

Tabla 1.5 Factor de Modificación por Densidad del Relleno

Arreglo de la Protuberancia	FM_{DR}
Aislada	1,00
Compacta, 38 mm	0,83
Compacta, 25 mm	0,67
Compacta, 12 mm	0,50

Tabla 1.6 Factor de Modificación por Efecto de Arco en Sólidos

Efecto de Arco en Sólidos	FM_A
Hidroestático	1,00
Geoestático, superficial	0,75
Geoestático, moderado	0,50
Geoestático, profundo	0,25

Tabla 1.7 Factor de Reducción por Fluencia

Masa por Unidad de Área (gr/m ²)	FR_{FL}			
	Altura Efectiva de Protuberancia (mm)			
	38	25	12	6
Sin Geotextil	N/R	N/R	N/R	>> 1.5
270	N/R	N/R	> 1.5	1,5
550	N/R	1,5	1,3	1,2
1100	1,3	1,2	1,1	1,0
> 1100	~1.2	~1.1	~1.0	1,0

Tabla 1.8 Factor de Reducción por degradación química y biológica a largo plazo

Tipo de Lixiviado	FR_{DQB}
Ligero	1,1
Moderado	1,3
Agresivo	1,5

a.- CÁLCULO DE LA MASA UNITARIA DEL GEOTEXTIL DE PROTECCIÓN

1.- Estimar la presión admisible, en función de la masa unitaria del geotextil, M, utilizando la Ecuación (1.5), y aplicando los factores de modificación y reducción, según se apliquen. Teniendo en cuenta lo siguiente:

H de Piedras Aisladas = Altura real de Protuberancia

H de Piedras Compactadas = Mitad del Tamaño Máximo de Piedras

2.- Estimar la presión actuante sobre la geomembrana, aplicando la siguiente ecuación:

$$P_{req} = h * \gamma \quad (1.7)$$

Donde:

γ : Peso Unitario del material de relleno o líquido (KN/m³)

H: Altura de Diseño del material de relleno o profundidad del líquido ó sólido (m)

P_{req} : Presión actuante sobre la geomembrana (KPa)

3.- Calcular la masa por unidad de área requerida, para el geotextil de protección, teniendo en cuenta la ecuación (1.5) y la Tabla 1.7

4.- Verificar que se cumpla la condición presentada en la ecuación (1.6) para verificar el aporte del geotextil de protección.

5.- Seleccione el geotextil de protección apropiado, seleccione un geotextil No Tejido punzonado por agujas de línea minera, teniendo en cuenta el valor mínimo promedio por rollo (MARV) de masa unitaria (M) mayor o igual al calculado en el paso anterior.

6.- Debe anotarse que el método presentado se basa en la aplicación de geotextiles No Tejidos punzonados por agujas, hechos de polímeros vírgenes; esta teoría no aplica a otro tipo de geotextil o material de protección.

1.2.5 NORMATIVA

Las Normas son documentos que han sido desarrollados y establecido dentro de los principios de consenso de alguna organización (por ejemplo ASTM, ISO, etc), en las cuales se cumple requisitos de procedimientos y regulaciones. Las Normas se elaboran con la participación de todas las partes que tienen interés en el desarrollo o uso de las normas.

- **NORMAS PERUANAS APLICADAS A GEOSINTÉTICOS**

NTP 339.501 GEOSINTÉTICOS. Terminología usada en geosintéticos (Ref. ASTM D4354).

NTP 339.502 GEOSINTÉTICOS. Toma de muestras de geotextiles para ensayos (Ref. ASTM D4439).

NTP 339.503 GEOSINTÉTICOS. Método de ensayo estándar para la determinación del deterioro de geotextiles por exposición a la luz ultravioleta y al agua (aparato de Arco de Xenón) (Ref. ASTM D4355).

NTP-ISO 10321 GEOSINTÉTICOS. Método para determinar la tensión en geomallas con juntas o costuras, mediante el método de la muestra ancha (Ref. ISO/DIS 10321).

NTP 339.505 GEOSINTÉTICOS. Determinación de la resistencia al desgarre trapezoidal de los geotextiles (Ref. ASTM D4533).

NTP 339.506 GEOSINTÉTICOS. Método de ensayo para la resistencia al punzonamiento de geotextiles, geomembranas y productos afines (Ref. ASTM D4833).

NTP 339.507 GEOSINTÉTICOS. Método de ensayo estándar para medir la masa por unidad de área de los geotextiles (Ref. ASTM D5261).

NTP 339.508 GEOSINTÉTICOS. Métodos de ensayo estándar para permeabilidad al Agua de Geotextiles por Permisividad (Ref. ASTM D4491).

NTP 339.509 GEOSINTÉTICOS. Método de ensayo estándar para determinar el tamaño de abertura aparente de un geotextil (Ref. ASTM D4751).

NTP 339.510 GEOSINTÉTICOS. Método de ensayo estándar para propiedades de tensión de geotextiles por el método de la muestra ancha (Ref. ASTM D4595).

NTP 339.511 GEOSINTÉTICOS. Método de ensayo estándar para la determinación de la carga de rotura y elongación de geotextiles (Método GRAB) (Ref. ASTM D4632).

- **NORMAS ASTM APLICADAS A GEOSINTÉTICOS**

GEOMEMBRANAS

Espesor nominal (ASTM D 5199)

Densidad (ASTM D 1505)

Resistencia a la tracción (ASTM D 6693)
Resistencia al desgarre (ASTM D 1004)
Resistencia al punzonamiento (ASTM D 4833)
Estabilidad dimensional (ASTM D 1204)
Contenido de negro de humo (ASTM D 1603)
Dispersión de negro de humo (ASTM D 5596)
Resistencia al agrietamiento (ASTM D 5397)
Tiempo de inducción a la oxidación (ASTM D 3895)
Envejecimiento al horno a 90 días (ASTM D 5721 / 3895)
Envejecimiento al horno 1600 hr (ASTM D 5885)

GEOTEXTILES

Masa por unidad de área (ASTM D 5261 / D 3776)
Resistencia a la tracción Grab (ASTM D 4632)
Resistencia a la tensión tira ancha (ASTM D 4595)
Resistencia al desgarre trapezoidal (ASTM D 4533)
Resistencia al reventado (ASTM D 3786)
Resistencia al punzonado (ASTM D 4833)
Resistencia al punzonamiento CBR (ASTM D 6241)
Espesor nominal (ASTM D 5199)
Tamaño de abertura aparente (ASTM D 4751)
Permisividad (ASTM D 4491)
Tasa de flujo (ASTM D 4491)
Resistencia a los rayos UV (ASTM D 4355)

GEORED

Resistencia a la tracción (ASTM D 5035)
Espesor nominal (ASTM D 5199)
Transmisividad hidráulica (ASTM D 4716)
Densidad (ASTM D 1505)
Índice de fluidez (ASTM D 1238)
Resistencia a la compresión (ASTM D 1621)

GEOMALLAS

Masa por unidad de área (ISO 9864)
Esfuerzos a la Tracción al 2% de elongación (GRI-GG1 / ISO 10319)
Esfuerzos a la Tracción al 5% de elongación (GRI-GG1 / ISO 10319)
Resistencia en las juntas (GRI-GG2)

Fuerza a largo plazo de diseño (GRI-GG4)
Esfuerzos de diseño a largo término (ISO 13431)
Rigidez flexural (ASTM D 1388)
Resistencia de la retirada o pull out (ASTM D 6706)

GEOCELDAS

Espesor nominal (ASTM D 5199)
Densidad (ASTM D 1505)
Contenido de negro de humo (ASTM D 1603)
Resistencia a la fatiga (ESCR) (ASTM D 1693)

REVESTIMIENTO GEOSINTÉTICO CON ARCILLA (GCL)

Adherencia entre capas (ASTM D 413 / 4437)
Espesor nominal (ASTM D 5199)
Esfuerzos de tensión (ASTM D 6768)
Esfuerzos de pelaje (ASTM D 6496)
Esfuerzos de corte (ASTM D 6243)
Conductibilidad hidráulica (ASTM D 5084)
Índice de flujo (ASTM D 5887)
Masa por unidad de área (ASTM D 5993)

CAPÍTULO 2: DESARROLLO DEL PROYECTO

2 DESARROLLO DEL PROYECTO

2.1 UBICACIÓN

El proyecto se encuentra ubicado en el Campus de la Universidad Nacional de Ingeniería – Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica (FIGMM) - Distrito del Rímac – Provincia de Lima - Región Lima.

El acceso al área del proyecto se puede hacer por la vía pavimentada viniendo desde la facultad de Ingeniería Civil de Sur a Norte, hasta llegar a la losa deportiva que esta a lado derecho de la vía ; recorriendo la vía hasta llegar al Centro de Educación Inicial “Los Ingenieritos” se encuentra un acceso sin pavimentar de unos 20m de longitud (acceso ubicado entre “Los Ingenieritos” y la losa deportiva), para luego seguir a pie y subir el pequeño cerro, recorriendo un total de 25m aproximadamente para llegar al punto donde se construirá el depósito de relaves. Ver Anexo A-01: PR-UB-01 Plano de Ubicación.

2.2 CLIMA

El clima de la zona presenta los siguientes parámetros: Temperatura Ambiental: con una temperatura Máxima en los meses de verano de 32 °C, una temperatura Media de 20 °C, y con una temperatura Mínima en los meses de invierno de 13 °C. Los vientos son moderados, aunque se puede llegar a velocidades máximas de hasta 80 km/hr. La Humedad relativa de la zona varía de 90-100 %. Se presenta una polución ambiental Severa.

2.3 ESTUDIOS BÁSICOS PARA DEPÓSITO DE RELAVES

2.3.1 TOPOGRAFÍA Y CARTOGRAFÍA

Se realizó un recorrido del área en estudio a fin de definir los límites y reconocer el área donde se desarrollará el proyecto.

Para la realización del presente informe se nos facilitó la topografía de la zona, pero se tuvo que replantear en campo los puntos de la poza, para lo cual se empleó un equipo estación total.

2.3.2 GEOTECNIA

Para la ejecución del presente estudio se llevó a cabo un programa de investigaciones geotécnicas de campo con la finalidad de evaluar las características y propiedades de los materiales de la cimentación del área de emplazamiento del depósito de relaves. Para la ejecución de las investigaciones se ha realizado sondajes de Perforación Dinámica Ligera (DPL), excavación de calicatas, así mismo se tomaron muestras representativas de suelo de cimentación y material de la relavera para llevar a cabo las pruebas de laboratorio y determinar los parámetros geotécnicos de resistencia.

2.3.3 HIDROGEOLOGÍA

Las Aguas Subterráneas en el sector de la Universidad Nacional de Ingeniería se encuentran a una profundidad de aproximadamente 63.0 m respecto del nivel del terreno. Las variaciones del nivel estático están en función a las variaciones plurianuales de ciclo hidrológico, a la ubicación del pozo respecto a la topografía del terreno. La sobre explotación del acuífero en el valle del río Rímac ha producido el descenso de los niveles de agua subterránea en los últimos 30 años.

Actualmente los niveles del agua subterránea en el sector de la UNI se encuentran aproximadamente a 35 m, referida al nivel del mar.

De acuerdo a las investigaciones Geofísicas realizadas en el estudio Preliminar del Acuífero Subterráneo de la Gran Lima, realizado por ASCOSES 1977 (Ref. Bib. N° 1), la carta de iso espesores del acuífero subterráneo presenta en el sector de la UNI alrededor de 150 m. La presencia de los afloramientos rocosos cercana a las instalaciones de la UNI que correspondientes a las estribaciones de la cordillera de los andes, presupone la disminución del espesor del acuífero en esa dirección.

2.3.4 HIDROLOGÍA

Dentro de los análisis y diseños en las obras que conforman un depósito de relaves, se debe tomar en cuenta el contenido de humedad y el almacenamiento de agua que pueden producirse debido a las precipitaciones que se pudieran ocurrir en la zona donde se plantea construir las obras. Debido a esto es que uno de los estudios principales a realizar es el estudio Hidrológico.

El objetivo de los estudios de hidrología del depósito de relaves es determinar el régimen por escorrentía de las cuencas comprometidas para hallar los parámetros hidrológicos que permitirán el diseño de las obras de drenaje y obras de defensas. Tanto para cursos con flujo permanente como por las ocasionadas por la precipitación.

En la zona proyectada del depósito de relaves, no existen flujos permanentes, la cuenca a considerar es pequeña, pero debe ser considerada dado que el espejo de agua del depósito donde se almacenará toda esta agua es también pequeña. Los periodos de retorno considerados para el análisis hidrológico son de 50 y 100 años.

La información hidrológica está basada en precipitación pluvial máxima en 24 horas de la estación Modelo del SENAMHI (Lat. /Este: 12°04'; Long. /Norte: 77°02'). El periodo de registro abarca desde 1995 al 2006 (ver Anexo A3).

2.3.5 PELIGRO SÍSMICO

Se ha empleado el Programa de Cómputo RISK desarrollado por R. Mc Guire (1976) con datos de la ley de atenuación de Casaverde y Vargas (1980) para los sismos de subducción y de Mc Guire (1974) para los sismos continentales. Se han usado las fuentes sismogénicas y parámetros de recurrencia definidos por Castillo (1993).

El peligro sísmico se ha determinado por medio de la probabilidad de ocurrencia de un sismo cuya aceleración máxima sea igual o mayor que ciertos valores esperados. También se podrían determinar probabilísticamente las velocidades, los desplazamientos o las intensidades esperadas, utilizando los parámetros de Casaverde y Vargas (1980), que presentan atenuaciones en función de dichos parámetros.

En el **Cuadro N° 2.1**, se presentan los resultados de las aceleraciones para zona correspondiente. El Cuadro siguiente muestra las máximas aceleraciones esperadas para distintos periodos de retorno.

Cuadro N° 2.1: Máximas aceleraciones

Coordenadas	Periodo de Retorno / Aceleración (g)						
	30	50	100	190	285	475	950
-77,05; -12,02	0.18	0.23	0.31	0.40	0.47	0.56	0.72

Para efectos del diseño, consideramos una vida útil de 50 años con la probabilidad de ser excedida en un 10%. Es usual considerar una aceleración efectiva en vez del instrumental pico, del orden del 25 al 30% más baja. Por lo tanto, la aceleración efectiva será de 0.17g. El coeficiente sísmico para el diseño estará expresado en términos del período de la estructura y del período predominante del suelo.

La respuesta estructural de las obras de ingeniería derivada por métodos espectrales deberá considerar a partir de los valores de aceleración propuestos la amplificación estructural y las reducciones por ductilidad, amortiguamiento y los coeficientes de seguridad que emplearán en el diseño. Los valores presentados corresponden a suelo firme y no reflejan la ampliación del suelo.

Del análisis de peligro sísmico Determinístico y Probabilístico, se determina los siguientes valores de diseño:

 Aceleración diseño: 0.23 g

 Aceleración Efectiva de diseño: 0.17 g

El coeficiente sísmico para el método pseudo-estático de diseño de taludes y muros de contención deberá ser $\alpha = 0.28g$.

2.4 DISEÑO DE DEPÓSITO DE RELAVES

2.4.1 DISEÑO DE DEPÓSITO

a.- Estabilidad de taludes

Para el depósito de relaves, a construirse en la FIGMM de la Universidad Nacional de Ingeniería, se realizó el análisis de estabilidad de taludes considerando el corte B-B que se muestra en el plano PR-OC-02 del anexo A-01 y sobre la cual se ha proyectado la estratigrafía obtenida de las calicatas y de los ensayos de geotecnia; el perfil estratigráfico se presenta en el Anexo A-02. Dentro del perfil estratigráfico se consideraron 3 taludes; El primero correspondiente a la falda del cerro para el análisis de estabilidad global y dos internos para analizar la estabilidad local de los taludes internos de la poza (cabe acotar que estos dos últimos fueron analizados en la condición de que el depósito de relaves estuviera vacío, que es la condición más crítica), es así como fueron numerados correlativamente.

Con la estratigrafía modelada del estudio básico de geotecnia, que muestra los parámetros del suelo, se procedió a ingresar los datos en los programas de

cálculo. Para este cálculo se utilizaron los programas: MacStars y STED. La sección geotécnica no muestra nivel freático ya que así lo indica el estudio de hidrogeología.

Luego de ingresar la geometría, estratigrafía y parámetros del suelo, se ingresaron los coeficientes de aceleración por sismo, resultado del estudio de peligro sísmico.

b.- Análisis de Intensidad - Duración - Frecuencia

Para el análisis de Intensidad-Duración-Frecuencia se utilizó el método de Dick-Peschke y el ajuste a la distribución Tipo I usada en Estados Unidos para la región hidrológica tipo I que es la que más se aproxima al clima costero del Perú. De ambos métodos se usará la Distribución Tipo I por ser los resultados los que se aproximan más a los eventos históricos acontecidos, así para los periodos de retorno tenemos las siguientes intensidades:

Periodo de Retorno (años)	Intensidad de Precipitación (mm/hr)
50	1.708
100	1.919

2.4.2 DISEÑO DE GEOMEMBRANA

a.- Verificación del espesor de la Geomembrana de HDPE (0.75mm)

Datos de entrada:

$\beta = 26.57^\circ$ (Ángulo de inclinación de talud con respecto a la horizontal)

$\gamma_{AT} = 22.00 \text{ KN/m}^3$ (Peso específico del material de relleno)

$H = 1.00 \text{ m}$ (Altura del material de relleno)

Para una geomembrana HDPE lisa de espesor de 0.75mm, tenemos que:

$\sigma_{adm} = 18600 \cdot 0.75 / 1.50 = 9300 \text{ KPa}$ (18600 KPa: es el valor de esfuerzo admisible, según R. Koerner, para una geomembrana de 1.50mm de espesor)

$x = 150 \text{ mm} = 0.15 \text{ m}$ (Distancia de movilización)

De la **tabla 1.1**, escogemos:

$\delta_L = 8^\circ$ (Ángulo de fricción entre la geomembrana y el material inferior).

$\delta_U = 18^\circ$ (Ángulo de fricción entre la geomembrana y el material superior).

Cálculo del esfuerzo normal

$$\sigma_n = \gamma_{AT} H = 22.00 \text{ KN/m}^2$$

Reemplazando los valores en la ecuación (1.1), obtenemos:

$$t_{requerido} = 0.0002 \text{ m} = 0.20 \text{ mm}$$

Obteniéndose un factor de seguridad de:

$$FS = \frac{t_{instalado}}{t_{requerido}} = \frac{0.75 \text{ mm}}{0.20 \text{ mm}} = 3.78 > 1.00 \quad \text{ok}$$

El factor de seguridad obtenido, es aceptable; la geomembrana cumple con esta parte de la verificación.

b.- Estabilidad de la Cobertura de Relleno

Datos de entrada:

$\gamma_r = 18 \text{ KN/m}^3$ (Peso específico del material de relleno en el talud).

$\beta = 26.57^\circ$ (Ángulo de inclinación de talud con respecto a la horizontal)

De la **tabla 1.1**, escogemos:

$\delta_U = 18^\circ$

Considerando una altura de relleno de 0.30m, obtenemos

$$W = 18 \times 0.30 = 5.40 \text{ KN}$$

Cálculo de T_{adm}

$$T_{adm} = \sigma_{adm} t = 9300 \times 0.00075 = 6.975 \text{ KN}$$

Empleando la expresión (1.2) y reemplazando valores:

$$FS = \frac{(5.40 * \cos 26.57^\circ) \tan 18^\circ (L) + 6.975}{5.40 \sin 26.57^\circ (L)}$$

$$FS = \frac{1.569 (L) + 6.975}{2.415 (L)}$$

Tabulando valores para L:

L(m) (Long. de Inclinación)	FS
2	2.09
4	1.37
6	1.13
8	1.01
10	0.94

Se observa de los valores calculados que el relleno propuesto, sería aceptable hasta una longitud de inclinada de 8.00m aproximadamente, el cual supera la longitud del talud que tenemos en el proyecto 2.25 m aproximadamente.

c.- Diseño de la Longitud y Zanja de Anclaje

$\phi = 20^\circ$ (Ángulo de fricción de material de relleno)

Con el valor de ϕ , calculamos los valores:

$$P_A = 13.23d_{at}^2$$

$$P_P = 55.08d_{AT}^2$$

Reemplazando valores en la expresión (1.2.4.4)

$$6.975 \times 0.894 = \frac{18d_{AT}L_{RO}(0.325 + 0.141) - 13.23d_{AT}^2 + 55.08d_{AT}^2}{0.894 - 0.447 \times 0.141}$$

De lo anterior obtenemos la expresión cuadrática siguiente:

$$41.85d_{AT}^2 + 8.388d_{AT}L_{RO} - 5.182 = 0$$

Asumiendo el valor de $L_{RO}=0.50m$

Obtenemos que:

$$d_{AT} = 0.34m$$

Para el proyecto consideraremos $d_{AT} = 0.50m$

2.4.3 DISEÑO DE GEOTEXTIL DE PROTECCION

Dada la expresión:

$$FS = \frac{P_{adm}}{P_{req}} \quad (1.4)$$

Y considerando la expresión de la Norma ASTM D5514

$$P_{adm} = \left(450 \frac{M}{H^2} \right) \left(\frac{1}{FM_S * FM_{DR} * FM_A} \right) \left(\frac{1}{FR_{FL} * FR_{DQB}} \right)$$

Donde:

$$P_{adm} = 450 * M / H^2 \geq 50 \text{ Kpa}$$

Consideramos una altura efectiva de protuberancia del terreno de $H=12mm$, y de acuerdo a la Tabla 1.2.4.3, el Factor de seguridad global para el diseño es 4.5

Cálculo de la Presión Requerida:

$$\gamma_{AT} = 22.00 \text{ KN/m}^3 \text{ (Peso específico del material de relleno)}$$

$$h = 1.00 \text{ m (Altura del material de relleno)}$$

Entonces:

$$P_{req} = \gamma_{AT} h = 22.00 \text{ KN/m}^2$$

De la expresión inicial (1.4)

$$P_{adm} = P_{req} FS = 22.00 \times 4.50 = 99 \text{ Kpa} > 50 \text{ Kpa}$$

Valores obtenidos a partir de tablas:

Factor de Modificación por Forma de la Protuberancia **Tabla 1.3**

$$FM_S = 1.00$$

Factor de Modificación por Densidad del Relleno **Tabla 1.4**

$$FM_{DR} = 0.50$$

Factor de Modificación por Efecto de Arco en Sólidos **Tabla 1.5**

$$FM_A = 0.25$$

Factor de Reducción por Fluencia **Tabla 1.6**

$$FR_{FL} = 2.00 \text{ (considerando un gramaje de } 200 \text{ gr/m}^2\text{)}$$

Factor de Reducción por degradación química y biológica a largo plazo **Tabla 1.7**

$$FR_{DQB} = 1.50$$

De la expresión (1.5), despejamos M:

$$M = \frac{P_{adm} H^2 FM_S FM_{DR} FM_A FR_{FL} FR_{DQB}}{450}$$

Reemplazando valores:

$$M = \frac{99.00 \times 12.00^2 \times 1.00 \times 0.50 \times 0.25 \times 2.00 \times 1.50}{450}$$

$$M = 11.88 \text{ gr/m}^2$$

Emplearemos el geotextil de polipropileno punzonado por agujas de 200 gr/m²

2.5 PROGRAMACIÓN DE OBRA

A continuación se presenta la programación de obra para la construcción del depósito de relaves.

PROYECTO: DEPOSITO DE RELAVES CON APLICACIÓN DE GEOSINTÉTICOS
CRONOGRAMA DE AVANCE DE OBRA

ITEM	DESCRIPCION	18-Feb	25-Feb	04-Mar	11-Mar	18-Mar	25-Mar	01-Abr	08-Abr	15-Abr	22-Abr	29-Abr
1.00	TRABAJOS PRELIMINARES Y COMPLEMENTARIOS											
1.01	LIMPIEZA DE AREA DE TRABAJO	█										
1.02	LIMPIEZA DE AREA DE TRABAJO	█										
1.03	INSTALACIONES ELECTRICAS PROVISIONALES	█										
1.04	TRAZO Y REPLANTEO		█	█								
2.00	MOVIMIENTO DE TIERRAS											
2.01	EXCAVACION MANUAL DE DEPOSITO DE RELAVES	█										
2.02	EXCAVACION MANUAL DE ZANJAS DE ANCLAJE		█	█								
2.03	ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE		█	█	█							█
2.04	COMPACTACION DE BANQUETA Y TALUDES DE DEPOSITO DE RELAVES				█	█						█
2.05	RELLENO Y COMPACTACION CON MATERIAL PROPIO											█
3.00	GEOSINTETICOS											
3.01	SUMINISTRO E INSTALACION DE GEOTEXTIL 200 GR/M2 DE PROTECCION					█						
3.02	SUMINISTRO E INSTALACION DE GEOMEMBRANA DE HDPE 0.75 mm					█	█					
3.03	SUMINISTRO E INSTALACION DE GEODRÉN										█	█
4.00	TUBERÍA DE CONDUCCIÓN											
4.01	SUMINISTRO Y COLOCACION DE TUBERÍA DE HDPE 2"										█	█
5.00	PRUEBAS DE CAMPO											
5.01	TOMA DE MUESTRAS Y ENSAYOS						█	█			█	█

CAPÍTULO 3: PROCESO CONSTRUCTIVO DEL PROYECTO

3.0 PROCESO CONSTRUCTIVO DEL PROYECTO

3.1 TRAZOS, REPLANTEO Y NIVELES

3.1.1 TRAZOS Y REPLANTEO

Previo a los trabajos de replanteo se debe verificar que los planos topográficos coincidan con la topografía del terreno.

Los trazos y replanteos para la ejecución del proyecto se efectuaron con el fin de definir la ubicación exacta de la Obra, considerando ejes, cotas y niveles, que nos sirven como referencias para el control de medidas y cotas. Así mismo los detalles descritos en los diseños elaborados para el Depósito de Relaves se plasmaron en el terreno. Se empleó un equipo de Estación Total para la ubicación de los puntos referenciados en los planos de ubicación y de detalles, así mismo se contó con personal especializado para la realización de estas tareas. Adicional al empleo del equipo de Estación Total se emplearon cinta métrica, cordeles, tiza, etc. Los trabajos considerados en esta partida incluyen el replanteo e instalación de referencias monumentadas de los ejes.

Los planos del proyecto usados para realizar los trazos y replanteo se adjuntan en el anexo A-1: Planos del proyecto.



Foto N° 3.1 Empleo de Estación Total para ubicación de puntos para el Replanteo



Foto N° 3.2 Trazado de zanja de anclaje



Foto N° 3.3 Trazado de zanja para colocación de tubería de salida de agua drenada.

3.1.2 CONTROL DE NIVELES

Esta partida consiste en la verificación en campo de las cotas proyectadas de acuerdo a los planos de detalles. Para el control de niveles se emplearon los equipos consistentes en: un nivel automático marca Kern, y una mira graduada. El personal que realiza esta labor es especializado en este tipo de trabajos. El control de estas tareas debe ser constante mientras duren los trabajos de excavación y refine del terreno; así también durante la instalación de las tuberías corrugada del geodrén, como la tubería de desfogue de las aguas drenadas, ya que estas deben tener una pendiente, de acuerdo a los planos de diseño.



Foto N° 3.4 Empleo de Nivel Automático para control de niveles.

3.2 MOVIMIENTO DE TIERRAS

3.2.1 EXCAVACIÓN

La excavación se realizó manualmente; en el depósito de relaves se tuvo excavaciones para el depósito de relaves propiamente dicho, excavación de zanjas de anclaje, así como la excavación para la instalación de la tubería de desfogue del agua resultante del drenaje del material de relave.



Foto N° 3.5 Personal obrero en pleno trabajo de excavación del deposito de relaves.

Foto N° 3.6 Excavación de zanja para instalación de tubería de desfogue de agua drenada.



Foto N° 3.7 Verificación de los trabajos de excavación, en zanjas de anclaje.

3.2.2 REFINE, NIVELACION Y COMPACTACION

Esta partida comprende los trabajos de refine de los taludes, la base y las zanjas de anclaje del depósito de relaves. Aquí se deben sustraer los materiales punzo cortantes, piedras angulosas, o cualquier otro elemento que pudiese dañar los materiales geosintéticos.

La compactación se realizó con un plancha compactadora. El personal empleado para este trabajo fueron un operador, y un ayudante. Para la compactación de los taludes se utilizó un pisón, ya que en los taludes no es posible realizar la compactación con la plancha compactadora.



Foto N° 3.8 Compactación de la banqueta del deposito de relaves



Foto N° 3.9 Verificación que los trabajos de refine, nivelación y compactación.

3.2.3 RELLENO CON MATERIAL PROPIO

Las actividades realizadas en esta parte, abarcó básicamente los rellenos de las zanjas de anclaje de la geomembrana, geotextil, y geodrén; y también la zanja donde fue colocada la tubería de desfogue de las aguas residuales resultante del drenaje de los relaves depositados.



Foto N° 3.10 Se muestra las zanjas de anclaje rellenas con material propio

3.3 INSTALACIÓN DE GEOTEXTIL DE PROTECCIÓN

Previo a la instalación de la Geomembrana, se va a proceder a instalar el geotextil punzonado por agujas. El geotextil debe ser manipulado con cuidado de manera de asegurar que no sea dañado. El área de instalación deberá ser preparada perfilándola y dejándola libre de obstrucciones que puedan dañar el geotextil. No se deberá permitir la presencia de piedras, excesivo polvo o humedad en el geotextil.

El geotextil deberá ser desenrollado tan suavemente como fuera posible sobre la superficie preparada, libre de arrugas y pliegues. En taludes, los rollos de geotextil deberán ser anclados en la corona y desenrollados hacia abajo. Si el viento pudiera levantar los geotextiles, estos deberán ser mantenidos en su lugar con sacos de arena u otro material que no dañe el geotextil. Los geotextiles adyacentes deberán ser cosidos o traslapados.

Durante la construcción, se deberá tener cuidado en evitar la contaminación del geotextil con suelo u otro material. El geotextil debe ser colocado suelto y no excesivamente tenso. Para colocarlo en íntimo contacto con el suelo, debe tenerse cuidado de no dejar espacios vacíos entre el geotextil y el suelo subyacente. Los geotextiles adyacentes deberán ser cosidos o traslapados, el traslape será como mínimo 30 cm. Los geotextiles que hayan sido dañados deberán ser reparados inmediatamente.

El corte de los paneles detallados en los planos (ver en Anexos A-01: PR-OC-04), debe realizarse en una zona abierta, y plana. Deben verificarse las medidas en campo, para una correcta instalación.

Foto N° 3.11 Retiro de piedras angulosas, u otro material que pueda dañar el geotextil.



Foto N° 3.12 Tendido de uno de los paneles de geotextil; dándole la forma

3.4 INSTALACIÓN DE GEOMEMBRANA

La instalación de Geomembrana requiere de algunos cuidados a ser tomados, donde la nivelación del terreno tiene un papel sobresaliente.

Previamente a la instalación de la geomembrana, es necesario que la superficie de apoyo sea debidamente nivelada, compactada (generalmente se considera una compactación igual ó superior al 90% del Proctor Modificado, de manera tal que evite asentamientos diferenciales que puedan inducir deformaciones importantes a la geomembrana). Se recomienda, por tal motivo, que la geomembrana sea instalada inmediatamente después de instalada un geotextil para la protección de la Geomembrana y así asegurar la integridad del sistema de impermeabilización.

Si la superficie del terreno esta apta para ser revestida, se procede a extender las láminas de geomembrana de acuerdo al plano de distribución de paneles (ver Anexos A-1: PR-OC-03). Se deben enumerar los paneles para su identificación y de referencia en los planos, más el número de identificación del rollo del fabricante y la fecha en que se entrego.

Una vez extendido los paños sobre la superficie del terreno se coloca sobre los paños bolsas de arena o cualquier otro material de la zona, con fin de evitar el levantamiento de los paños por acción del viento, estas bolsas de arena permanecerán durante todo el tiempo necesario para la correcta fijación y anclaje de la geomembrana. El despliegue debe ejecutarse en el sentido de máxima pendiente de la superficie, no aceptándose soldaduras horizontales en taludes.

En las zonas donde se presentan anclajes serán presentadas y fijadas temporalmente para realizar los cortes y traslapes necesarios.

El anclaje de revestimientos utiliza una zanja de anclaje perimetral excavada en el terreno y rellena con el mismo material proveniente de dicha excavación; la superficie de apoyo de la zanja de anclaje es uno de los puntos de fijación del revestimiento por lo que debe estar nivelada y compactada, además debe estar libre de afloramientos rocosos, grietas, depresiones y cambios abruptos de pendientes.

Los detalles de las dimensiones y el número del rollo del fabricante para cada panel, se deberán registrar en el formato establecido para su respectiva identificación, esto conforme se va realizando los trabajos de despliegue de la geomembrana. Una vez ubicados los paneles en las posiciones indicadas en el plano de distribución de paneles, se deberán revisar que los paneles no presenten daños físicos que pueda perjudicar el rendimiento del revestimiento acabado y si esto sucediera se deberá eliminar y descartar cualquier daño en la capa externa de los paneles. Las áreas reparadas deberán ser registradas en el dibujo del plano del panel.

Los empalmes se deben localizar longitudinalmente y en el sentido de la pendiente del talud. Asimismo se pueden realizar empalmes transversales o diagonales, siempre y cuando estos no sean perpendiculares a líneas de máxima pendiente.

Una vez ubicados los paneles en su posición correspondiente y haber hecho el control calidad respecto a daños y anclajes se procede a la unión de los traslapes de los paneles. El traslape debe estar comprendido entre 7 cm. y 10 cm. según el tipo de soldadura, para asegurar que los excedentes a ambos costados de la línea de soldadura son suficientes para ser sometidos a ensayos destructivos y que la fusión sea ejecutada completamente en el interior del

traslape. Todas las costuras de Polietileno de Alta Densidad (HDPE) se deberán soldar por extrusión o por fusión.

Al comenzar cada jornada de trabajo se debe efectuar una tira de prueba por maquina. La tira de prueba se debe hacer al pie de la obra y bajo las mismas condiciones en que se hacen las costuras de los revestimientos. Las dimensiones de la tira de prueba son de 1.20m de largo por 0.30m de ancho, con la costura centrada longitudinalmente; de esta se obtiene los cupones de ensayo.



Foto N° 3.13 Colocación de lastres para evitar que la geomembrana instalada se mueva, y así no se forme pliegues.

3.1.1 PRUEBAS DE ADHERENCIA

La parte sobrepuesta del cupón se debe tirar 180° desde la parte superior de la misma usando un tensiómetro. Un paso se define como una unión en la cual el material de lámina se rompe, sin dañar la soldadura; una falla se define como un defecto de adherencia en la costura. Se debe tener cuidado en que el cupón de muestra sea 2.54 cm. de ancho, medido en forma perpendicular a la costura. Esto es por que el esfuerzo a que será sometida la muestra se expresa en libras/pulgada lineal y cualquier variación en el ancho alterará dicho valor.

Antes de la soldadura del panel de geomembrana se debe registrar la siguiente información:

- Nombre del soldador
- Numero de la maquina de soldar
- Soldadura nueva o soldadura de reparación.

- Condiciones climáticas, tales como lluvia, viento etc.
- Temperatura ambiente
- Velocidad de la maquina
- Fecha de la prueba
- Hora de prueba

3.4.2 SOLDADURA DE GEOMEMBRANA HDPE

SOLDADURA POR FUSIÓN O CUÑA CALIENTE (HOT WEDGE)

Es una doble unión, realizada directamente por una máquina soldadora portátil y obtenida por calentamiento y presión.

Con este sistema no se necesita lijar, ni calentamiento previo, ni aporte de material. Para realizar una buena unión entre geomembranas, hay que conjugar bien los parámetros de:

- Velocidad de la máquina,
- Presión del rodillo
- Temperatura en zonas de contacto y características del medio (humedad, temperatura, viento, etc....)

Entre las dos uniones queda siempre el conducto intermedio, o canal de comprobación por el que se realiza la prueba de que ambas soldaduras han sido realizadas correctamente insuflando aire a presión que detecta los poros o faltas de unión con ayuda de un manómetro y dispositivo correspondiente.

Este sistema de unión es más aconsejable para soldaduras de gran longitud, por tener mejor resistencia al desgarro y por la facilidad de obtener una comprobación total del éxito de la soldadura.

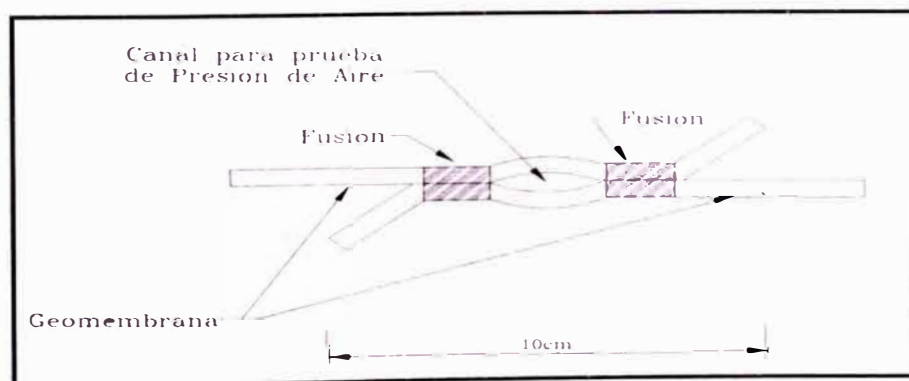


Figura 3.1 Detalle típico de soldadura por fusión.

SOLDADURA POR EXTRUSIÓN (EXTRUSIÓN WELDER)

Sistema de soldado efectuado por un cordón continuo de Polietileno de Alta Densidad (Welding Rod) con el que se logra una optima fusión por ser de la misma calidad de la geomembrana.

Previo a los trabajos de unión por el aporte de material, se ha realizado una preunión de las zonas a unir y un lijado de 7cm aproximadamente común a ambas láminas, este lijado se realizará siempre en dirección perpendicular a la soldadura, no eliminando más del 10% del espesor de la lámina.

La soldadura queda homogénea y la resistencia de la zona soldada es igual y/o superior a la de la lámina.

Este proceso es usado principalmente para reparaciones, parches y detalles especiales de fabricación.

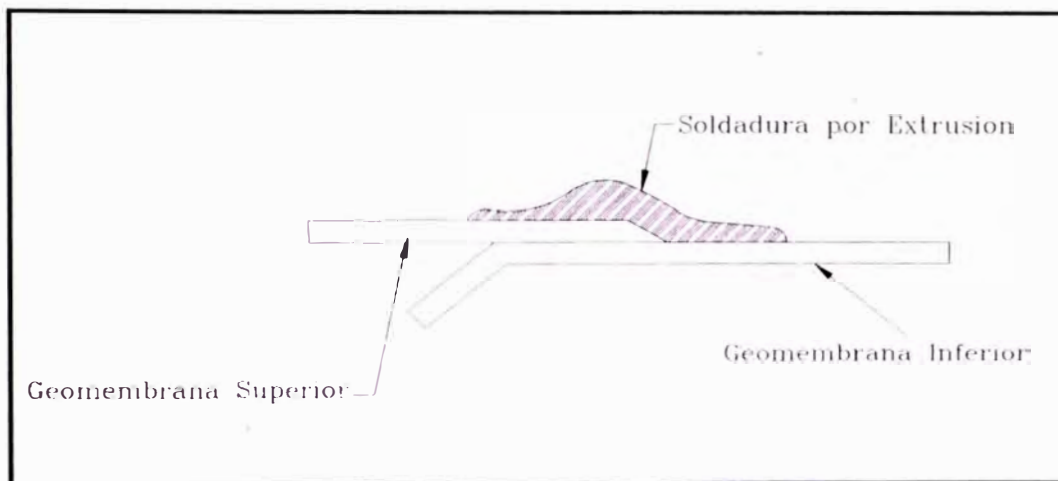


Figura 3.2 Detalle típico de soldadura por extrusión.

3.4.3 EQUIPOS PARA SOLDADURA DE GEOMEMBRANA

EQUIPO DE CUÑA CALIENTE

Es una máquina autopropulsada, provista de dos rodillos entre los cuales se encaja el traslape de las geomembranas a unir.

La aplicación de temperatura se produce antes de los rodillos, mediante una cuña caliente, a medida que la soldadora avanza propulsada por los rodillos, estos presionan las partes calentadas por la cuña logrando dos líneas de

soldadura paralelas separadas por un área libre que constituye el denominado "canal de aire".

Tanto la temperatura, como la presión de contacto de las geomembranas y la velocidad de avance de los rodillos son ajustadas mediante controles independientes en la soldadora.

La selección de los parámetros de soldadura las realiza el operador según el tipo de polímero que conforma la geomembrana y las condiciones ambientales, además del espesor de las láminas a unir, entre otras variables.

Foto 3.14 Soldadora de termofusión por cuña caliente.

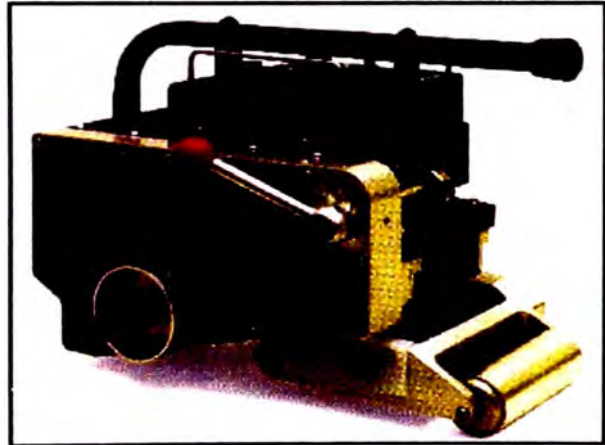


Foto 3.15 Proceso de soldadura por cuña caliente.

EQUIPO DE EXTRUSIÓN

Es una soldadora guiada manualmente, provista de una cámara de fusión de material de aporte, una boquilla para la extrusión del aporte y una boquilla de precalentado de la superficie que recibirá el material de aporte o extruído.

El material de aporte, ya sea como rodón o granulado, es ingresado a la cámara de fusión donde por medio de un tornillo sin fin es hecho fluir a través de la boquilla de extrusión. Mientras el operador guía la boquilla de extrusión apoyándola sobre las partes a unir, un flujo de aire caliente expelido por la boquilla de precalentado prepara las superficies previamente pulidas para su perfecta adherencia con el cordón de soldadura.

Las variables de control para este tipo de máquina son la temperatura de fusión del material de aporte, que dependerá del tipo de polímero empleado y la temperatura del flujo de aire caliente, que dependerá del espesor de las láminas y de las condiciones ambientales.

La totalidad de los detalles, parches y uniones especiales pueden ser ejecutados por medio de este método. Previa a la ejecución de la soldadura las superficies a soldar por el método de extrusión deben ser previamente unidas de modo de garantizar el contacto pleno de las superficies bajo el cordón de soldadura.

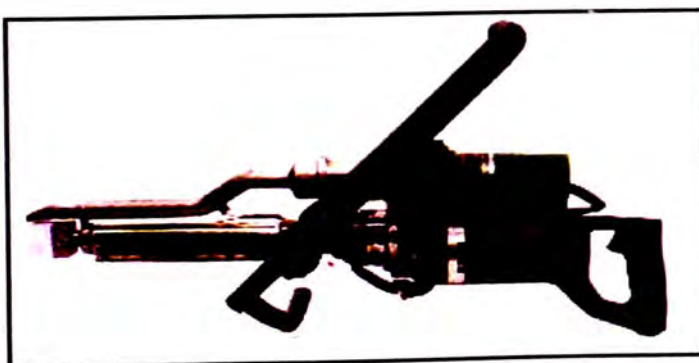
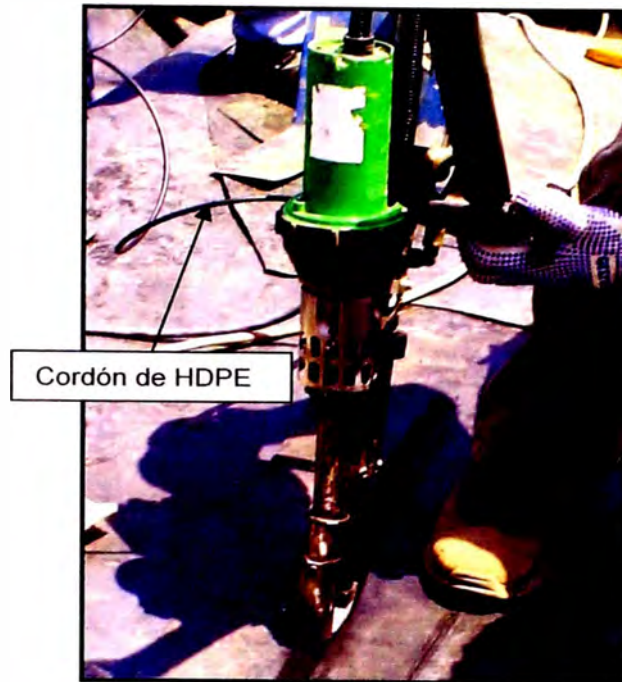


Foto 3.16 Soldadora por extrusión de material de aporte.

Foto 3.17 Proceso de soldadura por extrusión



3.1 INSTALACIÓN DE GEODRÉN

Luego de realizada la instalación de la geomembrana en todo el depósito, es turno de la instalación del geodrén. Los rollos de este geocompuesto de drenaje, debe ser manipulado de forma segura para que no sean dañados. El área de instalación deberá ser preparada perfilándola y dejándola libre de obstrucciones que puedan dañar el geocompuesto. No se deberá permitir la presencia de piedras, vegetación, raíces, excesivo polvo o humedad en el geocompuesto de drenaje. No se debe operar ningún equipo directamente sobre el geocompuesto de drenaje.

El geocompuesto de drenaje deberá ser desenrollado tan suavemente como fuera posible sobre la superficie limpia, libre de arrugas y pliegues. El geocompuesto drenaje puede ser instalado en su sentido longitudinal o transversal. Los métodos de fijación del geocompuesto tridimensional de drenaje pueden ser a través de pines o con pegamento. El geocompuesto de drenaje y la tubería perforada se colocaron como se detallan en los planos.

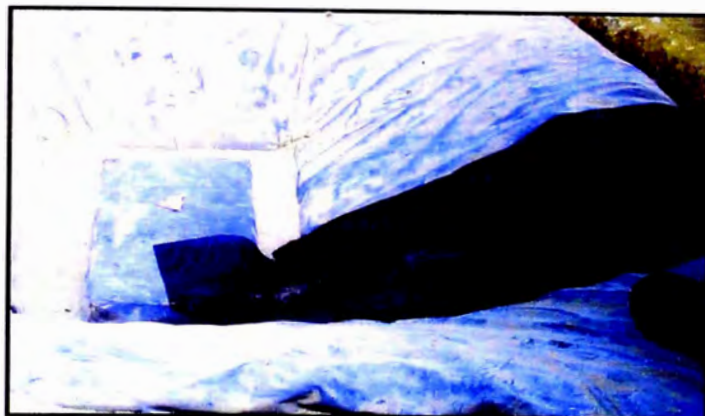
Durante la construcción, se deberá tener cuidado en evitar la contaminación del geocompuesto de drenaje con suelo u otro material. El geocompuesto

tridimensional de drenaje se colocó suelto y no excesivamente tenso. Los geocompuestos drenaje adyacentes deberán ser cosidos o traslapados, el traslape será como mínimo 10 cm.



Foto 3.18 Despliegue de geodrén.

Foto 3.19 Instalación de geodrén.



3.2 INSTALACIÓN DE TUBERIAS

La instalación de las tuberías de HDPE se debe realizar controlándose los niveles, ya que estos son una pieza importante para la descarga del agua drenada. Estas se colocan sobre una cama de arena, para evitar un aplastamiento y daños por materiales propios del terreno.

3.3 SEGURIDAD EN OBRA

Para cada Proyecto se genera un Plan de Seguridad, Salud y Ambiente, específico. En cada Proyecto se generan los cambios y ajustes necesarios para

garantizar el cumplimiento del plan de seguridad, salud y ambiente. Conocer y difundir el Plan de Seguridad, Salud Ocupacional y Medio Ambiente del Proyecto, los procedimientos y las regulaciones gubernamentales aplicables al proyecto, es parte de las funciones de ingeniero Residente y/o Ingeniero de Seguridad asegurando su comprensión y cumplimiento por parte del personal empleado y obrero bajo su cargo. Así mismo se debe seguir los procedimientos e instrucciones de trabajo previamente planificados con Seguridad, Salud Ocupacional y Medio Ambiente, retroalimentándolos para asegurar su mejora continua. Asegurar que todo el personal que ingrese a las instalaciones del proyecto sea entrenado en Seguridad, Salud Ocupacional y Medio Ambiente, es una función primordial, por parte de los encargados de la construcción. Los Equipos de protección personal son el casco, los lentes, los guantes, etc. También tenemos los equipos de protección común (extintores, conos de seguridad, luminarias, etc.)

CAPÍTULO 4: CONTROL DE CALIDAD DE OBRA

4.0 CONTROL DE CALIDAD EN OBRA

Básicamente se mencionarán los trabajos de control de calidad a efectuarse sobre las Geomembranas.

4.1 MUESTREO EN OBRA

Se debe realizar una comprobación del 100% de las uniones efectuadas entre geomembranas por lo que se tiene que hacer un control de calidad de las soldaduras y esta se realiza mediante ensayos no destructivos y ensayos destructivos.

4.1.1 ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

Una vez ejecutada la línea de soldadura y antes de realizar la extracción de los testigos para ensayos destructivos, la estanqueidad del sistema en las zonas de unión debe ser comprobada por medio de ensayos no destructivos. Existen fundamentalmente tres tipos de ensayos no destructivos para la verificación de la estanqueidad de las uniones, ellos son los que a continuación se indican.

a.- Caja de vacío

La cámara o caja de vacío de 1m de largo con una tapa transparente, se coloca sobre la unión y se aplica un vacío de aproximadamente 15 KPa. Cuando se encuentra una fuga, la solución jabonosa previamente colocada sobre la unión, muestra burbujas, reduciendo por tanto el vacío. Esto es debido a que el aire entra debajo del revestimiento y pasa a través de la zona no ligada. La prueba es lenta de realizar y a menudo es difícil hacer una unión hermética en el fondo de la caja, en contacto con los bordes de la unión. Debido a las deformaciones ascendentes de la geomembrana en la caja de vacío, solamente se deben ensayar de este modo, geomembranas con espesores mayores a 1.0 mm. Para las geomembranas flexibles se puede adaptar el fondo de la caja con una malla de acero para evitar deformaciones excesivas. Si se va inspeccionar el 100% de las uniones de campo, tomará gran cantidad de personal de campo libre de preocupaciones, y aun así no cubrirá el área alrededor de los sumideros, zanjas

de anclaje y parches con cierto grado de seguridad. El método también es imposible de utilizar en taludes laterales, puesto que no se puede obtener la presión adecuada hacia abajo requerida para hacer un buen sello (dado que esto generalmente se hace estando parado encima de la caja).

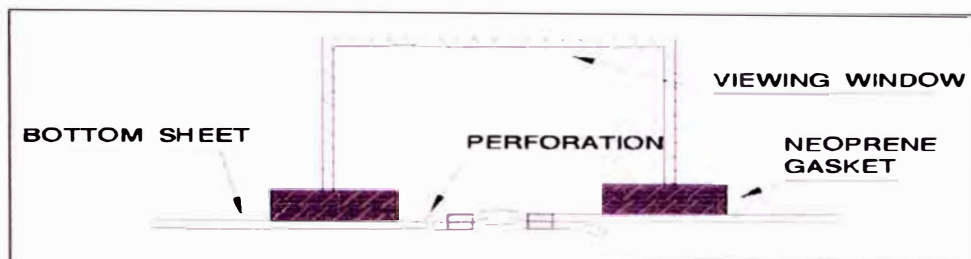


Figura 4.1 Prueba de caja de vacío



Foto 4.1 Prueba de caja de vacío

a.- Prueba de chispa eléctrica (Spark Test)

La prueba de chispa eléctrica, se utiliza en cordones de *extrusión*, a los cuales se les ha dejado inserto un alambre de cobre calibre 24, previo a la colocación del material de aporte. Luego de realizada la unión, se conecta una carga de prueba de cerca de 20,000 Voltios a uno de los extremos del alambre y se mueve lentamente a lo largo de la unión. Un defecto de la unión entre la punta de prueba y el alambre encajado da lugar a una alarma audible o chispa eléctrica de la unidad.

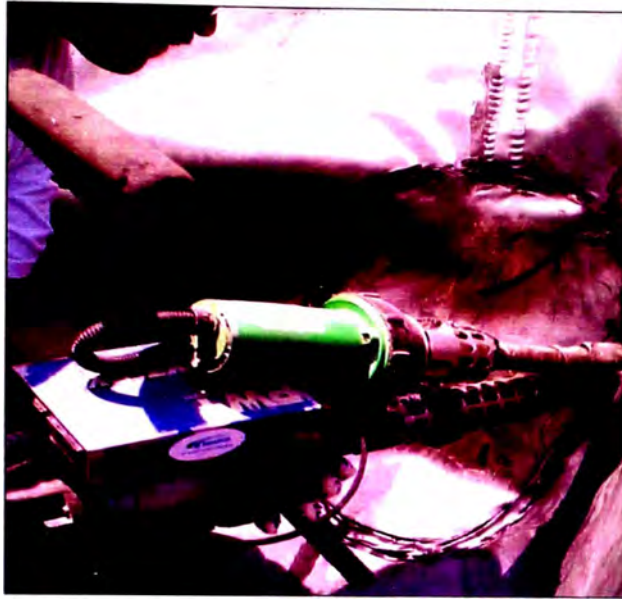


Foto 4.2 Colocación de alambre de cobre con soldadura de extrusión, para prueba de chispa eléctrica

b.- Prueba de canal de aire

Los equipos necesarios para esta prueba son: bomba de aire (manual o a motor) equipada con un manómetro, una manguera con accesorios y una aguja hipodérmica para alimentación de la presión. El canal de aire que resulta entre la doble unión por termofusión, es sellada a ambos extremos de la unión a ser probada. Luego se infla el canal usando la aguja hipodérmica y se presuriza hasta aproximadamente 200 KPa., una vez llegada a la presión, se cierra la llave y se mantiene cerrada por cinco minutos, tiempo en el cual la presión no debe disminuir en 20 Kpa, caso contrario se ubica la zona de falla para hacer la reparación. Realizado el ensayo, y obtenido los valores satisfactorios, se procede a retirar la aguja y se sella los agujeros dejados.

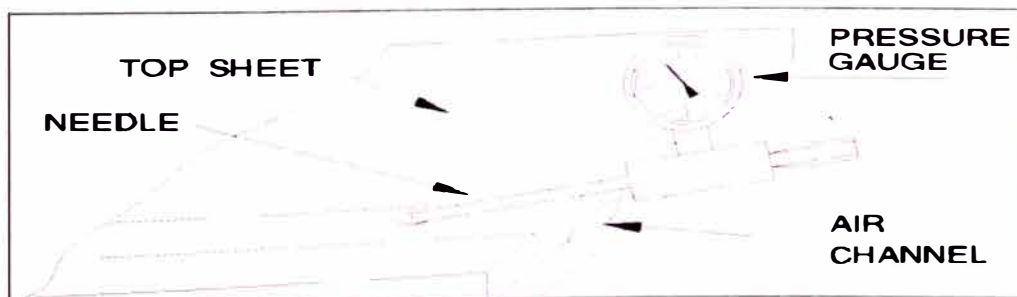


Figura 4.2 Prueba de canal de aire



Foto 4.3 Prueba de canal de aire

4.1.1 ENSAYOS DESTRUCTIVOS

A diferencia de los ensayos no destructivos, que tienen como objetivo determinar la estanqueidad de todas las uniones del revestimiento, los ensayos destructivos sirven para evaluar estadísticamente la calidad de las soldaduras. Los ensayos son ejecutados en probetas cortadas directamente desde el revestimiento recién unidos, ya sea por extrusión o por cuña caliente. Para ambas uniones los ensayos son de dos tipos:

a.- Corte

Consiste en someter la unión entre las láminas de la probeta de ensayo a un esfuerzo de corte directo ejecutado a una velocidad determinada. Para esto, se fijan los extremos (respecto al eje de soldadura) a las respectivas tenazas del tensiómetro y se procede con el ensayo. Una vez finalizado el ensayo se registra la máxima resistencia de la probeta y se indica si la falla se produjo fuera o en la soldadura.

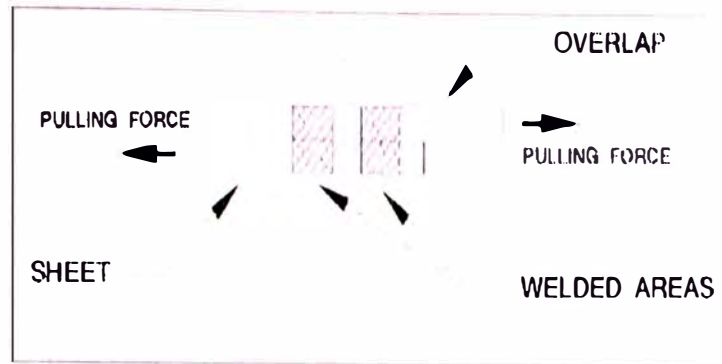


Figura 4.3 Prueba de corte

b.- Desgarre

El procedimiento es semejante en metodología y condición de aprobación al ensayo de corte. Su diferencia radica en que para someter a desgarre la soldadura, los extremos de la probeta, asidos por las tenazas, corresponden a las láminas ubicadas a un mismo extremo de la soldadura. La aprobación de la probeta requiere que la eficiencia al desgarre iguale o exceda las especificaciones de construcción. Este ensayo es ejecutado para ambos extremos de la probeta en el caso que la unión esté provista de canal de aire.

Para garantizar una calidad óptima de la soldadura todos estos métodos exigen una habilidad y experiencia tanto en la ejecución de la soldadura como en la comprobación de éstas. Para garantizar el correcto funcionamiento tanto de las máquinas de soldar como de la maquinaria de control, antes de comenzar los trabajos se deben comprobar y verificar éstos. Estas verificaciones y calibraciones se pueden ejecutar por un instituto independiente.

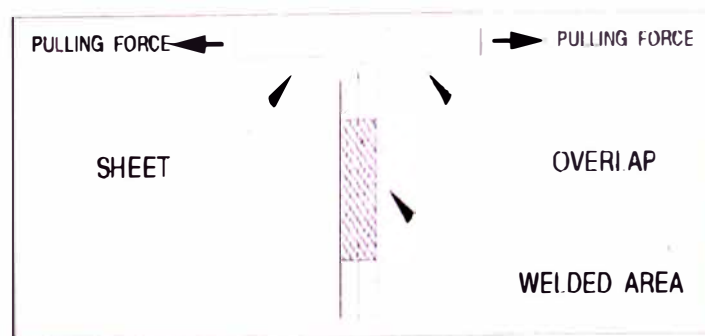


Figura 4.4 Prueba de desgarre

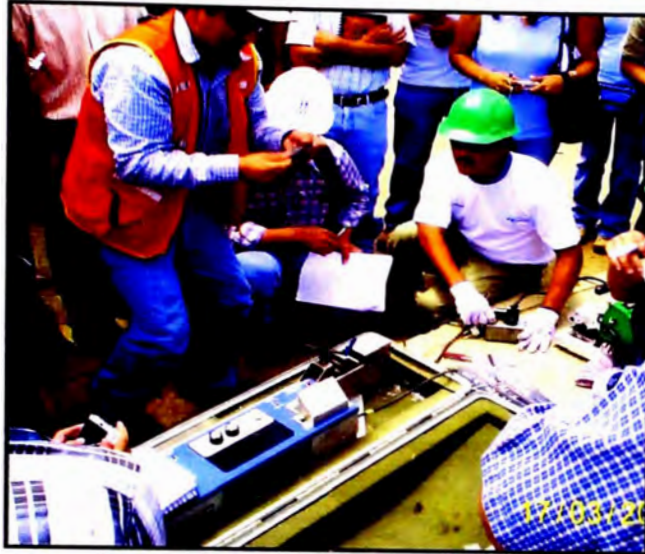


Foto 4.3 Equipo de campo para pruebas de corte y desgarre

4.1 ENSAYOS DE LABORATORIO

Los ensayos de laboratorio más comunes para asegurar que los materiales llegados a obra son los especificados, son los siguientes:

Geomembranas

Espesor, Densidad, masa por unidad de área, etc., en cuanto a sus propiedades físicas. Respecto a las propiedades mecánicas tenemos: resistencia a la tensión (Índice) – ASTM D638; resistencia a la tensión (Muestra Ancha) – ASTM D4885, resistencia a la tensión (Axi-simétrico) – ASTM D5716; y respecto a sus propiedades hidráulicas la más resaltante es: *la permeabilidad*, la cual es calculada a partir de la *transmisibilidad al vapor de agua* (ASTM E96).

Geotextiles

Para los geotextiles se presentan muchos ensayos para verificar la calidad de los geotextiles.

Los ensayos para verificar sus propiedades físicas: Gravedad Específica ASTM D1505, Masa por unidad de Área (Peso) – ASTM D5261, Espesor ASTM D5199, Rigidez – ASTM D1388, estas son las relevantes. En cuanto a sus propiedades mecánicas tenemos: Compresibilidad; resistencia a la tensión, resistencia a la fatiga, resistencia al estallido, resistencia de Rasgado, ensayos de Impacto, ensayo de Punzonamiento, comportamiento a la Fricción.

Sus propiedades hidráulicas son ensayadas considerando las siguientes: Tamaño de Abertura Aparente (TAA), permitividad (Permeabilidad en el Plano Transversal), transmisividad (Permeabilidad en el Plano).

4.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Previo al inicio de los trabajos de construcción, se deben realizar los ensayos antes descritos para los materiales geosintéticos, con el objeto de garantizar que estos tengan una adecuada funcionalidad dentro del sistema de impermeabilización planteado.

Obtenidos los resultados de campo y/o laboratorio se decide aprobar o no el uso de los materiales llegados a obra para iniciar los procesos de construcción de impermeabilización del depósito de relaves.

Para nuestro caso, un proyecto experimental, no se pudieron efectuar ensayos de los geosintéticos en laboratorio, pero en todos los proyectos deben ser efectuados, tanto para el control de los materiales, como para el manejo del medio ambiente, ya que si estos materiales fallan, pueden ocasionar graves daños al ecosistema.

El proveedor, en nuestro caso Amanco del Perú, nos proporcionó una cartilla de especificaciones técnicas de los materiales geosintéticos involucrados, tales como geotextil, geomembrana, y geodrén. Éstas se adjuntan en el anexo A-5: especificaciones técnicas.

CONCLUSIONES

- La geomembrana de HDPE empleada en el proyecto como material para “impermeabilizar” el depósito de relaves, resulta en comparación con la arcilla, material convencional usado en obras de ingeniería, muchísimo menos permeable, llegando a ser hasta 10^6 veces menos permeable en promedio.
- El personal que va realizar las soldaduras de las geomembranas, deberá tener alta capacitación y entrenamiento en este tipo de labores; ya que se emplean equipos eléctricos y/o electrónicos y si no se tiene control de ellos o se manipula mal, el equipo pueden dañar o realizar una mala soldadura sobre la geomembrana, lo que al final repercute en un mayor costo, por los gastos que se generan por la reparación.
- La facilidad y practicidad del empleo de los materiales geosintéticos, tales como la geomembrana y geotextil, en su manipuleo e instalación nos dan rápidamente una idea de que el costo por la mano de obra es menor, en comparación con cualquier sistema convencional de construcción, ya que el personal operario que manipula los equipos para la soldadura es mínimo, y la mayor parte de este personal podría tomarse de la zona donde se van a ejecutar el proyecto, minimizando así gastos de transporte, vivienda y otros.
- El empleo del geocompuesto de drenaje, Geodrén, resultó ser un excelente componente en el proyecto, tanto por sus propiedades de drenaje así como por su facilidad para su instalación. En la actualidad es muy usado en diversas obras de ingeniería, por los beneficios antes mencionados.

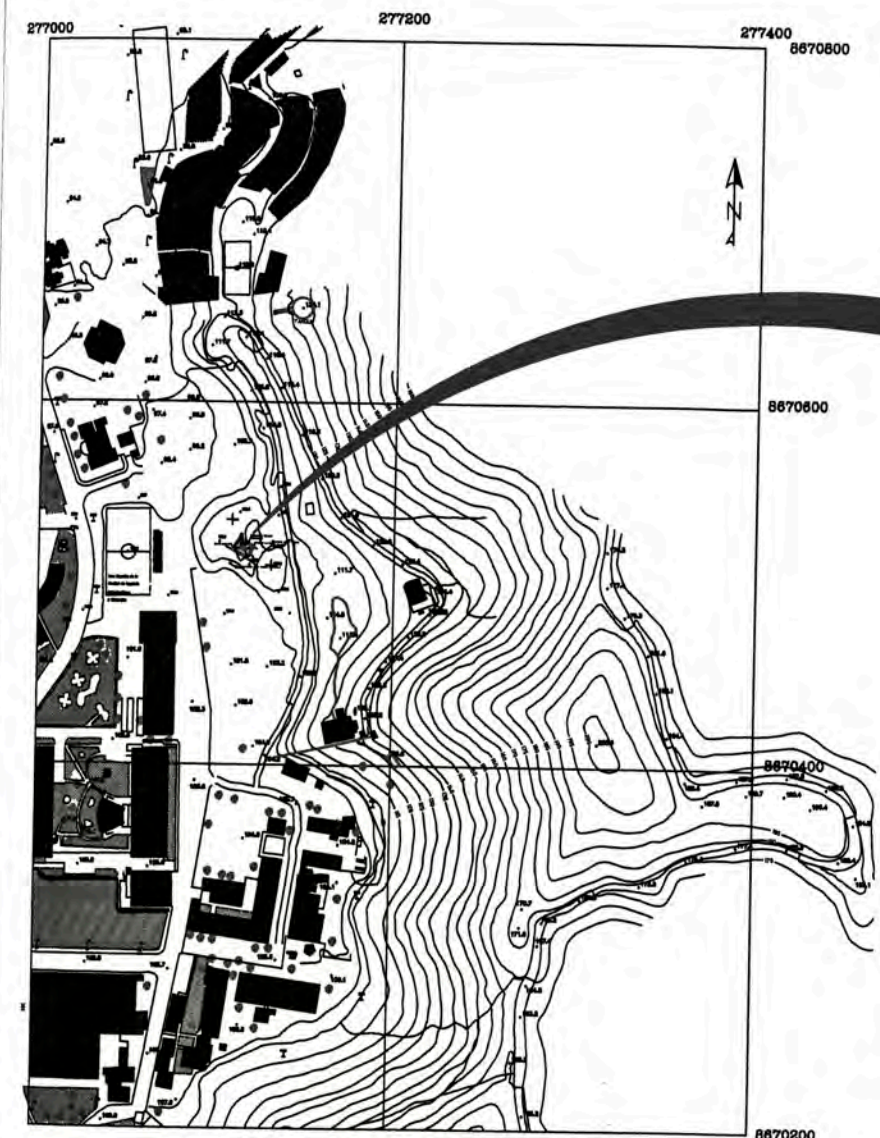
RECOMENDACIONES

- Se recomienda evitar realizar los trabajos de instalación de geosintéticos bajo condiciones desfavorables, tales como presencia de lluvias, vientos fuertes, etc. ya que pueden resultar en algunos casos peligrosos o se realizan sin un control de calidad adecuado. Es importante considerar la zona de ubicación del proyecto, para hacer una programación real de los trabajos, y así evitar retrasos en los tiempos de entrega.
- En zonas donde hay presencia de limos y arcillas, se recomienda hacer un riego alrededor de la zona de trabajo antes de empezar los trabajos de soldadura de las geomembranas, ya que el polvillo que es arrastrado por el viento, puede ocasionar fallas por adhesión en la soldadura.
- Antes de iniciar las labores en la zona de trabajo proyectada, se debe exigir al contratista que todo el personal obrero, cuente con los equipos de protección personal tales como: mascarillas, lentes, guantes, etc., ya que en esta zona se concentran sustancias dañinas para la salud del personal.
- Se recomienda realizar pruebas de control de calidad a todos los materiales empleados en la impermeabilización de depósito de relaves; pues, si estos fallan pueden ocasionar graves daños al medio ambiente.
- En la actualidad la inclusión de los materiales geosintéticos, en obras de ingeniería civil, tiene un gran auge a nivel mundial. Por lo que es necesario implementar laboratorios en el Perú, así como entrenar a los profesionales de este campo sobre la aplicación de éstos.

BIBLIOGRAFÍA

- 1) ASCOSES, Estudio Preliminar del Acuífero Subterráneo de la Gran Lima, Lima-Perú, Año 1977.
- 2) Gonzáles Paniura Miguel Alberto, Impermeabilización de pie de presa utilizando Geomembrana, Informe de suficiencia, Lima-Perú, año 2005.
- 3) Koerner Robert M., Diseño con Geosintéticos, 4ta edición, Prentice Hall, 1999. Traducción autorizada por IGS-PERU, Lima-Perú, Nov. 2002-Mayo 2004.
- 4) Ministerio de Energía y Minas, Ley General del Ambiente - Ley N° 28611, Lima Perú, año 2006.
- 5) Ministerio de Energía y Minas, Guía Ambiental para el Manejo de Relaves Mineros, Lima Perú, año 1995.
- 6) PAVCO S.A. Departamento de Ingeniería-Geosintéticos, Manual de Diseño, 7ma edición, Ed. Norte Gráfico, Bogota D.C.-Colombia, Octubre 2006.
- 7) Universidad Nacional de Ingeniería, Curso de actualización profesional: "Aplicación de los Geosintéticos en la ingeniería civil", Lima-Perú, 2006.

A-1 · PLANOS DEL PROYECTO



COORDENADAS DE UBICACIÓN DEL DEPOSITO DE RELAVES

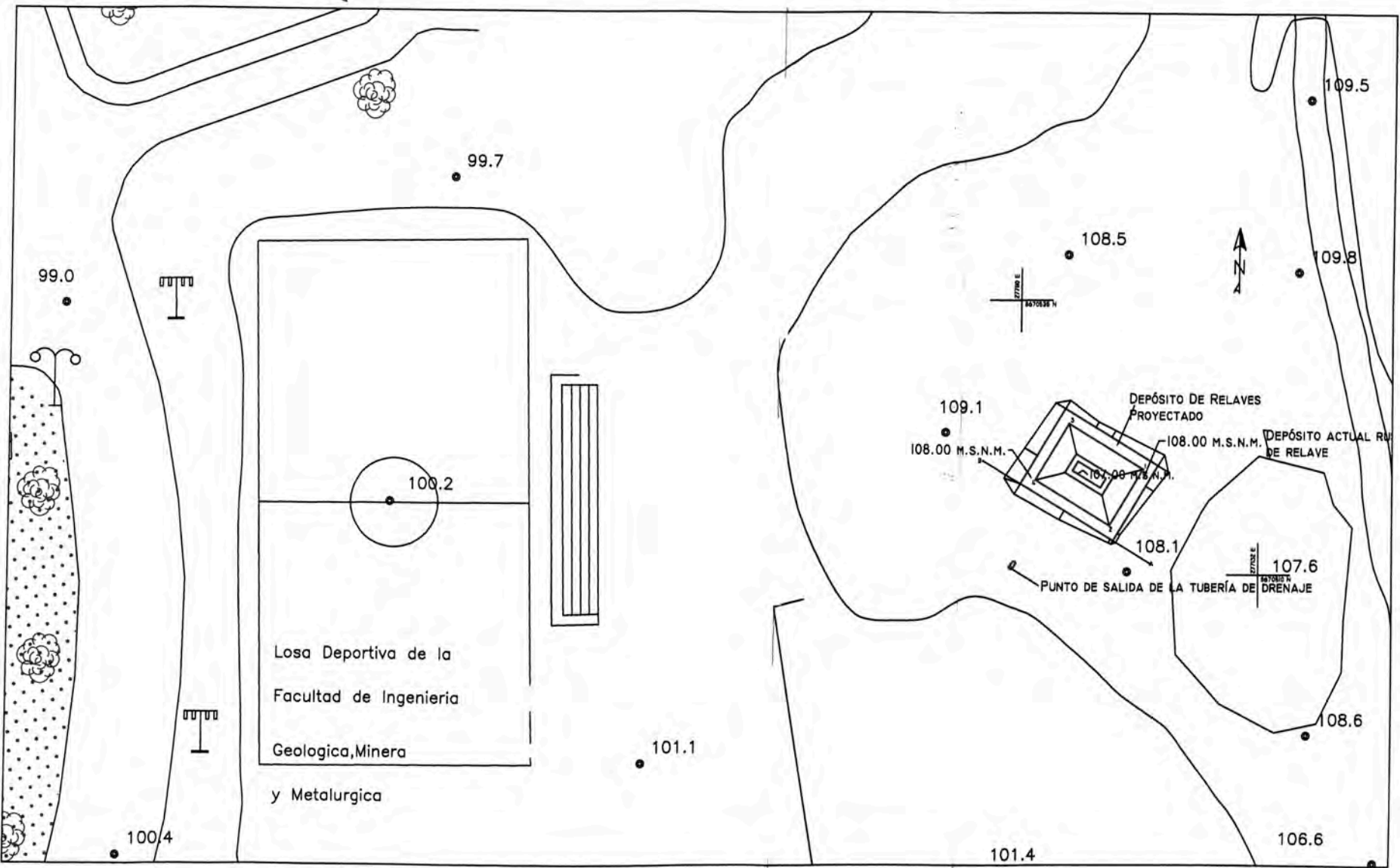
PUNTO.	ESTE	NORTE	ALTITUD msnm
1	277121.34	8670519.58	108
2	277118.24	8670514.44	108
3	277114.49	8670523.71	108
4	277111.39	8670518.58	108

ESCALA DE PLÓTEG. 1 : 8000
MAR 2004

ESCALA GRAFICA 1 : 2000
0 20 40 60 80 100 120 140 160 180 200m

SISTEMA DE REFERENCIA MUNDIAL WGS 84
CUADRILLADO CADA 200 mts. ZONA 18 UTM
DATUM VERTICAL NIVEL MEDIO DEL MAR
DATUM HORIZONTAL WGS 84

01 ZONA DE TRABAJO
1:2000



02 DEPOSITO
1:250

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
CURSO DE TITULACIÓN POR ACTUALIZACIÓN DE CONOCIMIENTOS
TEMA: APLICACIÓN DE GEOSINTÉTICOS EN LA INGENIERÍA CIVIL

PROYECTISTA:
 GRUPO GEOMEMBRANAS

Diseñó: Bach. Patty Bernuy SN
Dibujó: Bach. Patty Bernuy
Verificó:
Presentó:

Aprobó:

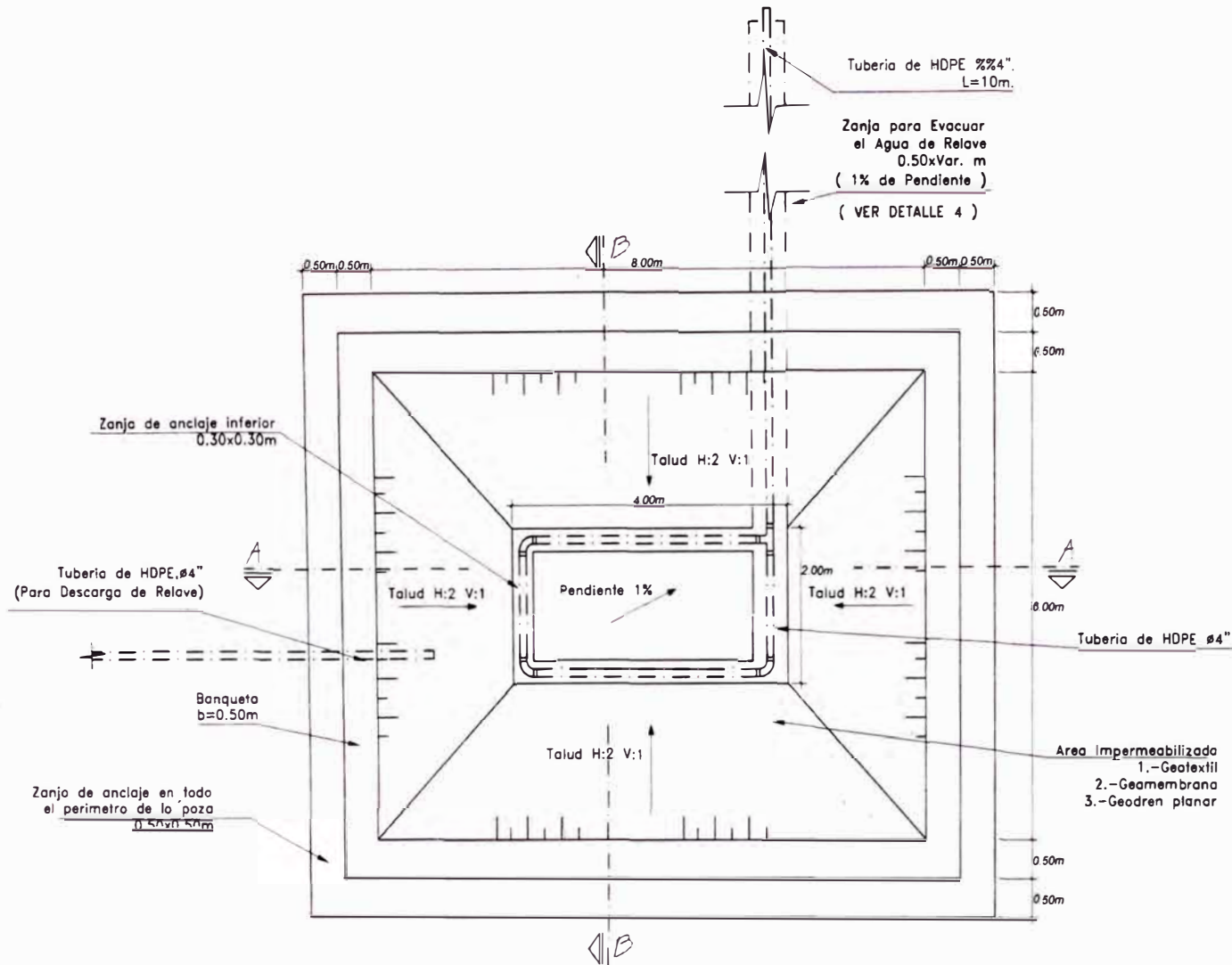
REVISIONES	
Nº	FECHA

Grupo 2
Impermeabilización de Deposito de Relaves
Con Geomembrana de Polietileno de Alta Densidad (HDPE)
Universidad Nacional de Ingeniería

PLANO: Ubicación General
UBICACION: Campus de la Universidad Nacional de Ingeniería
Dist. Rímac-Prov. Lima-Región Lima

ESCALA: INDICADA
FECHA: Junio del 2007
PR-UB-01

PLANTA



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CURSO DE TITULACION POR ACTUALIZACION DE CONOCIMIENTOS
TEMA: APLICACIÓN DE GEOSINTÉTICOS EN LA INGENIERIA CIVIL

GRUPO 2
DEPÓSITOS DE RELAVES CON APLICACIÓN
DE GEOSINTÉTICOS

PLANO

PLANTA DEPÓSITO DE RELAVES

UBICACIÓN:

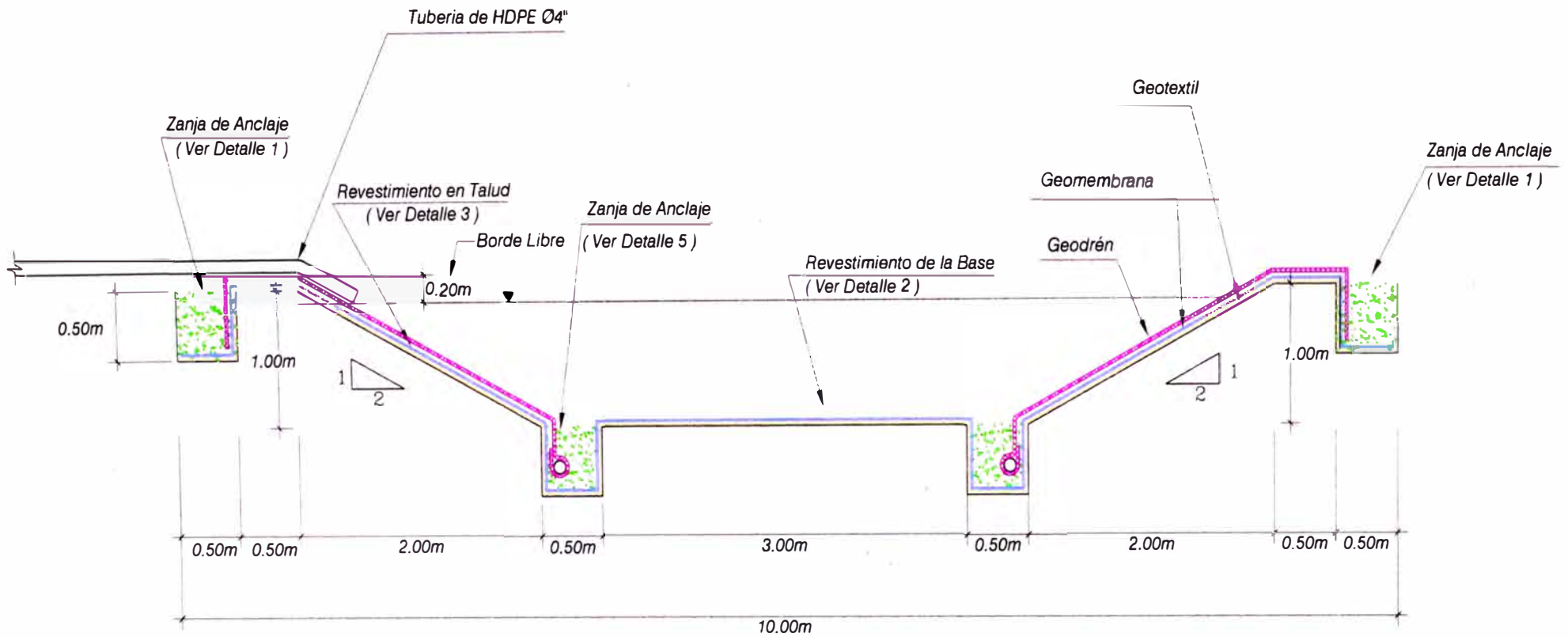
DIST. RIMAC - PROV. LIMA - REGIÓN LIMA

ESCALA: 1:100

FECHA: JUNIO 2007

PR-OC-01

SECCIÓN TÍPICA A-A



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CURSO DE TITULACION POR ACTUALIZACION DE CONOCIMIENTOS
TEMA: APLICACIÓN DE GEOSINTÉTICOS EN LA INGENIERÍA CIVIL

GRUPO 2
DEPÓSITOS DE RELAVES CON APLICACIÓN
DE GEOSINTÉTICOS

PLANO:

PLANOS DE SECCIONES TÍPICAS

UBICACIÓN:

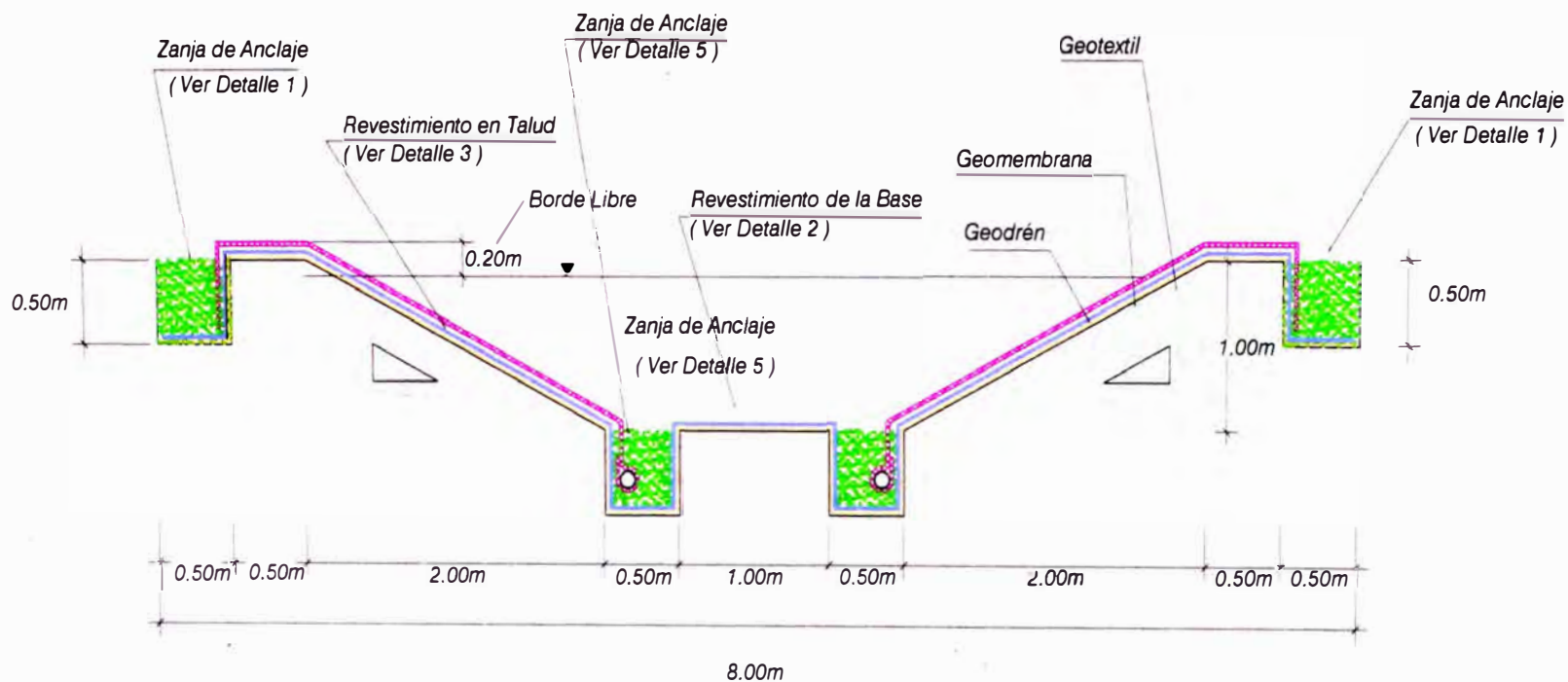
DIST. RIMAC - PROV. LIMA - REGIÓN LIMA

ESCALA: 1:50

FECHA: JUNIO 2007

PR-OC-02 1/2

SECCIÓN TÍPICA B-B



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CURSO DE TITULACION POR ACTUALIZACION DE CONOCIMIENTOS
TEMA: APLICACION DE GEOSINTÉTICOS EN LA INGENIERIA CIVIL

GRUPO 2
DEPÓSITOS DE RELAVES CON APLICACIÓN
DE GEOSINTÉTICOS

PLANO

PLANOS DE SECCIONES TÍPICAS

UBICACIÓN:

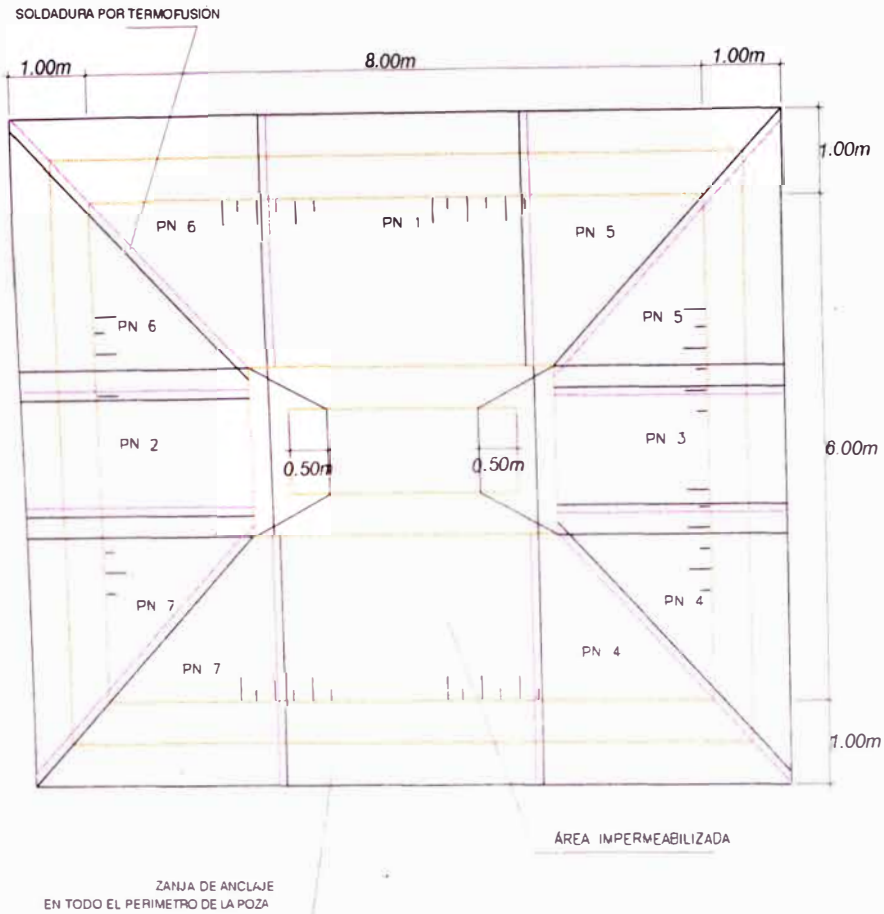
DIST. RIMAC - PROV. LIMA - REGIÓN LIMA

ESCALA 1:50

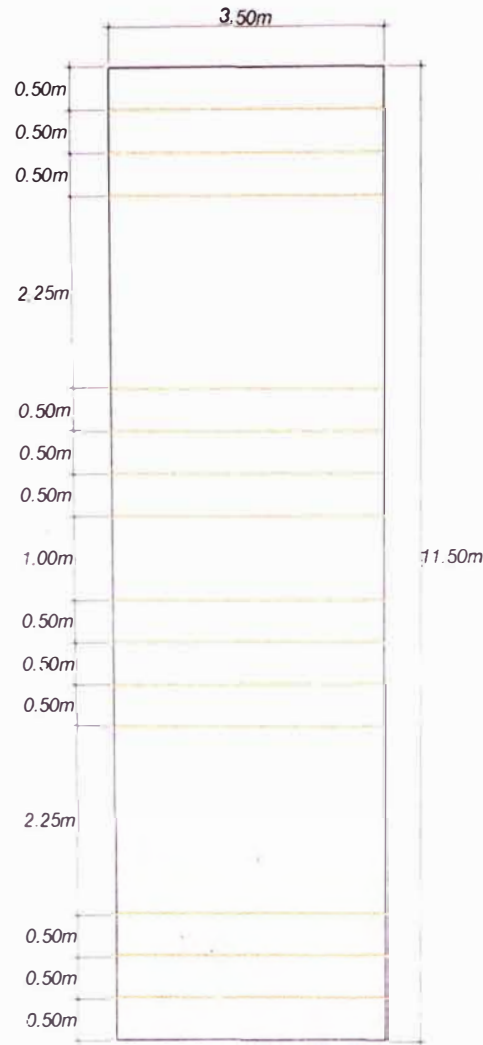
FECHA JUNIO 2007

PR-OC-02 2/2

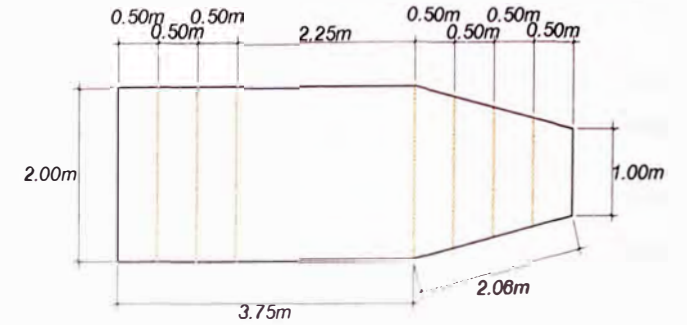
PANELES



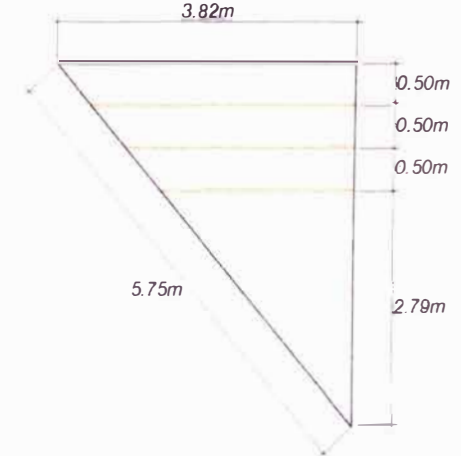
PANEL 1



PANEL 2 Y PANEL 3



PANEL 4,5,6,7

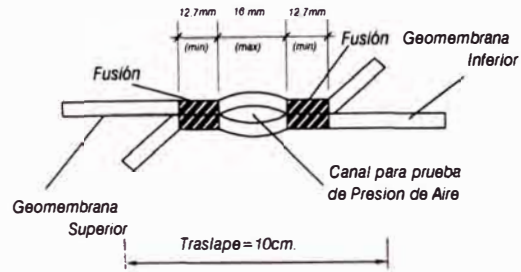


LEYENDA

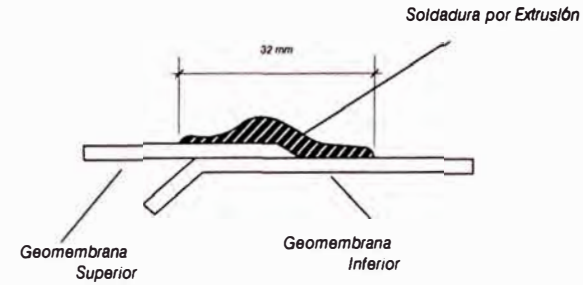
 SOLD. POR TERMOFUSIÓN
 DOBLEZ

PN PANEL

DETALLE DE SOLDADURA

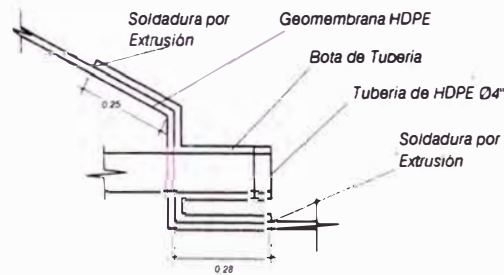


Detalle Típico de Soldadura por Fusión con Cuña
S / E



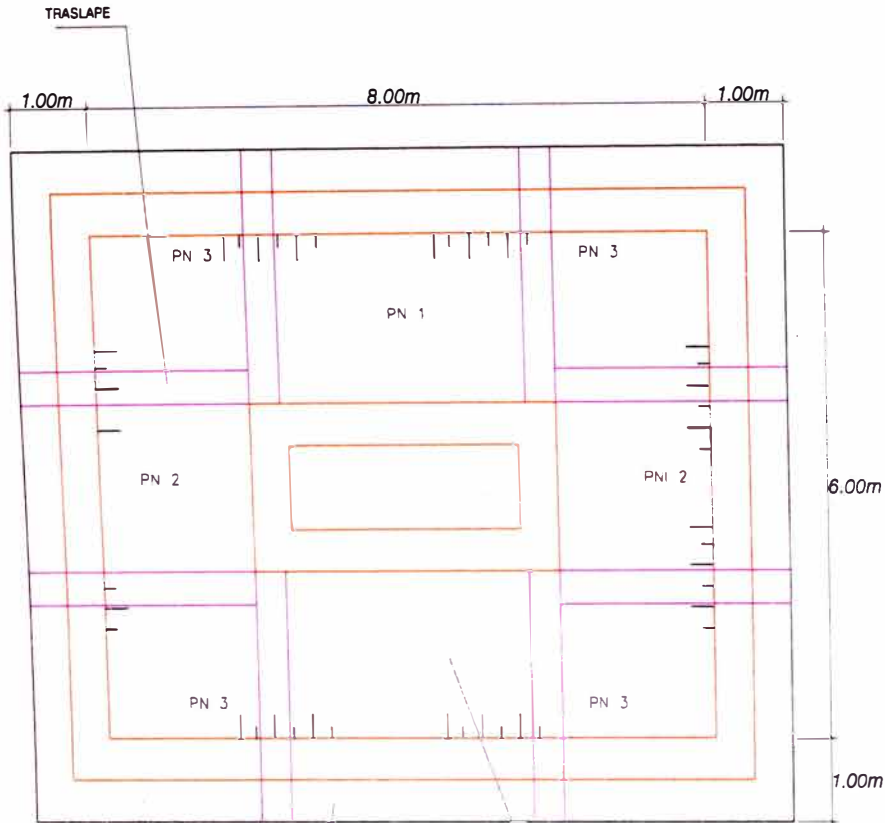
Detalle Típico de Soldadura por Extrusión
S / E

DETALLE DE BOTA S / E



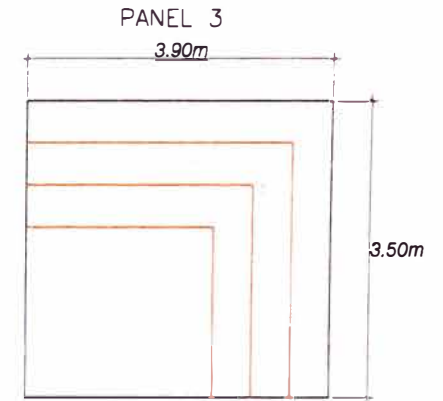
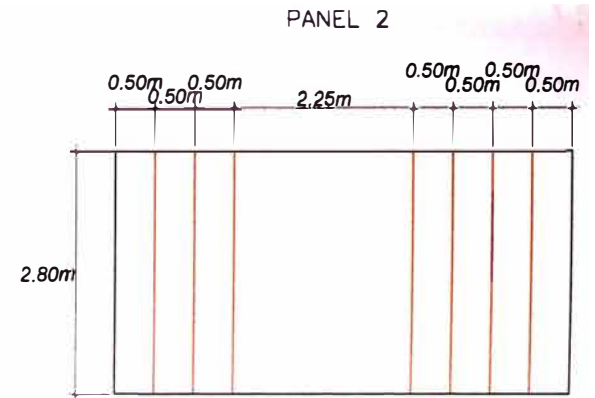
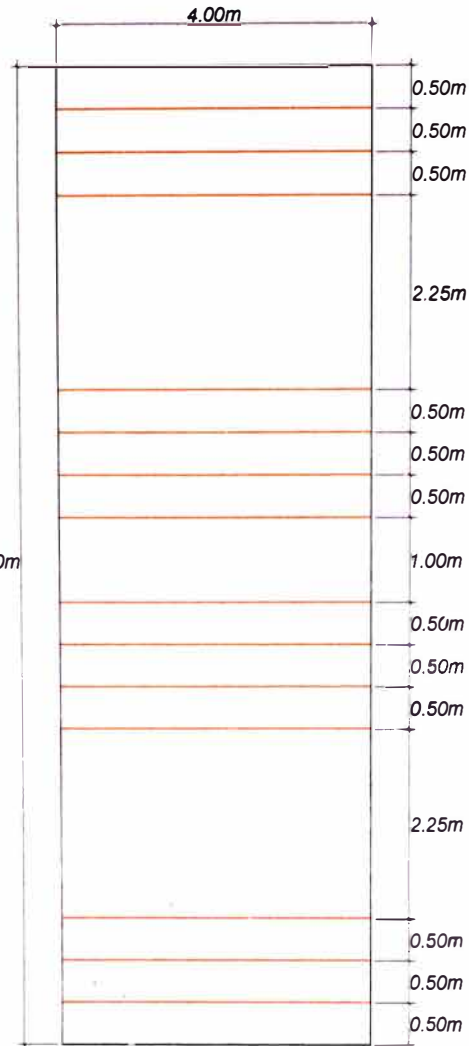
*Soldadura por Extrusion
En Parches, lugares
inaccesibles para la
fusión y en botas.*

PANELES



ZANJA DE ANCLAJE
EN TODO EL PERÍMETRO DE LA POZA

ÁREA IMPERMEABILIZADA



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CURSO DE TITULACION POR ACTUALIZACION DE CONOCIMIENTOS
TEMA: APLICACION DE GEOSINTÉTICOS EN LA INGENIERIA CIVIL

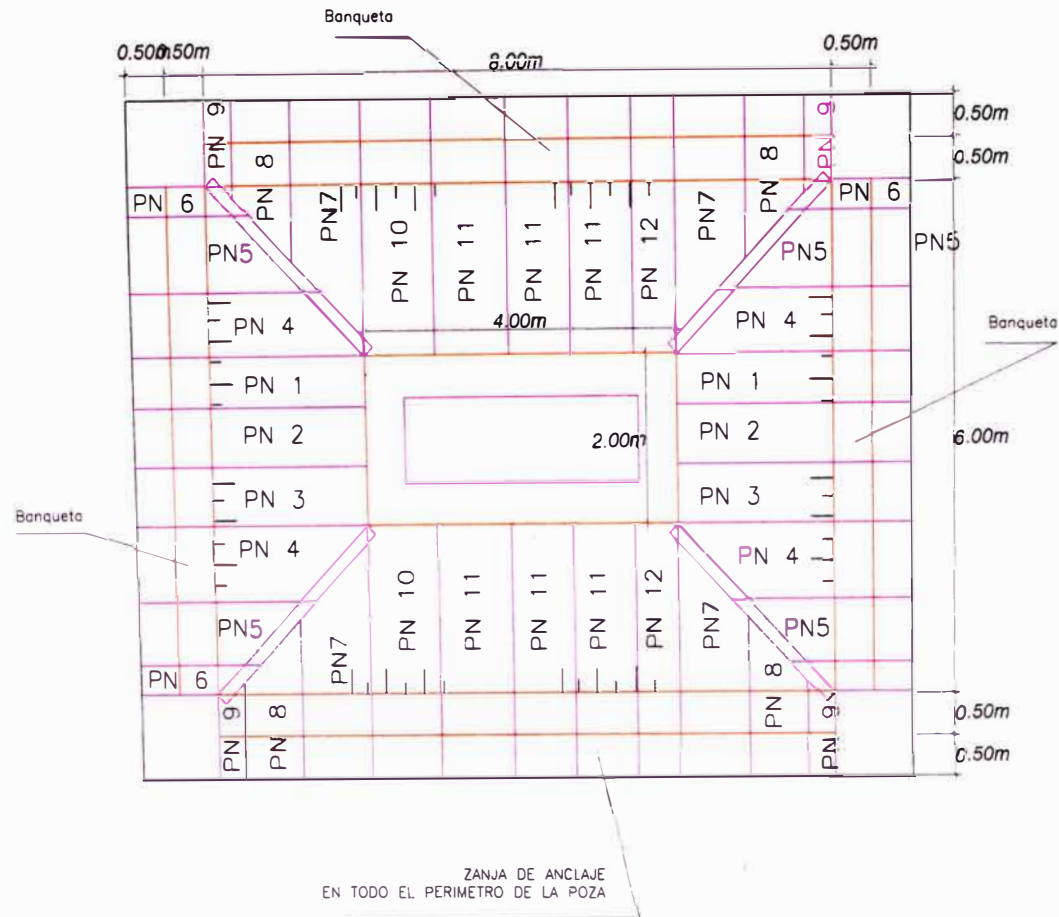
GRUPO 2
DEPÓSITOS DE RELAVES CON APLICACIÓN
DE GEOSINTÉTICOS

PLANO:
DISTRIBUCIÓN DE PANELES DE GEOTEXTIL

UBICACIÓN:
DIST. RIMAC - PROV. LIMA - REGIÓN LIMA

ESCALA 1 100
FECHA JUNIO 2007



PR-OC-04

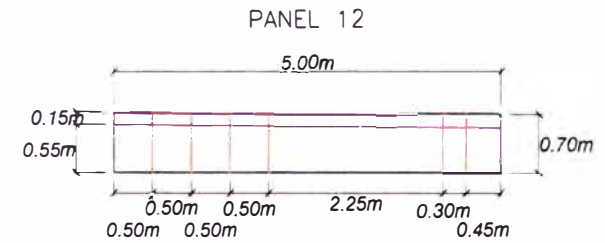
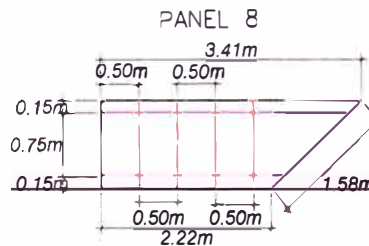
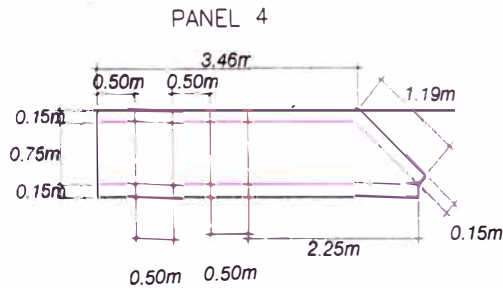
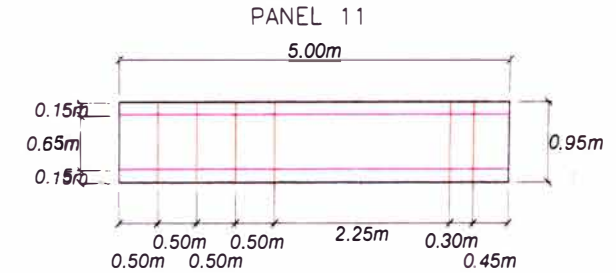
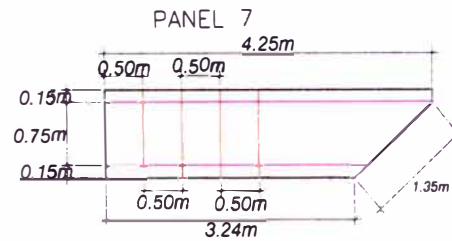
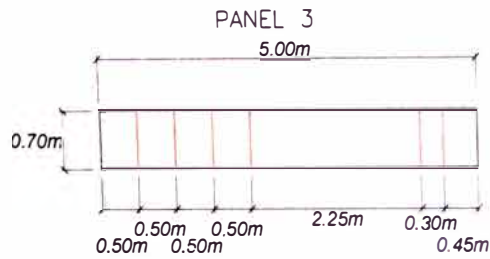
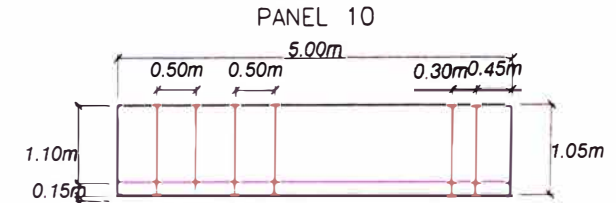
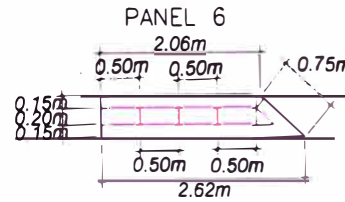
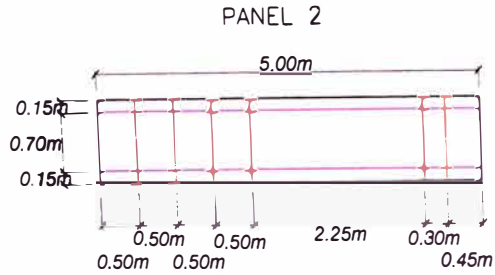
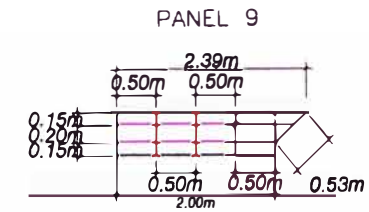
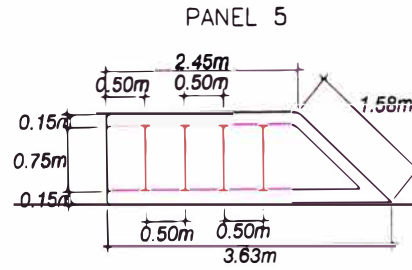
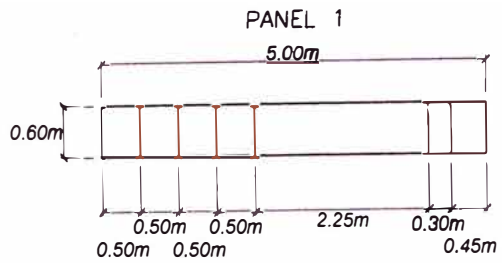




Especificación

Geodrén Planar
Con Tubería de $\varnothing 4''$

LEYENDA

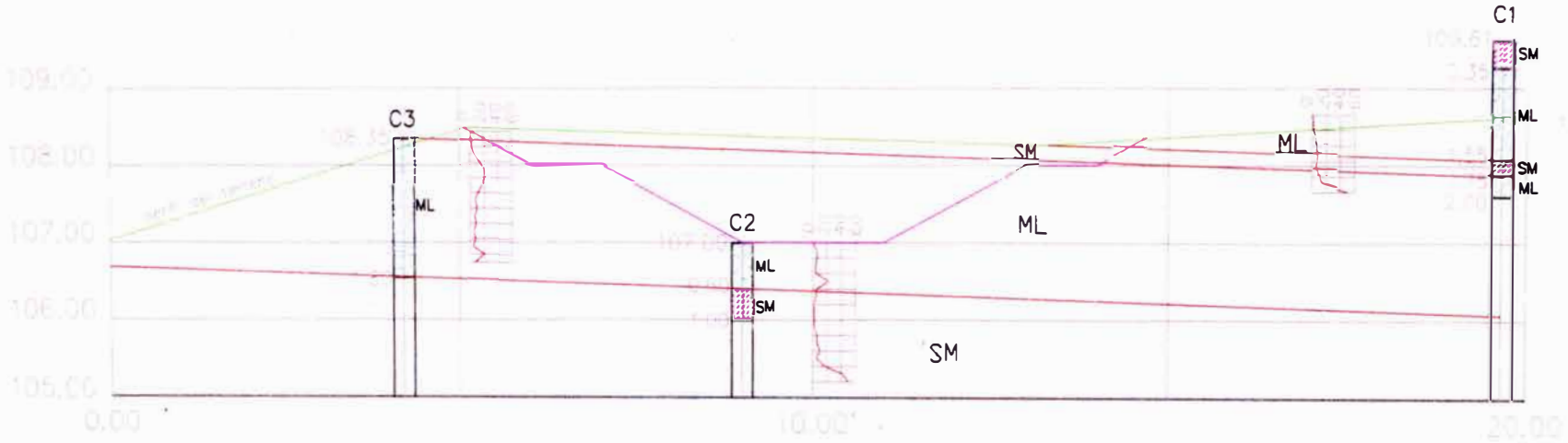
	DOBLEZ
	TRASLAPE Y COSTURA
PN	PANEL



LEYENDA	
	DOBLEZ
	TRASLAPE Y COSTURA
PN	PANEL

A-2: PERFIL ESTRATIGRÁFICO

PERFIL ESTRATIGRÁFICO



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA	
PROYECTO: DEPÓSITO DE RELAVES	
PLANO: PERFIL ESTRATIGRÁFICO	
DIBUJO: E. A. S.	
ESCALA: 1/100	FECHA: JUNIO 2007

A-3: PRECIPITACIONES MÁXIMAS EN 24 HORAS

SENAMHI

OFICINA GENERAL DE ESTADÍSTICA E INFORMÁTICA

ESTACION : MONTELO CORBITORREAN

PARÁMETRO : PRECIPITACION MAXIMA EN 24 HORAS (mm)

LONG.

77° 02' 30"

LAT.

12° 08' 15"

ALT.

110 metros

DEPTO.

URUG.

PROV.

URUG.

DIST.

EL SUBSABRIA

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1996	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.9	0.6	0.0	0.0	0.0
1996	S/D	0.0	0.0	0.0	0.0	S/D	0.4	0.3	0.3	S/D	0.3	0.6
1997	0.0	1.2	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	1.0	2.1	0.1	0.7	0.2
1998	1.8	1.8	0.0	0.6	0.4	0.5	0.3	0.8	0.3	0.5	0.2	0.0
1999	0.0	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0
2000	0.5	0.1	0.0	0.0	0.0	0.8	0.8	0.6	0.4	0.0	0.0	0.2
2001	0.3	1.2	0.0	0.2	0.0	0.6	1.7	0.7	0.4	0.0	0.0	0.4
2002	0.0	1.7	0.0	0.0	0.0	0.3	0.8	0.8	0.2	0.1	0.7	0.0
2003	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.7	0.3	0.0	0.0	0.2
2004	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.3	0.0	0.2	S/D	0.0	0.2	0.0
2005	0.4	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.2	0.1	0.5	0.0	0.1	0.0
2006	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.8	0.1	0.2	0.2	0.3

S/D = Sin Datos

PRODUCCION PREPARADA POR LA DIVISION AGUAS DE UDELAR
 1996-2006 MONTELO, URUG.



PROHIBIDA SU REPRODUCCION
 PARCIAL O TOTAL

A-4: ORGANIZACIÓN FÍSICA DE LA OBRA

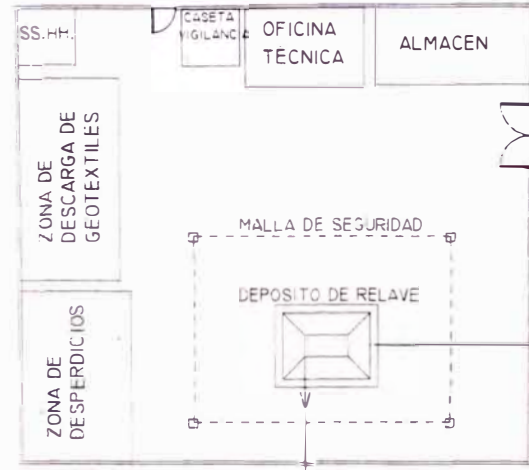
NIERITOS

ACCESO PEATONAL

CAMINO EN PENDIENTE

ORGANIZACI FÍSICA DE LA OBRA

INGRESO DE PERSONAS



INGRESO DE MAQUINARIAS

TUBERIA DE DESCARGA DE RELAVE

TUBERIA PARA EVACUAR AGUA DE RELAVE

ZONA DE TRABAJO

DEPOSITO DE RELAVE EXISTENTE

CARRETERA

PLANTA PROCESADORA DE MINERALES

FAC. ING MINAS, METALURGIA

ACCESO PEATONAL Y VEHICULAR

A-5: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

A.5.0 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

A.5.1 GENERALIDADES

ALCANCES DE LAS ESPECIFICACIONES

Las Especificaciones Técnicas se plantean como elemento auxiliar técnico en el proceso de construcción, estableciendo criterios y tomando decisiones en los aspectos constructivos a nivel de indicaciones, materiales, procesos constructivos, etc.

El Contratista de Obras de Geosintéticos es la encargada de la ejecución de los trabajos.

El Supervisor es un Ingeniero Civil.

A.5.2 MEDIDAS DE SEGURIDAD

El Contratista de Obras de Geosintéticos adoptará todas las medidas de seguridad necesarias, para evitar accidentes a su personal, a terceros y a la misma obra, cumpliendo todas las disposiciones del Reglamento Nacional de Construcciones.

A.5.3 VALIDEZ DE LA DOCUMENTACIÓN

En caso de existir divergencias entre los diversos documentos del Proyecto:

1. Los planos tienen validez sobre las Especificaciones Técnicas, Metrados y Presupuesto.
2. Las Especificaciones Técnicas tienen validez sobre los metrados y presupuesto.
3. Los metrados tienen validez sobre el presupuesto.

Las Especificaciones se complementan con los planos y metrados respectivos, de tal forma que las obras deben ser ejecutadas en su totalidad, aunque estas figuren en un solo documento.

A.5.4 CONSULTAS

Todas las Consultas relativas a los trabajos de la obra, serán efectuadas por el Contratista de Obras al Supervisor.

A.5.5 MATERIALES Y MANO DE OBRA

Todos los materiales o artículos suministrados para la ejecución de las obras que cubren estas Especificaciones, deberán ser nuevos, de primer uso, de utilización actual en el mercado nacional e internacional y de la mejor calidad dentro de su clase.

Toda la Mano de obra empleada en la ejecución de los trabajos, será de primera clase.

A.5.6 INSPECCIÓN

Todos los materiales y mano de obra, empleados, estarán sujetos a la inspección del Supervisor quien tiene el derecho de rechazar el material que se encuentra dañado, defectuoso o la mano de obra deficiente y exigir su corrección. Los trabajos mal ejecutados deberán ser satisfactoriamente corregidos y el material rechazado deberá ser reemplazado por otro aprobado.

El Contratista de Obras deberá tener en la obra, una copia de los planos y especificaciones técnicas, debiendo dar acceso a estos, al Ingeniero Supervisor en cualquier momento.

El cuaderno de obra deberá llevarlo consigo el residente de la obra.

A.5.7 TRABAJO

El Contratista de Obras debe notificar por escrito al Supervisor de la obra, sobre la iniciación de sus labores. Al inicio de la obra, deberá presentar al supervisor las Consultas Técnicas necesarias.

El Contratista de Obras deberá dar aviso al Supervisor, por lo menos diez días de anticipación, de la fecha en que su trabajo queda terminado y listo para la inspección final.

1.0 TRABAJOS PRELIMINARES Y COMPLEMENTARIOS

1.1 MOVILIZACIÓN Y DESMOVILIZACIÓN

La especificación de movilización y desmovilización comprende el transporte hasta el sitio de los equipos de construcción, herramientas y repuestos necesario para la ejecución de los trabajos del Proyecto desde el lugar de procedencia y su retorno una vez concluidos los trabajos, incluyendo la limpieza y arreglo final.

Para el transporte del equipo a la obra se utilizarán los caminos existentes, con las adecuaciones necesarias que se efectúen durante el período de construcción. Durante esta actividad se evitará causar daños a terceros y propiedades de terceros, los que en caso de ocurrir serán de cargo y costo del Contratista de Obras.

El retiro de los equipos se efectuará de acuerdo a la terminación de los trabajos, según los plazos del programa de construcción de la obra y el calendario de uso de equipos.

Se presentará la siguiente información:

- Relación de todos sus equipos a utilizar, indicando tipo, modelo, capacidad, año de fabricación, modalidad de adquisición, etc., teniendo en cuenta la lista de equipos, acompañada del cronograma de utilización correspondiente.
- Desplazamiento intermedio de los equipos y maquinarias en la ejecución de la obra.

El Ingeniero Supervisor deberá aprobar el equipo llevado a la obra, pudiendo rechazar el que no encuentre satisfacción para la función a cumplir.

MEDICIÓN Y PAGO

Este trabajo no será objeto de medición cuantitativa pero será materia de una evaluación e inspección que realice y apruebe el Ingeniero Supervisor sobre el equipo que movilice el Contratista de Obras.

El monto total a pagar será el monto global para la partida 1.1 e incluirá el costo de la movilización del personal, equipo, herramientas y materiales.

1.2 CARTELES DE OBRA Y SEGURIDAD

Los Carteles de Obra y Seguridad deberán ser colocados en un lugar visible al ingreso del área de trabajo debiendo contar, tanto la ubicación como su diseño, con la aprobación del Supervisor.

Las dimensiones del cartel de obra serán de 0.60m de largo por 0.20m de alto y estará en el entorno del depósito de relaves.

MEDICIÓN Y PAGO

Los carteles de obra y seguridad serán medidos por unidad (Und) colocada y terminada.

El pago será el precio unitario por unidad.

1.3 TRAZO Y REPLANTEO

Esta partida cubre todos los trabajos de topografía, incluyendo mano de obra, materiales y equipos necesarios para el trazo, replanteo y control topográfico durante la ejecución de las obras.

El Contratista de Obras realizará todos los trabajos de control topográfico requeridos para la ejecución de la obra de acuerdo a los planos de levantamiento topográfico y de obras proyectadas.

Las mediciones se referirán a la topografía básica y a los puntos de referencia que figuren en el presente expediente. Las líneas de medición, puntos y cotas serán fijadas y debidamente monumentadas.

En los trabajos topográficos se utilizará el número suficiente de aparatos precisos, como estación total, niveles, teodolitos, etc., debidamente calibrados y en buenas condiciones los cuales estarán sujetos a la aprobación del Ingeniero Supervisor.

Antes del inicio de cada trabajo con estos equipos, el Contratista de Obras deberá asegurarse de que los equipos se encuentren debidamente calibrados, cualquier error topográfico debido al mal estado y a la incorrecta calibración de los equipos, será de completa responsabilidad del Contratista de Obras.

MEDICIÓN Y PAGO

El avance del trazo y replanteo, se medirá como un porcentaje del avance de obra mensual, respecto al costo total de la obra.

Trazo y replanteo se pagará de acuerdo a las unidades indicadas en las partidas correspondientes (glb).

2.0 MOVIMIENTO DE TIERRAS

2.1 EXCAVACIÓN MANUAL EN MATERIAL DE RELAVE

La excavación incluirá todas las operaciones, extracción, carga, transporte, disposición y nivelación de los materiales en los lugares de descarga aprobados o en los sitios donde vayan a emplearse como material de relleno.

La excavación consiste en el levantamiento de todos los materiales que pueden ser removidos a mano, de acuerdo a lo indicado en los planos respectivos.

Se deberá proceder a las excavaciones en material de Relave, después de que haya procedido a la limpieza y al levantamiento de secciones transversales (cubicación).

De acuerdo al Proyecto el trazo, profundidad y ancho de las excavaciones así como la compactación mencionada deberán ser aprobados por el Supervisor.

Ningún material proveniente de la excavación podrá ser desperdiciado a no ser que sea autorizado por la Supervisión.

MÉTODO DE EXCAVACIÓN

La excavación se ejecutará con personal calificado para este tipo de trabajo.

El método y plan de excavación a emplearse en las diferentes partes de la obra serán sometidos a la aprobación del Ingeniero Supervisor.

MEDICIÓN Y PAGO

Las excavaciones se medirán y pagarán por m³ según los metrados de acuerdo al volumen teórico sin tomar en cuenta el esponjamiento, siguiendo las indicaciones de los planos respectivos y clasificando el material excavado.

2.2 ELIMINACIÓN DEL MATERIAL EXCEDENTE EN ZONA ALEDAÑA

Cuando el material proveniente de las excavaciones vaya a ser utilizado para la ejecución de rellenos éste podrá ser descargado y almacenado temporalmente a un costado de las excavaciones o en otro sitio, siempre y cuando no se debilite la estabilidad de los taludes o haya peligro de caída de material. El material

excedente será dejado a un costado de la obra debido a que se reutilizará parte de éste.

MEDICIÓN Y PAGO

La eliminación del material excedente en zona aledaña se medirá y pagará por metro cúbico (m³).

3.0 DEPÓSITO DE RELAVES

3.1 PREPARACIÓN DE LA SUBRASANTE MANUAL

Una vez terminados los movimientos de tierra en las zonas de trabajo se procederá a perfilar el terreno para dejarlo con el acabado que corresponde según el trazo, alineamientos y secciones transversales indicados en los planos previo conocimiento y aprobación de la Supervisión.

Los trabajos de perfilados se realizarán de forma manual y deberá tener una pendiente de 1% de acuerdo a lo establecido en el Plano en Planta.

La preparación de la superficie será hecha humedeciéndola con agua y compactándola con plancha vibratoria. La compactación requerida será hasta alcanzar un grado de compactación igual al 95% de la Densidad Máxima Seca Teórica, obtenida en el laboratorio por el método de Proctor Modificado (ASTM-D698, AASHTO T-180).

Para Verificar la calidad del suelo de la subrasante, se efectuara el control de la Densidad de Campo (ASTM 1556) y se hará en la base del depósito de relaves

La supervisión deberá dar la conformidad de la subrasante y este requisito deberá se observado por el Contratista de Obras, previamente al colocado del Geotextil No Tejido Punzonado por Agujas.

MEDICIÓN Y PAGO

La cantidad a pagar será el área en metros cuadrados (m^2) de la subrasante preparada y aprobada por el supervisor.

El pago será el precio unitario por metro cuadrado (m^2). El pago de este ítem constituirá nivelar y compactar la subrasante y por toda mano de obra, equipo, transporte y todo concepto necesario para completar este ítem.

Incluye pruebas de laboratorio.

4.0 TUBERÍA DE CONDUCCIÓN

4.1 EXCAVACIÓN EN ZANJA DE DRENAJE

Este ítem contempla la excavación de la zanja inferior de drenaje la que tiene como profundidad 50 cm. por debajo de la superficie del depósito de relaves.

El fondo de la zanja deberá quedar plano y nivelado con una pendiente de 1%.

Los trabajos de perfilados se realizarán de forma manual.

MEDICIÓN Y PAGO

La cantidad a pagar será en metros cúbicos (m³).

El pago de este ítem constituirá nivelar y compactar el fondo de zanja y por toda mano de obra, equipo, transporte y todo concepto necesario para completar este ítem

4.2 SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE TUBERIA HDPE 4”

Tubería de Polietileno de Alta Densidad (HDPE) de 4” de diámetro, a instalarse en zanja de drenaje de 0.5m x 0.5m y en zanja de derivación de 0.5m x h (variable) de acuerdo a los planos elaborados en este expediente técnico.

Esta tubería de drenaje evacuará el agua de relave hacia la poza de sedimentación de la Planta Concentradora.

MEDICIÓN Y PAGO

El pago será el precio unitario por metro lineal.

Las cantidades de obra medida en la forma descrita serán pagadas al precio unitario para la partida 4.2 constituyendo dicho precio y pago, compensación total por materiales, accesorios mano de obra, leyes sociales, equipo, herramientas y todo lo necesario para completar esta trabajo.

5.0 SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE GEOMEMBRANA DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD (HDPE) LISA DE 0.75mm DE ESPESOR

Se refiere al suministro e instalación de Geomembrana de Polietileno de Alta Densidad (HDPE) Lisa de 0.75mm de espesor, sobre el fondo y taludes del depósito de relaves, conforme a las líneas de instalación mostradas en los planos de detalles. El proceso de transporte, carga y descarga, instalación y fijación deberá estar acorde estrictamente con las indicaciones del fabricante.

Las geomembranas de polietileno de alta densidad están fabricadas con una fórmula de alta calidad de polietileno de alta densidad que contiene aproximadamente 97.5% de Polímero y 2.5% de Negro Humo, Anti-oxidante y Estabilizadores de Calor que evita la acción de los rayos UV sobre ellas. Estas Geomembranas están específicamente diseñadas para condiciones expuestas. No contienen aditivos o rellenos que puedan evaporarse y causar deterioro a medida que pasa el tiempo.

Debe presentar excelente resistencia al ataque de agentes químicos y a los rayos Ultravioleta (UV) y mantener las propiedades mecánicas necesarias para el uso.

Generalmente para espesores de 0.75mm (30 mil) se presentan en rollos de 7.00m de ancho, y longitudes de 240m lineales.

El proceso de instalación de la Geomembrana HDPE determina el buen comportamiento del producto, por lo tanto debe considerarse principalmente;

- El personal encargado de extender los rollos sobre el área de instalación debe utilizar ropa y calzado que no rasgue o perfore la geomembrana.
- El área dispuesta para la instalación de la geomembrana debe tener una superficie libre de elementos que puedan rasgar o perforar la geomembrana.
- El sellado de estas geomembranas se realiza dentro o fuera de la obra, utilizando una maquina de cuña caliente y una maquina extrusora de resina de polietileno de alta densidad.

MEDIDA Y PAGO

La medida para el suministro e instalación de Geomembrana de Polietileno de Alta Densidad de 0.75mm de espesor es el metro cuadrado instalado hasta las

líneas, pendientes y dimensiones mostradas en los planos o indicadas por la Supervisión. No se pagarán las zonas de traslapes o superposiciones. El precio unitario incluye los costos de suministro, transporte, carga y descarga, instalación, así como equipos, mano de obra, herramientas y todos los costos necesarios (directos o indirectos) para efectuar la actividad.

Esta actividad contempla el pago del siguiente ítem:

Suministro e instalación de geomembrana de Polietileno de Alta Densidad (HDPE) de 0.75mm (30 mil) de espesor - m²

Cuadro A-6

ESPECIFICACIONES DE LA RESINA HDPE

Propiedad	Designación del Ensayo	Valores Especificados
Gravedad Específica	ASTM D-1505	0.932 a 0.942
Índice de Fusión	ASTM D-1238 Condición E	< 1 gramo por 10 minutos

PAVCO GEOMEMBRANA LISA

POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD

	PROPIEDADES	NORMA	UNIDAD	20 mil	30 mil	40 mil	60 mil	80 mil	100 mil
PROPIEDADES MECANICAS	Resistencia en Fluencia.	ASTM-D 6693 Tipo IV	kN/m	8.0	12.0	16.0	24.0	32.0	40.0
	Resistencia en Rotura.	ASTM-D 6693 Tipo IV	kN/m	14.0	21.0	28.0	42.0	56.0	70.0
	Elongación en Fluencia.	ASTM-D 6693 Tipo IV	%	13.0	13.0	13.0	13.0	13.0	13.0
	Elongación en Rotura.	ASTM-D 6693 Tipo IV	%	700.0	700.0	700.0	700.0	700.0	700.0
	Resistencia al Rasgado.	ASTM-D 1004	kN	67.0	101.0	135.0	203.0	270.0	338.0
	Resistencia al Punzonamiento.	ASTM-D 4833	kN	160.0	268.0	357.0	536.0	714.0	893.0
PROPIEDADES FISICAS	Espesor Nominal	ASTM-D 5199	mm	0.5	0.75	1.00	1.50	2.00	2.50
	Mínimo Valor Individual 10 Testigos	ASTM-D 5199	mm	0.45	0.67	0.90	1.35	1.80	2.25
	Densidad	ASTM-D 1505 ASTM-D 792	g/cm ³	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94
	Contenido de Negro de Humo	ASTM-D 4218 ASTM-D 1603	%	2.0 - 3.0	2.0 - 3.0	2.0 - 3.0	2.0 - 3.0	2.0 - 3.0	2.0 - 3.0
PRESENTACIÓN	Tipo de Polímero.	Fabricante		HDPE	HDPE	HDPE	HDPE	HDPE	HDPE
	Color Estándar.			Negro	Negro	Negro	Negro	Negro	Negro
	Ancho del Rollo.	Medido	m	7.01	7.01	7.01	7.01	7.01	7.01
	Largo del Rollo.	Medido	m	600	410	310	210	150	120
	Area.	Medido	m ²	4206	2874	2173	1472	1052	841

ASTM (American Society for Testing and Materials)

HDPE (Poliétileno de Alta Densidad)

Los valores de las propiedades mecánicas corresponden a promedios mínimos tanto en la dirección principal de fabricación como transversal.

Septiembre 2004

Para mayor información, consulte los datos: Oficina de Servicio al Cliente: 01 800 09 12286 ó 01 800 09 PAVCO®
 Conmutador: 782 5000 Exts 3302 - 3305 Tels: 782 5081 - 782 5082 Fax: 782 5013 Bogotá, D.C., Colombia
 email: servicio_geosistemas@pavco.com.co - Web site: www.pavco.com.co



	PROPIEDADES	NORMA	UNIDAD	GEODREN CON TUBERIA ϕ 65 mm	GEODREN CON TUBERIA ϕ 100 mm	GEODREN CON TUBERIA ϕ 160 mm	GEODREN CON TUBERIA ϕ 200 mm
GEOTEXTIL NO TEJIDO 3000	Método Grab Resistencia a la Tensión Elongación	ASTM D-4632	N (lb) %	780 (176) > 50	780 (176) > 50	780 (176) > 50	780 (176) > 50
	Resistencia al Punzonamiento	ASTM D-4833	N (lb)	430 (97)	430 (97)	430 (97)	430 (97)
	Resistencia al Rasgado Trapezoidal	ASTM D-4533	N (lb)	350 (79)	350 (79)	350 (79)	350 (79)
	Método Mullen Burst Resistencia al Estallido	ASTM D-3786	kPa (psi)	2208 (320)	2208 (320)	2208 (320)	2208 (320)
	Tamaño de Abertura Aparente	ASTM D-4751	mm (No. Tamiz)	0.150 (100)	0.150 (100)	0.150 (100)	0.150 (100)
	Permeabilidad	ASTM D-4491	cm/s	36×10^{-2}	36×10^{-2}	36×10^{-2}	36×10^{-2}
	Permitividad	ASTM D-4491	s ⁻¹	1.8	1.8	1.8	1.8
	Espesor	ASTM D-5199	mm	2.0	2.0	2.0	2.0
	Tasa de Flujo	ASTM D-4491	l/min/m ²	5271	5271	5271	5271
	Porosidad	Calculada	%	> 80	> 80	> 80	> 80
GEO RED	Densidad del Polímero (HDPE)	ASTM D-1505	g/cm ³	0.94	0.94	0.94	0.94
	Resistencia a la Compresión	ASTM D-1621	kPa (psi)	1250 (181)	1250 (181)	1250 (181)	1250 (181)
GEODREN PLANAR	Transmisividad i = 0.1 Presión 10 kPa i = 0.1 Presión 100 kPa	ASTM D-4716	m ³ /s/m	3.0×10^{-4} 1.9×10^{-4}	3.0×10^{-4} 1.9×10^{-4}	3.0×10^{-4} 1.9×10^{-4}	3.0×10^{-4} 1.9×10^{-4}
	i = 1.0 Presión 10 kPa i = 1.0 Presión 100 kPa	ASTM D-4716	m ³ /s/m	2.1×10^{-4} 1.3×10^{-4}	2.1×10^{-4} 1.3×10^{-4}	2.1×10^{-4} 1.3×10^{-4}	2.1×10^{-4} 1.3×10^{-4}
	Resistencia a la Delaminación	ASTM D-413	lbf/pulg	1.4	1.4	1.4	1.4
	Espesor	ASTM D-5199	mm	6.50	6.50	6.50	6.50
TUBERIA DE DRENAJE	Capacidad de Flujo a 0.5 % de Pendiente	ASTM D-4716	m ³ /s	0.70×10^{-3}	2.70×10^{-3}	10×10^{-3}	18×10^{-3}
	Capacidad de Flujo a 1% de Pendiente	ASTM D-4716	m ³ /s	0.90×10^{-3}	4.00×10^{-3}	14×10^{-3}	27×10^{-3}
PRESENTACION GEODREN	Sistema Ensamblado en Obra Rollo Altura	Medido	m	1.05	1.05	1.05	1.05
	Rollo Largo	Medido	m	100	50	50	35
	Sistema Ensamblado en Fábrica Rollo Altura	Medido	m	1.05	1.05	1.05	1.05
	Rollo Largo	Medido	m	100	50	50	35



	PROPIEDADES	NORMA	UNIDAD	GEODREN PLANAR
GEOTEXTIL NO TEJIDO 3000	Método Grab Resistencia a la Tensión Elongación	ASTM D-4632	N (lb) %	780 (176) > 50
	Resistencia al Punzonamiento	ASTM D-4833	N (lb)	430 (97)
	Resistencia al Rasgado Trapezoidal	ASTM D-4533	N (lb)	350 (79)
	Método Mullen Burst Resistencia al Estallido	ASTM D-3786	kPa (psi)	2208 (320)
	Tamaño de Abertura Aparente	ASTM D-4751	mm (No. Tamiz)	0.150 (100)
	Permeabilidad	ASTM D-4491	cm/s	36×10^{-2}
	Permitividad	ASTM D-4491	s ⁻¹	1.8
	Espesor	ASTM D-5199	mm	2.0
	Tasa de Flujo	ASTM D-4491	l/min/m ²	5271
Porosidad	Calculada	%	> 80	
GEO-RED	Densidad del Polímero (HDPE)	ASTM D-1505	g/cm ³	0.94
	Espesor	ASTM D-1777	mm	5.0
	Transmisividad i = 0.1 Presión 10 kPa i = 0.1 Presión 100 kPa	ASTM D-4716	m ³ /s/m m ³ /s/m	5.3×10^{-3} 4.5×10^{-3}
	Resistencia a la Compresión	ASTM D-1621	kPa (psi)	1250 (181)
GEODREN PLANAR	Transmisividad i = 0.1 Presión 10 kPa i = 0.1 Presión 100 kPa	ASTM D-4716	m ³ /s/m	3.0×10^{-4} 1.9×10^{-4}
	Transmisividad i = 1.0 Presión 10 kPa i = 1.0 Presión 100 kPa	ASTM D-4716	m ³ /s/m	2.1×10^{-1} 1.3×10^{-1}
	Resistencia a la Deaminación	ASTM D-413	lbf/pulg	1.4
PRESENTACION GEODREN	Rollo Ancho	Medido	m	1.0 2.0
	Rollo Largo	Medido	m	50

CONVENCIONES

ASTM : American Society for Testing and Materials

NOTAS

Valores típicos

Accesorios para tubería circular de drenaje, para diámetros de 65 mm, 100 mm, 160 mm y 200 mm.

- Uniones
- Sillas Laterales
- Descargas Frontales con rejilla
- Tapones

PRESENTACIONES GEODREN CON TUBERIA:

Geodrén TB 65 mm
Longitud rollo = 100 m en 2 tramos de 50 m + 2 uniones.

Geodrén TB 100 mm
Longitud rollo = 50 m en 2 tramos de 25 m + 2 uniones.

Geodrén TB 160 mm
Longitud rollo = 50 m en 2 tramos de 25 m + 2 uniones.

Geodrén TB 200 mm
Longitud rollo = 35 m en 1 tramo.

Miembro Corporativo



International Geosynthetic Society



A-6: FORMATOS DE CONTROL DE CALIDAD DE GEOSINTÉTICOS



Nº 1 de Latinoamérica en Tubosistemas

ACEPTACION DE CONDICIONES : SUPERFICIE DE APOYO GEOMEMBRANAS



Form # 2

Proyecto: Depósito de Relaves con Aplicación de Geosintéticos	Ubicación: Av. Túpac Amaru 210 - Rímac
Cliente: Universidad Nacional de Ingeniería	Sector: Cerro Arrastre FIGMM-UNI
Contratista: Grupo Nº 02	Reportado por:
Contrato N°	Fecha:

SUBCONTRATISTA: _____
 AREA DE UBICACIÓN: _____
 AREA A SER APROBADA: _____

El abajo firmante, representante autorizado del instalador, acepta las condiciones de la superficie y será responsable de mantener la integridad y adaptabilidad de dicha superficie de acuerdo a las especificaciones, desde esta fecha hasta completar la instalación. El instalador no se hace responsable por las condiciones del subsuelo bajo la camada

Nombre por

Nombre por

Nombre

Firma

Firma

Firma

Título

Título

Título

Fecha

Fecha

Fecha



Nº 1 de Latinoamérica en Tubosistemas

DESPLIEGUE DE GEOMEMBRANAS



Form # 4

Proyecto:	Depósito de Relaves con Aplicación de Geosintéticos	Ubicación:	Av. Túpac Amaru 210 - Rimac
Cliente:	Universidad Nacional de Ingeniería	Sector:	Cerro Arrastre FIGMM-UNI
Contratista:	Grupo Nº 02	Reportado por:	
Contrato N°		Fecha:	18/03/07

Panel N°	Rollo N°	Hora de Instalación	Area Bruta			Area Neta			Geomembrana			Observaciones	Técnico Q.C.
			Largo (m)	Ancho (m)	Area Panel (m2)	Largo (m)	Ancho (m)	Area Panel (m2)	Espesor (mm)	Calidad	Textura		
1	2	12:10	10.15	3.50	35.53	10.15			0.75	HDPE	LISA		
2	2	12:25	4.90	3.50	17.15				0.75	HDPE	LISA		
3	2	12:35	5.20	3.50	18.20				0.75	HDPE	LISA		
4	2	14:40	4.90	3.50	17.15				0.75	HDPE	LISA		
5	2	15:00	4.70	3.50	16.45				0.75	HDPE	LISA		
6	2	17:05	4.00	3.50	14.00				0.75	HDPE	LISA		
7	2	17:15	4.00	3.50	14.00				0.75	HDPE	LISA		
			TOTAL DIA (m2) 132.42			TOTAL DIA (m2)							
			ACUMULADO (m2) 132.42			ACUMULADO (m2)						HDPE (m2):	
												VFPE (m2):	

Control de Calidad Terreno

Jefe de Control de Calidad

Control de Aseguramiento

Fecha

Fecha

Fecha



Nº 1 de Latinoamérica en Tubosistemas

**PROTOCOLO DE ENSAYOS
NO DESTRUCTIVOS**



Form# 6

Proyecto:	Depósito de Relaves con Aplicación de Geosintéticos	Ubicación:	Av. Túpac Amaru 210 - Rimac
Cliente:	Universidad Nacional de Ingeniería	Sector:	Cerro Arrastre FIGMM-UNI
Contratista:	Grupo Nº 02	Reportado por:	
Contrato Nº:		Fecha:	

Nº Ds	Fecha	Nº Costura	DATOS MAQUINA			Tem. Maquina Cº/Vis	ubicación	Zona	Pelado	Corte	Pasa / Falla	OBSERVACIONES
			Hora	Nomb. Tco.	Nº Maquina							

COMENTARIOS

Control de Calidad Terreno

Jefe de Control de Calidad

Control de Aseguramiento

Fecha

Fecha

Fecha



Nº 1 de Latinoamérica en Tubosistemas

UNIONES POR FUSIÓN



Form# 9

Proyecto:	Depósito de Relaves con Aplicación de Geosintéticos	Ubicación:	Av Túpac Amaru 210 - Rimac
Cilente:	Universidad Nacional de Ingeniería	Sector:	Cerro Arrastre FIGMM-UNI
Contratista:	Grupo N° 02	Reportado por:	PGB
Contrato N°		Fecha:	1E/03/07

N°	Date	Time	Unión	Maquina			Tipo	Longitud		Comentarios	Técnicos Q.C.
				N°	Temp °C	Speed	Soldador	Unión (m)	Acum. Dia (m)		
1	1E/03/07	16:00		2026	420	3.20	LL	3.67	3.67		
2	1E/03/07	16:10		2026	420	3.20	LL	3.52	7.19		
3	1E/03/07	16:20		2026	420	3.20	LL	3.40	10.67		
4	1E/03/07	16:43		2026	300	2.80	LL	3.25	13.92		
5	1E/03/07	16:50		2026	300	2.80	IT	3.80	17.72		
6	1E/03/07	17:01		2026	300	2.80	IT	5.10	22.82		
7	1E/03/07	17:25		2026	300	2.80	IT	4.12	26.94		
8	1E/03/07	17:33		2026	300	2.80	IT	4.07	31.01		
9	1E/03/07	17:38		2026	300	2.80	IT	5.03	36.04		
10	1E/03/07	17:47		2026	300	2.80	IT	4.01	40.05		
11	1E/03/07	18:04		2026	300	2.80	IT	4.35	44.40		
12	1E/03/07	18:17		2026	300	2.80	IT	4.97	49.37		
Total Acumulado (ml)									49.37		

Control de Calidad Terreno

Jefe de Control de Calidad

Control de Aseguramiento

Fecha

Fecha:

Fecha:



Nº 1 de Latinoamérica en Tubosistemas



ORDEN DE SERVICIO / ORDEN DE COMPRA

<input type="text"/>	Orden de servicio
<input type="text"/>	Orden de compra

Form # 10

Proyecto: Depósito de Relaves con Aplicación de Geosintético	Ubicación del Trabajo: Av. Túpac Amaru 210 - Rimac
Cilente: Universidad Nacional de Ingeniería	Sector: Carro Arrastre FIGMM-UNI
Contratista: Grupo Nº 02	Reportado por:
Contrato N°	Fecha:

Cambio de diseño/Especificaciones	<input type="checkbox"/>	Stand By/ desmovilización	<input type="text"/>
		Requisición de material	<input type="text"/>
Trabajo Extra requerido por dueño/Ingeniero	<input type="checkbox"/>	Instalación	<input type="text"/>

DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO

Autorización para proseguir _____
 Representante Titulo

NINGUN TRABAJO SE HARA SIN FIRMA DEL CLIENTE

PERSONAL	HORAS	ITEM	MATERIALES Y EQUIPO
TITULO			CANTIDAD

Precio Total _____ # de dias de _____

NOTA: Su firma o indica que el acuerdo estipulado no está costeado o cubierto en el contrato original y será aceptado y considerado como pgo adicional por trabajo extra realizado por AMANCO DEL PERU S A

Representante AMANCO S A

Contratista

Inspección