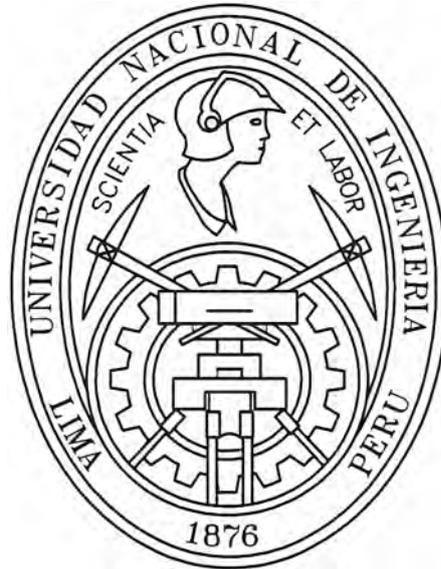


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
Facultad de Ingeniería Civil



**APLICACIÓN DE GEOMEMBRANAS EN POZAS DE
ALMACENAMIENTO DE AGUA
CRITERIOS PARA EL ANÁLISIS Y DISEÑO**

INFORME DE SUFICIENCIA

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

MARDEN VALLES JULCA

LIMA – PERU

2006

INDICE

RESUMEN	4
RELACION DE CUADROS	5
RELACION DE FIGURAS	6
INTRODUCCION	7
CAPÍTULO I: GENERALIDADES	9
1.1 Geomembranas	9
1.2 La Función de Impermeabilidad	11
CAPITULO II: ANÁLISIS DE LOS ESTUDIOS DE INGENIERÍA	13
2.1 Estudios Básicos.	13
2.1.1 Información General	13
2.1.2 Análisis de Estudios Topográficos	13
2.1.3 Análisis de Estudios Geotécnicos	14
2.1.4 Análisis de Estudios Hidrológicos	19
2.2 Estudios Específicos	19
2.2.1 Análisis de la Estabilidad de taludes	19
2.2.2 Análisis de Campo	26
CAPITULO III: CRITERIOS DE DISEÑO	27
3.1 Diseño de la Geomembrana	28
3.1.1 Tipo y Espesor de la Geomembrana	28
3.1.2 Bermas y Trincheras de Anclaje	29
3.1.3 Criterio de Supervivencia	31
3.2 Diseño del Geotextil de Protección	32
3.2.1 Metodología de Diseño	32
3.2.2 Factores de Seguridad	33

3.2.3	Calculo del Geotextil	35
3.3	Diseño del Sistema Hidráulico	37
3.3.1	Diseño del Sistema de Descarga	37
3.3.2	Diseño del Sistema de Emergencias	40
CAPITULO IV: MANUAL DE DISEÑO		43
CONCLUSIONES		52
RECOMENDACIONES		53
BIBLIOGRAFÍA		54
ANEXOS		55
ANEXO I	REGISTROS DE CAMPO	
ANEXO II	RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO	
ANEXO III	ESPECIFICACIONES TECNICAS DE LOS GEOSINTETICOS	
ANEXO IV	MATERIAL FOTOGRAFICO	
ANEXO V	PLANOS	

RESUMEN

En el presente informe, se realiza una Investigación respecto a los procedimientos a tener en cuenta para el diseño de una poza de almacenamiento de agua impermeabilizada con Geomembranas.

El propósito de este informe, es proporcionar una Metodología para proyectos de esta índole, con el fin de determinar las consideraciones mínimas en su etapa de concepción. Todo esto, mediante los análisis y diseños que permitan que esta obra cumpla con sus objetivos de servicio, además de resistir los efectos tanto internos (cargas muertas, estabilidad, etc.), como externos (Cargas vehiculares, viento, etc).

Para esto se desarrolla un análisis “modelo”, para luego desarrollar un Manual de diseño, que recurre a los criterios mínimos adecuados, de manera, de cumplir con sus objetivos de eficiencia y calidad necesarios.

Se ha tomado como punto de partida el proyecto de una poza impermeabilizada con geomembrana realizado en la UNI. Este proyecto forma parte de un proyecto integral, en el cual, se suma una Poza de Recolección, en la parte baja, que luego suministrará de agua, mediante el uso de una bomba hidráulica, la poza superior, motivo de este informe, de manera de poder utilizar el agua en el control de erosión de una franja de talud en el cerro de la UNI, ubicada a unos metros de esta última, mediante el uso de un sembrío alternativo para dicho fin. Posteriormente el agua contará con una recirculación de manera de lograr un ciclo permanente para su utilización.

Es importante partir de un análisis coherente, sensato y profesional, de manera de evitar complicaciones posteriores, que generarían mayores gastos y tiempos respecto a los inicialmente proyectados.

RELACION DE CUADROS

Cuadro 1.1	Valores de Permeabilidad para HDPE	12
Cuadro 2.1	Profundidad de Calicatas	15
Cuadro 2.2	Clasificación de Suelos	16
Cuadro 2.3	Coeficiente Sísmico Propuesto para Presas Pequeñas	17
Cuadro 3.1	Ángulos de Fricción Geomembrana – Suelo y geotextil Según ensayo ASTM 5321	29
Cuadro 3.2	Valores mínimos recomendados para supervivencia de la Geomembrana en el proceso de instalación.	31
Cuadro 3.3	Factores de Seguridad Global para Diseño	33
Cuadro 3.4	Factor de Modificación por Formas de la Protuberancia	34
Cuadro 3.5	Factor de Modificación por Densidad de Relleno	34
Cuadro 3.6	Factor de Modificación por Efecto de Arco en Sólidos	34
Cuadro 3.7	Factor de Reducción por Fluencia	35
Cuadro 3.8	Factor de Reducción por degradación química y biológica a largo plazo	35
Cuadro 3.9	Valores de “K” para diversos accesorios	38
Cuadro 4.1	Valores mínimos recomendados para supervivencia de la Geomembrana en el proceso de instalación	48

RELACIÓN DE FIGURAS

Figura 1.1	Equipo para Ensayo de Transmisión de Vapor de Agua	11
Figura 2.1	Mapa de Coeficiente Sísmico Propuesto para Presas Pequeñas	17
Figura 2.2	Diagrama de Análisis para el Método de Bishop	20
Figura 2.3	Diagrama General del análisis de taludes	22
Figura 2.4	Factor de Seguridad Mínimo en talud aguas abajo	23
Figura 2.5	Factor de Seguridad Mínimo Global	25
Figura 3.1	Esquema Hidráulico de la Poza de Agua	38
Figura 3.2	Sección Típica en un vertedero de cresta ancha	41

INTRODUCCIÓN

En el presente informe, se desarrolla la metodología para el diseño de una poza de almacenamiento de agua impermeabilizada con Geomembrana.

Para el planeamiento y diseño de la construcción de este proyecto, se utiliza la aplicación de unos nuevos materiales, que en los últimos años han ingresado con fuerza a nivel mundial de los proyectos de esta categoría: **Los Geosintéticos.**

En el caso de proyectos de almacenamiento, las Geomembranas se constituyen en materiales “precisos” para esta aplicación debido a su gran capacidad de impermeabilización, sumándose a ello su alta resistencia a condiciones climáticas difíciles, e incluso en condiciones muy desfavorable como en suelos con alto contenido agresivo.

La utilización de polímeros que permiten conseguir unas resistencias adecuadas, han logrado que esta industria cumpla con sus objetivos de eficiencia y seguridad, consiguiendo además, superar alguna incertidumbre en sus primeras aplicaciones.

Estos productos han sido bastante estudiados en los últimos tiempos con minuciosidad y verificando sus resultados en la práctica, de manera que satisfacen los parámetros de seguridad, confiabilidad y permanencia requerida.

En el Primer Capítulo se presentan las generalidades de uso de este material, así como la importancia y detalles de su principal función: La impermeabilización

En el Segundo Capítulo se realiza un análisis básico de los estudios de Ingeniería (Topografía, Geotecnia e Hidrología son los principales tópicos a tener en cuenta para este tipo de Obras). En cada caso se hace una evaluación básica haciendo notar las características del lugar del proyecto y de las implicancias que esas particularidades traerán a la obra.

En el Tercer Capítulo se realiza el diseño de los principales partes de la obra, teniendo en consideración la calidad y seguridad que la obra requiere para funcionar en su vida útil. Empieza por el diseño de los Geosintéticos a utilizar y luego de sus obras hidráulicas complementarias así como un análisis de campo del emplazamiento de la obra.

En el Cuarto Capítulo se hace una recopilación a manera de manual de los pasos a seguir cuando se proyecte una obra de este tipo. Se consideran los aspectos básicos, los cuales según la solicitud y envergadura del proyecto, pueden ser mejorados en rigurosidad y exigencia.

Finalmente se presentan las Conclusiones y Recomendaciones respecto al proyecto realizado. Se adjuntan anexos importantes que permiten conocer detalles de los materiales que se utilizaron, así como los resultados de análisis con mayor minuciosidad. Se culmina el informe con un panel fotográfico de los principales momentos de la realización del proyecto, además de los planos resultantes de esta investigación.

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

La industria de los Geosintéticos es una de las industrias que con más expectativa ha ingresado en los proyectos de ingeniería civil, debido a sus condiciones de utilización, en la mayoría de los casos más económica que las soluciones tradicionales existentes hasta hoy.

Los grupos más influenciados en la utilización de los geosintéticos son los ingenieros civiles, mineros, geólogos así como todos los involucrados en las aplicaciones del tipo geotécnico. Aunque son innumerables las razones que determinan la preferencia por la utilización de estos materiales; se pueden citar su rápida instalación, el que reemplazan diseños difíciles y además, que representan ventajas económicas importantes.

Los Geosintéticos son tejidos hechos de plásticos, principalmente polímeros, pero a veces hule, fibras de vidrio u otros materiales, que se incorporan en suelos para mejorar ciertas características geotécnicas. Las funciones que desempeñan los materiales geosintéticos se pueden agrupar en cinco categorías principales: separación de materiales, refuerzo de suelos, filtración, drenaje dentro de masas de suelos y barrera para movimiento de humedad.

1.1 Geomembranas

Las Geomembranas se definen como un recubrimiento, membrana o barrera de muy baja permeabilidad usada con cualquier tipo de material relacionado aplicado a la ingeniería geotécnica para controlar la migración de fluidos (Según la Norma ASTM D4439).

Las Geomembranas son hechas a partir de hojas relativamente delgadas de polímeros. La extrusión o soplado del polímero que mediante la acción de Temperatura y Presión va a formar una manga de espesor calibrado que luego será cortado en la parte superior para formar los rollos. Su fabricación se da principalmente Por Extrusión o Soplado ó Por Calandrado.

Las propiedades principales respecto a las Geomembranas de HDPE son:

- Físicas: Referidas a la presentación; como espesor (0.75 a 2.5mm), densidad (promedio de 0.94 g/ml), etc.
- Mecánicas: Referidas a las condiciones de supervivencia en la instalación; tales como su resistencia a la tensión (20 a 70 N/mm), punzonado (240 a 800 N), desgarro (93 a 311 N), etc.
- Hidráulicas : Referidas a la aplicación y su funcionamiento a lo largo de su vida útil; tales como la permeabilidad o también llamada conductividad hidráulica (1×10^{-12} a 1×10^{-15} m/s)

Específicamente citaremos las Geomembranas de HDPE, por haber sido utilizadas en nuestro proyecto. Estas Geomembranas de HDPE 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. Además están específicamente diseñadas para condiciones expuestas. No contienen aditivos o rellenos que puedan evaporarse y causar deterioro a medida que pasa el tiempo.

Las Geomembranas de HDPE, son resistentes a una amplia gama de productos químicos, incluyendo ácidos, sales, alcoholes, aceites e hidrocarburos. Estos productos químicos pueden actuar concentrados y/o diluidos a diferentes temperaturas. Además de su excelente resistencia al ataque de agentes químicos y a los rayos Ultravioleta (UV), presentan inmejorables propiedades mecánicas.

Las Geomembranas de HDPE, se presentan en rollos de 7.00 m de ancho, calibres entre 20 y 80 mils (0,5 y 2,0 mm) y longitudes entre 381 y 156 m lineales en la mayoría de su proveedores.

En el caso de los detalles para su colocación en obra, como se realizó en nuestro proyecto, el sellado de estas Geomembranas se realiza dentro y/o fuera de la obra, utilizando una máquina de cuña caliente y una máquina extrusora de resina de HDPE.

1.2 La Función de Impermeabilidad

Es notable señalar dentro de sus principales características como son las de adaptarse al terreno, su gran resistencia los rayos UV, una que destaca en forma sobresaliente, sus altos valores de impermeabilidad.

Podemos comentar, que valores normales de permeabilidad para una Geomembrana medida para transmisión de agua y vapor están en un rango de 1×10^{-12} a 1×10^{-15} m/s, por ello las Geomembranas son consideradas ser prácticamente impermeables.

En Geomembranas, se deduce la permeabilidad mediante el ensayo de Transmisión de Vapor de Agua. El cálculo de la Permeabilidad se hace de manera indirecta

Método de prueba:

Una taza se llena con agua destilada que deja pasarla por una abertura pequeña (De 0.75 " a 0.25 ") del espacio de aire entre el espécimen y el agua. La taza entonces se sella para prevenir pérdida del vapor, excepto a través de la muestra de la prueba. Se toma con el aparato un peso inicial y se realiza pesajes periódicos hasta que los resultados llegan a ser lineales. La precaución se debe utilizar para asegurar, que toda la pérdida del peso se dé debido a la transmisión del vapor de agua a través del espécimen.



Figura 1.1 Equipo para Ensayo de Transmisión de Vapor de Agua

Así tenemos que para el caso de Geomembranas de HDPE, los valores de permeabilidad obtenidos son:

CUADRO 1.1: VALORES DE PERMEABILIDAD PARA HDPE

MATERIAL	$K_g (10^{-15} \text{ m/seg})$	T_g (mm)
HDPE	1.1 a 1.2	0.80 a 2.44

Fuente: Elaboración Propia

K_g : Conductibilidad Hidráulica (Velocidad de transmisión de agua y vapor a través de la Geomembrana, expresada en m/seg)

T_g : Espesores ensayados, en mm.

Estos valores de Conductividad Hidráulica (K_g), han sido encontrados en laboratorio y demuestran valores muy pequeños que permiten definir una propiedad de impermeabilización bastante considerable.

Sin embargo ésta, debe de ser acompañada de una adecuada colocación, así como de un mantenimiento eficiente, para evitar daños en su instalación o por agentes externos durante su servicio.

CAPITULO II

ANÁLISIS DE LOS ESTUDIOS DE INGENIERÍA

2.1 Estudios Básicos.

2.1.1 Información General

Para realizar un adecuado estudio y evaluación de la condiciones del proyecto, se deben considerar los análisis básicos para asegurar y determinar, que dicha obra cuente con los parámetros de seguridad y calidad que los especialistas debemos brindar.

En nuestro caso es importante señalar que los estudios que se llevarán acabo son aquellos que mínimamente deben realizarse en proyectos de este tipo, los cuales si así se requiere, pueden ser más profundos.

2.1.2 Análisis de Estudios Topográficos

El área de estudio se encuentra emplazada a unos aprox. 20 m de altura sobre el colegio “Los Ingenieritos”. Específicamente sobre el cerro ubicado frente a este local estudiantil, dentro de las instalaciones de la Universidad Nacional de Ingeniería, distrito del Rímac, Provincia de Lima y Departamento de Lima, según el plano de ubicación del Proyecto. (Anexo V. Plano P-02)

Estudios Topográficos

A fin de identificar la zona de trabajo se ha recopilado y evaluado la información concerniente básicamente en Cartografía, Estudios existentes y planos digitalizados existentes.

Se ha realizado el levantamiento topográfico a partir de la zona del campo deportivo al costado del centro inicial “los Ingenieritos”. El equipo con el que se ha realizado el trabajo topográfico tiene las siguientes características:

- 01 Teodolito electrónico marca TOPCON, modelo DT101, siendo el teodolito de una precisión de lectura de 5".
- 01 mira estadimétrica.

En términos generales la topografía de la zona donde se desarrollara el proyecto es relativamente plana debido a que se encuentra al costado de un camino carrozable usado por camiones que se dirigen hacia la Chancadora de Minas. Sin embargo existe un talud aguas abajo, que tiene como pendiente 1:0.75 H:V , considerado el mas crítico para efectos de estabilidad. El talud aguas arriba, el cual esta a unos 3 metros de la poza, tiene una pendiente 1:1.25 H:V aprox. Los entregables resultados de este análisis son:

- **Plano de Ubicación (P-02)**

Para el plano de ubicación se han tomado los planos digitalizados existentes de la Universidad de Ingeniería donde se presenta la zona donde se desarrollarán los trabajos. El plano de ubicación se presenta a una escala de 1:5000, mientras que el plano perimétrico de la zona en estudio se encuentra en escala 1/50. (Anexo V)

- **Secciones Transversales (P-04)**

Las secciones transversales se encuentran a escala 1/100. En la zona de la poza se ha realizado el seccionamiento cada 3 metros. (Anexo V)

2.1.3 Análisis de Estudios Geotécnicos

Alcances

Los Alcances de este análisis son:

- Determinar las características físico-mecánicas de los materiales subyacentes (dentro de la profundidad de interés) para la construcción de la estructura.
- Determinar las condiciones de estabilidad de la estructura, de modo de asegurar la permanencia física de las mismas.

Todo este análisis se efectúa mediante un programa de exploración de campo, ensayos de laboratorio, labores de gabinete, de los cuales se deducen los parámetros para el análisis a posteriori de las condiciones de ejecución del proyecto.

Investigaciones Efectuadas

- Registro de excavaciones

Se han realizado 03 excavaciones o pozos a cielo abierto en el área de estudio, alcanzando una profundidad máxima de 1.5 m. La profundidad de exploración se definió a partir de que la profundidad de almacenamiento de la poza es 1.0 m.

El resumen se muestra en el cuadro 2.1. (Anexo IV: Material Fotográfico)

CUADRO 2.1 PROFUNDIDAD DE CALICATAS

CALICATA	PROFUNDIDAD (m)
C-1	1.50
C-2	1.50
C-3	1.50

Fuente: Elaboración Propia

Paralelamente el muestreo se efectuó el registro estratigráfico de la calicata C-1, C-2, C-3 anotándose las principales características de los estratos encontrados, tales como: humedad, compacidad, consistencia, tamaño máximo de las partículas, etc. Todas las características encontradas en estas exploraciones se encuentran en el Anexo II.

- Ensayos de laboratorio

Es necesario e imprescindible realizar unos ensayos básicos de manera de conocer la naturaleza del suelo, además de sus parámetros de resistencia, para realizar el análisis adecuado de su condición para recibir la obra que se está proyectando.

En vista de lo anterior se optó por realizar las siguientes pruebas de laboratorio:

- 01 Análisis Granulométrico por tamizados ASTM D-422
- 01 Limite Liquido ASTM D-4318
- 01 Limite Plástico ASTM D-4318
- 01 Índice Plástico ASTM D-4318
- 01 Determinación de la densidad natural por el método del cono y la arena ASTM D-1556 – Cono de 12” Diámetro
- 01 Corte Directo ASTM D-3080

Aun cuando los Geosintéticos en su mayoría presenten una alta resistencia a sulfatos y componentes químicos adversos como el caso de relaves, es necesario sugerir un ensayo químico, de modo de descartar una posible alta concentración de algún componente químico que deteriore con mayor velocidad estos productos.

- Clasificación de suelos

La muestra de suelo ensayada producto de la excavación realizada, se ha clasificado de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS). Ver cuadro 2.2

CUADRO 2.2 : CLASIFICACION DE SUELOS

CALICATA	C-1
Prof. (m)	1.50
Ret. N°4	37.80
Pasa N° 200	30.10
L.L. (%)	19.30
I.P. (%)	N.P.
SUCS	GM

Fuente: Elaboración Propia

El detalle de estos valores se presenta en el Análisis Granulométrico realizado que se presenta en el Anexo II

Sismicidad del Área de Estudio

De acuerdo a la información sismológica el área en estudio se encuentra ubicada dentro de la zona N° 1 (Ver figura 2.1). Para esta área se han encontrado intensidades máximas de VIII-IX en la escala de Mercalli Modificada. Por lo tanto la susceptibilidad sísmica es alta.

Estas consideraciones de Sismicidad se han desarrollado en el análisis posterior de estabilidad de taludes asumiendo un factor sísmico horizontal de 0.2g. Este valor es un promedio, del sugerido para presas de por Ruesta, P., Díaz, J. Alva, J. 1988. (Ref. Bib. N° 7) El análisis sísmico no va más allá de éste. Debido a que el proyecto no contempla el fin de cimentación de ningún tipo, aun cuando encontrarse a una profundidad de 1m podría asumirse como un tipo de "cimentación". Sin embargo con el análisis de estabilidad de taludes se logra determinar la seguridad del proyecto.

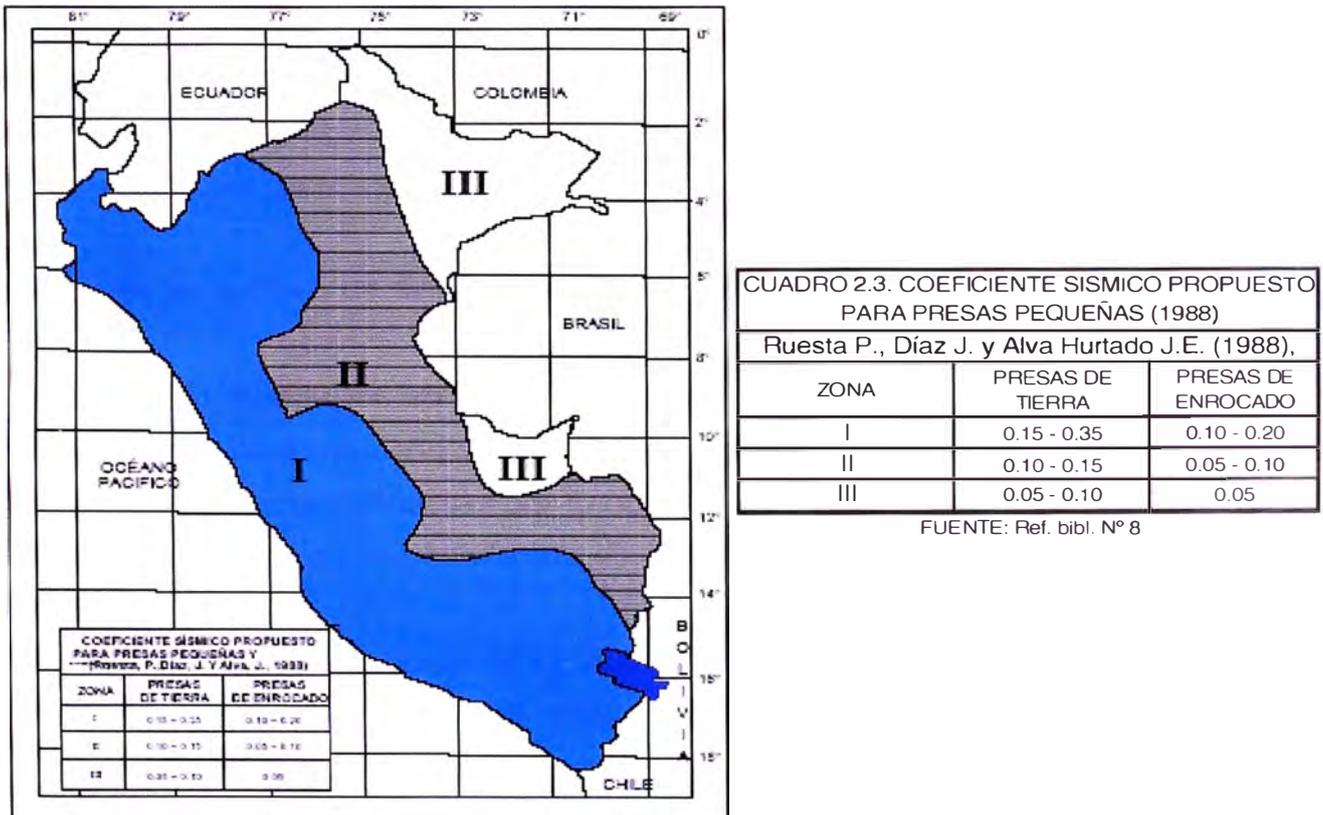


Figura 2.1 - Mapa de Coeficiente Sísmico Propuesto para Presas Pequeñas
 Ref. Bib. N°7

Descripción del Perfil Estratigráfico

Sobre la base de los trabajos de campos que involucra las excavaciones en base a las calicatas, ensayos de laboratorio y registro de excavaciones; se elaboró la siguiente conformación del suelo.

En la calicata C-1 se encontró un limo de consistencia dura, de baja plasticidad, poco húmeda color marrón claro, con gravas aisladas de $T_{m\acute{a}x}$ 2". Hasta una profundidad de 1.0m. El último 0.5 m contenía un material mucho más compacto, con mayor presencia de gravas con un $T_{m\acute{a}x}$ de hasta 3".

En las calicata C-2 y C-3 se encontró un limo de consistencia media, de baja plasticidad, baja humedad, color marrón claro, con gravas aisladas de $T_{m\acute{a}x}$ 1 1/2". El material encontrado se notaba proveniente de un relleno en esta ladera (por lo que durante la construcción de la poza se realizó una compactación al terreno para su mayor estabilidad). La humedad natural proveniente de los ensayos es de 0.9%.

Los detalles del perfil estratigráfico se presentan en el Anexo II.

Análisis de la Obra de Almacenamiento

Teniendo en cuenta las condiciones físicas y mecánicas del perfil estratigráfico del subsuelo, podemos concluir que la base del almacenamiento estará apoyada en las gravas semi-compactas por lo que se procedió a una compactación previa a la colocación de la Geomembrana.

Pero el aspecto más importante a tomar en cuenta es la estabilidad del talud. Por ello se ha realizado el ensayo de corte directo para determinar los parámetros de análisis obteniéndose valores de cohesión: $c = 0.07 \text{ kg/cm}^2$ y ángulo de fricción: $\phi = 32.7^\circ$ para este suelo. Además de un ensayo de densidad natural que arrojó un valor de 1.747 gr/cm^3 .

Todo el proceso de análisis de estabilidad de taludes se verá desarrollado en el ítem 2.2.1.

2.1.4 Análisis de Estudios Hidrológicos

Este análisis se realiza principalmente:

- Si el proyecto se realiza en alguna zona donde se manifieste una precipitación promedio alta,
- Existencia de alguna quebrada que pueda activarse con alguna precipitación no común, como un Fenómeno del Niño.
- Presencia de algún flujo subterráneo cerca de la ubicación del proyecto

De existir alguna de estas condiciones, normalmente el nivel freático es alto comprometiendo la estabilidad de los taludes de la poza, por otra parte se corre el riesgo de la infiltración de agua que genere el mismo problema de inestabilidad.

En nuestro caso, la ubicación del proyecto: Rímac – Lima, tiene unos datos históricos de precipitación menores a los 20 mm/año que no determinan un estudio tan exigente en este sentido. Sin embargo, de ser necesario debe realizarse.

2.2 Estudios Específicos.

2.2.1 Análisis de la Estabilidad de taludes

Consideraciones Preliminares - Método de Bishop

Para el caso del talud encontrado en la zona del proyecto se ha realizado un análisis mediante el software SLIDE 5.0 desarrollado por la compañía canadiense ROCSCIENCE Geomechanics Software and Research. Se escogió para este trabajo realizar el análisis mediante el Método de Bishop. Este método fue originalmente desarrollado para roturas circulares, en el que se considera que las interacciones entre rebanadas son nulas. El cálculo se lleva a cabo buscando el equilibrio de momentos respecto al centro del arco circular, aunque en la versión posterior se puede aplicar a superficies no curvas definiendo centros ficticios.

Casi la totalidad de los métodos utilizados actualmente se basan en el denominado *de las rebanadas* (Figura 2.2), que consiste en dividir el macizo potencialmente deslizante en rebanadas verticales, calcular el equilibrio de cada una de ellas, y finalmente analizar el equilibrio global, obteniendo un Factor de Seguridad (FS) que se define como la relación entre fuerzas o momentos resistentes y fuerzas o momentos motores.

Si las circunstancias así lo requieren puede ser necesario considerar la incidencia de sobrecargas, fijas o temporales, las fuerzas de filtración a través del macizo, así como las acciones sísmicas.

Una vez calculado FS para una determinada curva de rotura potencial, se repite el proceso para otra distinta, y así sucesivamente hasta obtener un mínimo para FS, suponiéndose entonces que esta será la curva pésima.

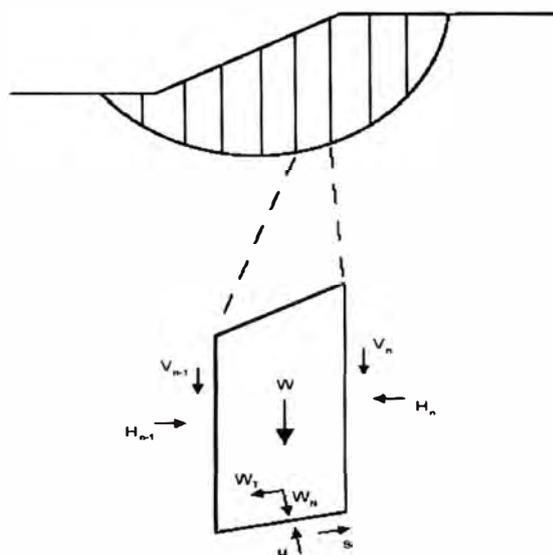


Figura 2.2 - Diagrama de análisis para el Método de Bishop

Una vez calculado FS para una determinada curva de rotura potencial, se repite el proceso para otra distinta, y así sucesivamente hasta obtener un mínimo para FS, suponiéndose entonces que esta será la curva pésima. Como puede fácilmente deducirse, en cálculo manual el proceso es lento y tedioso, prestándose a errores durante la manipulación de tan gran número de parámetros, y quedando siempre la incertidumbre de si el valor del FS que estimamos final es realmente el mínimo, o todavía podemos encontrar otra curva que lo minimice más, y aunque hay procedimientos para ir acotando progresivamente los FS, se necesita un número significativamente elevado de

horas de trabajo para llegar a un valor fiable. Con el cálculo electrónico (Software) el procesamiento es prácticamente instantáneo, y permite analizar un gran número de alternativas, por lo que el valor mínimo de FS puede acotarse dentro de un intervalo razonablemente aceptable en un tiempo muy corto.

Los análisis realizados son desarrollados en los siguientes ítems.

Análisis de talud aguas abajo

Se ha tenido en cuenta que existe un empuje importante de parte del agua almacenada sobre el talud que da hacia el lado exterior del talud. El talud de agua arriba no se analizó ya que durante las exploraciones se ha notado la presencia de roca lo cual permite una buena estabilidad tanto interna como externa. La poza tiene en su longitud un desarrollo de aproximadamente 9m. Debido a esta característica se optó por analizar tres secciones para determinar su comportamiento de estabilidad.

Según valores propuestos por Ruesta, Díaz y Alva (1988) (Ref. Bib. N° 7), para presas de tierra, tenemos:

- 1) Final de Construcción + Sismo F.S. > 1.0
- 2) Infiltración Constante + Sismo F.S. > 1.25
- 3) Desembalse Rápido + Sismo F.S. > 1.0

En nuestro caso, por ser la Geomembrana un elemento considerado impermeabilizante, no se ha tomado en cuenta la Infiltración ni la situación de desembalse rápido, ya que estos son considerados si se presentara un flujo de infiltración dentro del talud. Para nuestro proyecto esta situación no se presenta.

Mediante el programa SLIDE 5.0 y teniendo como datos de entrada, los obtenidos de los respectivos ensayos, se realizó el análisis. Los parámetros de entrada son los siguientes:

Cohesión: $c = 0.07 \text{ Kg /cm}^2$

Ángulo de fricción: $\phi = 32.7^\circ$

Peso específico: $P.e. = 17 \text{ KN/m}^3$

Coefficiente sísmico: 0.2g (Horizontal)

Carga vehicular: 5 KN/ml

Talud aguas abajo (poza): H: 1.5, V: 1.0

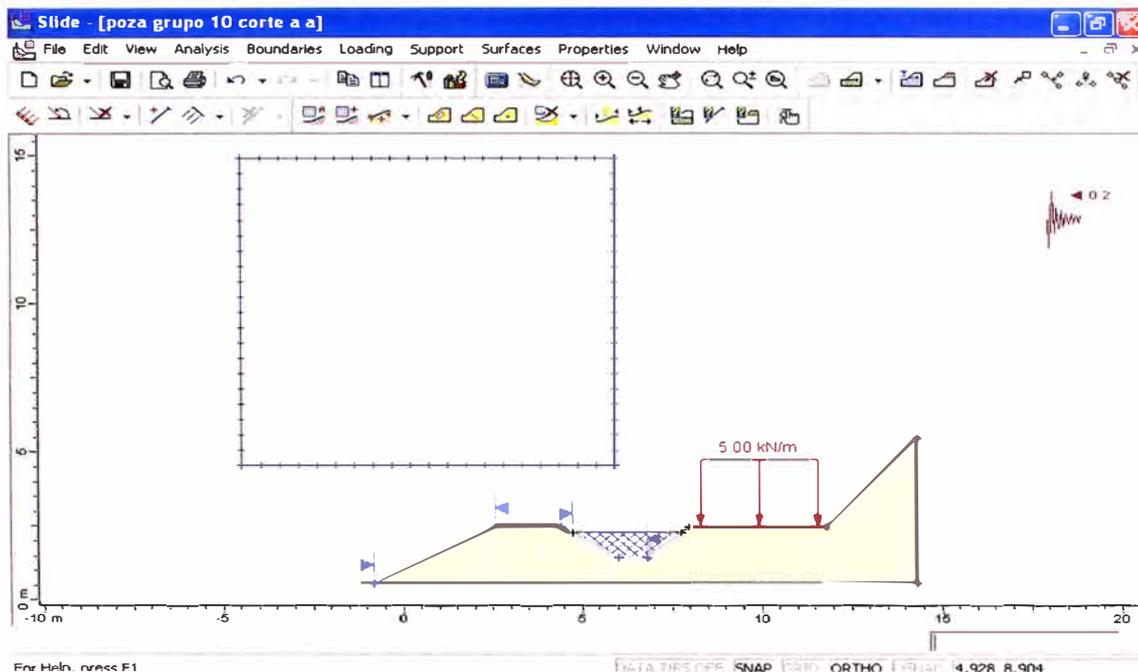


Figura 2.3 - Diagrama general del análisis de taludes

Se presentan a continuación los resultados del PROGRAMA SLIDE 5.0 para el **Talud Aguas Abajo** (Se presentan: Configuración, métodos de análisis, tipos de superficies, Cargas, Propiedades de materiales, y factor mínimo de seguridad)

Project Settings

Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

Failure Direction: Right to Left

Units of Measurement: SI Units

Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m³

Groundwater Method: Water Surfaces

Data Output: Standard

Random Number Seed: 10116

Analysis Methods

Analysis Methods used: Bishop simplified

Number of slices: 25 Tolerance: 0.005

Maximum number of iterations: 50

Surface Options

Surface Type: Circular

Radius increment: 10

Minimum Elevation: Not Defined

Composite Surfaces: Disabled

Reverse Curvature: Create Tension Crack

Loading

Seismic Load Coefficient (Horizontal): 0.2

1 Distributed Load present:

Distributed Load Constant Distribution, Orientation: Normal to boundary,

Magnitude: 5 kN/m

Material Properties

Material: Material 1

Strength Type: Mohr-Coulomb

Unit Weight: 17 kN/m³

Cohesion: 0.07 kPa

Friction Angle: 32.7 degrees

Water Surface: None

Material: Material 2

Strength Type: No strength

Unit Weight: 9.8 kN/m³

Global Minimums

Method: bishop simplified

FS: 1.194330 Center: -1.863, 13.834 Radius: 13.328

Left Slip Surface Endpoint: -0.785, 0.549

Right Slip Surface Endpoint: 4.694, 2.230

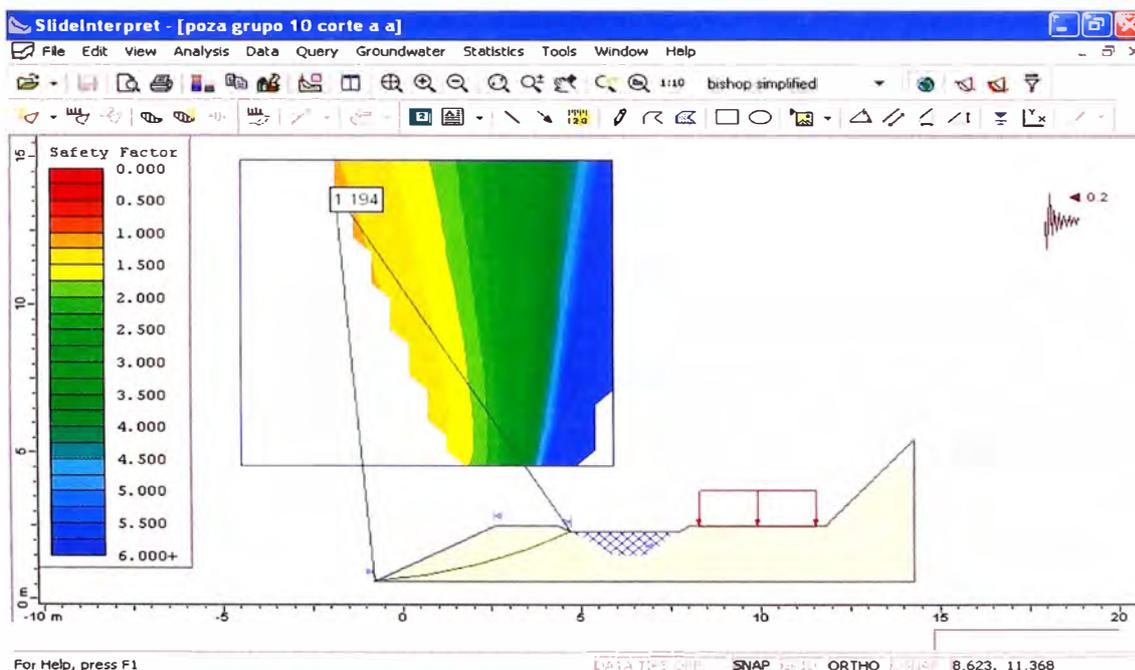


Figura 2.4 - Factor de Seguridad Mínimo en Talud Aguas Abajo

Luego del análisis el Factor de Seguridad mínimo encontrado es:

$$\mathbf{F.S. = 1.194 > 1.0}$$

Por lo tanto el talud en su situación más desfavorable es estable.

Análisis global

Para el caso de presentarse la falla en una zona que involucre toda la poza, se han tomado en cuenta los mismos parámetros del análisis anterior sólo que considerando el análisis desde el camino paralelo a la ubicación del proyecto. Por ello se ha denominado un análisis global (externo) de toda la poza.

Se presentan a continuación los resultados del PROGRAMA SLIDE 5.0 para el **Talud Global** (Se presentan: Configuración, métodos de análisis, tipos de superficies, Cargas, Propiedades de materiales, y factor mínimo de seguridad)

Project Settings

Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program
Failure Direction: Right to Left
Units of Measurement: SI Units
Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m³
Groundwater Method: Water Surfaces
Data Output: Standard
Random Number Seed: 10116
Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

Analysis Methods

Analysis Methods used:
Bishop simplified

Number of slices: 25
Tolerance: 0.005
Maximum number of iterations: 50

Surface Options

Surface Type: Circular
Radius increment: 10
Minimum Elevation: Not Defined
Composite Surfaces: Disabled
Reverse Curvature: Create Tension Crack

Loading

Seismic Load Coefficient (Horizontal): 0.2
1 Distributed Load present:
Distributed Load Constant Distribution, Orientation: Normal to boundary,
Magnitude: 5 kN/m

Material Properties

Material: Material 1

Strength Type: Mohr-Coulomb

Unit Weight: 17 kN/m³

Cohesion: 0.07 kPa

Friction Angle: 32.7 degrees

Water Surface: None

Material: Material 2

Strength Type: No strength

Unit Weight: 9.8 kN/m³

Global Minimums

Method: bishop simplified

FS: 2.164270

Center: 2.278, 14.869

Radius: 14.332

Left Slip Surface Endpoint: -0.369, 0.784

Right Slip Surface Endpoint: 9.396, 2.430

Resisting Moment=1633.86 kN-m

Driving Moment=754.923 kN-m

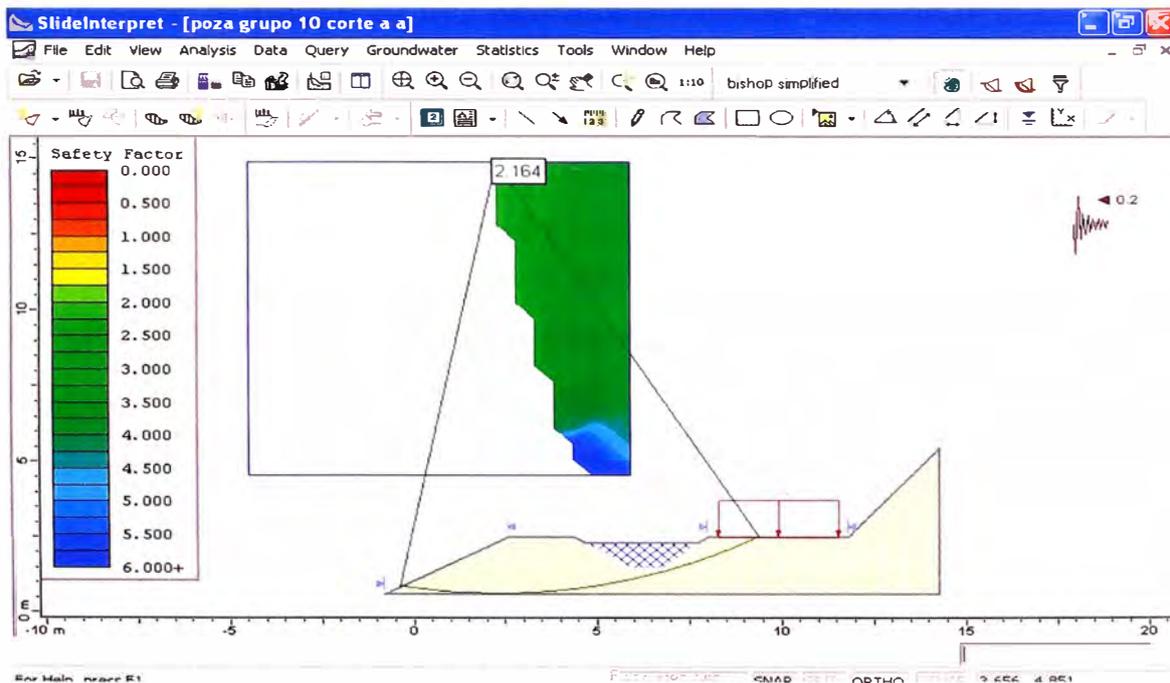


Figura 2.5 - Factor de Seguridad Mínimo en Talud Global

Luego del análisis el Factor de Seguridad encontrado es:

$$\mathbf{F.S. = 2.164 > 1.0}$$

Por lo tanto el talud en su situación más desfavorable es estable.

2.2.2 Análisis de Campo

Este análisis se refiere a la evaluación considerada in-situ. Es decir observado el emplazamiento de la obra. Así como sus condiciones para su funcionamiento adecuado.

Se basa en la premisa de que no sólo basta el hacer el análisis de ensayos de laboratorio, ni sólo el uso de softwares para encontrar parámetros de diseño posterior, sino en la evaluación correcta de los diversos detalles encontrados en la evaluación en la misma ubicación del proyecto, de manera de observar algún detalle que ponga en riesgo la seguridad y adecuada operación de la poza durante su operación.

Así podemos señalar que en el caso de la poza que se construyó, la ubicación de por sí, era inicialmente un problema debido al poco margen que se tenía para su construcción, ya que se debía contar con un volumen de captación similar al de la poza inferior, al menos 22 m³. Además podemos mencionar:

- Ubicación cercana a un talud formado por material de relleno.
- Cercanía a una vía por el otro flanco, que implicaba tomar ciertas medidas para asegurar la seguridad tanto de la obra como para los camiones que en forma frecuente realizan su recorrido hacia la zona de la Facultad de Minas.
- Presencia de un macizo rocoso al costado del emplazamiento.

Esto determinó que se tomaran ciertas medidas, previas al diseño. Entre ellas están:

- Considerar una forma irregular para la poza.
- Profundizar un poco más la excavación para lograr el volumen adecuado.
- Sugerir una compactación en el fondo y taludes para mejorar la estabilidad de la obra.
- Plantear una excavación manual por no ser tan grande el volumen a mover y por las condiciones de inestabilidad de darse una excavación con equipo.

- En su momento la posibilidad de utilizar una mezcla tierra cemento para mejorar la estabilidad de los taludes durante la colocación del Geotextil y la Geomembrana.
- Presencia de piedras aisladas que podrían comprometer la durabilidad de la Geomembrana, por lo que se sugirió la utilización de un geotextil de protección. Para ello se adjunto el diseño respectivo.
- Además se evaluó la ubicación del vertedero de demasías (rebose de emergencia), en el caso que la poza reciba mas caudal del esperado.

CAPITULO III

CRITERIOS DE DISEÑO

3.1 Diseño de Geomembrana

3.1.2 Tipo y espesor de la Geomembrana.

La evaluación de esta parte del proyecto ha sido desarrollada con Geomembrana de tipo HDPE por el hecho de ser necesaria alta resistencia a los rayos UV al encontrarse contemplado en el proyecto la no utilización de material de cobertura, siendo este aspecto adicionado a la inclinación del talud (1.5H:1V) importante en la selección de la textura de dicho material, el cual será liso por una cara y texturado por otro.

El diseño técnico deberá proceder según el método de diseño para coberturas de reservorios, basándonos en las deformaciones bajo la superficie que el revestimiento podría experimentar durante su vida de servicio. Por tal razón es que se calcula el espesor de la Geomembrana de acuerdo al siguiente procedimiento:

Diseño de Espesor de Geomembrana

Fuente: Design with Geosynthetics. 5ta edición. Robert Koerner.

$$t = \frac{\sigma_n x (\tan \delta_u + \tan \delta_L)}{\sigma_{adm} (\cos \beta - \text{sen} \beta \tan \delta_L)} \quad (3.1)$$

- t = Espesor de la geomembrana
- σ_n = Esfuerzo aplicado por el material de relleno
- x = Distancia de la deformación movilizada de la geomembrana
- δ_u = Angulo de resistencia al corte entre geomembrana y el material sobre ella
- δ_L = Angulo de resistencia al corte entre geomembrana y el material debajo de ella
- σ_{adm} = Esfuerzo admisible de la geomembrana
- β = Angulo de asentamiento que moviliza la tensión de la geomembrana

- Datos:

σ_n =	9.8	Kpa
x =	50	mm
δ_u =	0	°
δ_L =	32	°
σ_{adm} =	15000	Kpa
β =	45	°

$$t = 0.077 \text{ mm}$$

Factor de seguridad

$$FS = \frac{t_{\text{instalado}}}{t_{\text{requerido}}} \quad \text{Escogemos} \quad t = 1 \text{ mm}$$

$$FS = \frac{1}{0.077} \quad FS = 12.99 > 1 \quad \text{OK!!}$$

Respecto al valor de δ_u y δ_l , estos se deben seleccionar del cuadro 3.1.

Cuadro 3.1 - Ángulos de fricción Geomembrana – Suelo – Geotextil.
Según ensayo ASTM 5321.

Tipo De Geomembrana	Tipo De Geotextil	Tipo De Suelo - Arena		
		$\phi = 30^\circ$	$\phi = 28^\circ$	$\phi = 26^\circ$
Texturizada	No Tejido Punzonado	32°	30° (100%)	26° (92%)
Lisa		8°	18° (56%)	17° (63%)

(Fuente: Ref. Bibl. N°5)

Reemplazando los valores y factores correspondientes en la formula obtenemos un espesor de Geomembrana mínimo de 0.75mm o 300mils. Este valor es considerado a partir del criterio por supervivencia, ya que el resultado de la fórmula es bastante mayor. (Los datos fueron obtenidos del Manual de Diseño con Geosintéticos de Robert M. Koerner). Sin embargo la membrana a instalar suministrada fue de 1mm de espesor.

3.1.2 Bermas y Trincheras de Anclaje

En todos los reservorios recubiertos con Geomembranas, la lámina es tendida cubriendo los taludes laterales y considerando al final de la Geomembrana un tramo horizontal en la cima del talud y posteriormente terminar verticalmente hacia abajo en una trinchera de anclaje. Esta trinchera es típicamente excavada por una pala manual o mecánica, la lámina es colgada desde el borde y entonces la trinchera es rellena con suelo y compactada apropiadamente.

En cuanto al diseño, la configuración de una zanja de anclaje al final de una berma requiere de ciertas suposiciones importantes acerca del esfuerzo dentro de la trinchera y su mecanismo de resistencia. Para proporcionar resistencia

lateral, la distancia vertical dentro de la trinchera de anclaje tiene fuerzas laterales actuando sobre ella.

Específicamente, una presión activa de tierras tiende a desestabilizar la situación, mientras que una presión pasiva de tierras tiende a resistir el arrancamiento. Esta presión pasiva es muy efectiva en proveer una fuerza de resistencia. El dimensionamiento viene dado por la siguiente fórmula propuesta por Koerner. (Ref. Bibl. N°4)

Diseño de Longitud de Desarrollo y Anclaje

$$T_{adm} = \frac{\sigma_n L_{ro} (\tan \delta_u + \tan \delta_L) - P_A + P_P}{\cos \beta - \text{sen} \beta \tan \delta_L} \quad (3.2)$$

$$P_A = (0.5 \gamma_{AT} d_{AT} + \sigma_n) K_A d_{AT} \quad (3.3)$$

$$P_P = (0.5 \gamma_{AT} d_{AT} + \sigma_n) K_P d_{AT} \quad (3.4)$$

Del cuadro 3.1 tenemos: $\delta_u = 30$ $\delta_L = 32$

Donde:

L_{ro} = Longitud de desarrollo

P_A = Presión activa de tierras

P_P = Presión pasiva de tierras

γ_{at} = Peso específico del suelo de la zanja de anclaje

d_{at} = Profundidad de la zanja de anclaje

σ_n = Esfuerzo normal aportado por el suelo de cobertura

K_a = Coeficiente de presión activa

K_p = Coeficiente de presión pasiva

δ = Angulo de fricción del suelo

$$\gamma_{at} = 17 \text{ KN/m}^3$$

$$\delta = 32.7^\circ$$

$$K_a = 0.298$$

$$K_p = 3.35$$

$$\beta = 45^\circ$$

$$T_{adm} = 15$$

$$L_{ro} = 0.2\text{m (inicialmente)}$$

$$d_{at} = 0.3, \sigma_n = 5.4$$

Reemplazando en fórmula 3.1:

$$1.5 = \frac{5.1 \cdot L_{ro} \cdot (\tan 30 + \tan 32) - 0.5 \cdot 17 \cdot d_{at} \cdot 5.4 \cdot 1 \cdot d_{at} + 0.5 \cdot 18 \cdot d_{at} \cdot 5.4 \cdot 1 \cdot d_{at}}{\cos 45 - \sin 45 \cdot \tan 32}$$

$$3.97 = 6.13 \cdot L_{ro} + 25.97 \cdot d_{at}^2 + 15.55 \cdot d_{at}$$

Asumimos : $L_{ro} = 0.3 \text{ m}$ Resolviendo para: $d_{at} = 0.18 \text{ m}$

Escogemos por cuestiones constructivas $d_{at} = 0.3 \text{ m}$ (conservador)

Luego de realizar los cálculos correspondientes se obtiene una longitud de berma de anclaje 0.3m y una sección de zanja de 0.30m x 0.30m.

3.1.3 Criterio de Supervivencia

Se revisa el Cuadro 3.2, y se observa que para el caso de almacenamiento de cargas medianas se requiere tener en cuenta la condición media, la cual exige como mínimo una Geomembrana de 0.75mm. Pero como sabemos nuestra Geomembrana a instalar es de 1mm, cumpliendo con el criterio de supervivencia.

Cuadro 3.2 – Valores mínimos recomendados para supervivencia de la Geomembrana en el proceso de instalación.

PROPIEDAD FISICA 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 (N)	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.

(Fuente: Ref. Bibl. N°5)

3.2 Diseño del Geotextil de protección

Es necesario utilizar un Geotextil de Protección para efectos de una mejor colocación de la Geomembrana y para proteger a la misma de alguna protuberancia presente en el suelo sobre el cual se va a colocar ésta.

3.2.1 Metodología de Diseño

El análisis básicamente se centra en la resistencia al Punzonamiento del Geotextil. Además, al colocarse el geotextil la resistencia al punzonamiento de la Geomembrana puede mejorar hasta en unos 4 a 10 veces dependiendo del espesor del geotextil colocado. Esta metodología se basa en el diseño del geotextil como material de protección utilizando la metodología planteada por Wilson-Fahmy, Narejo y Koerner, expuesta en 1996, a través de trabajos técnicos en EEUU del GRI (Geosynthetic Research Institute).

Este método usa la ecuación tradicional de factor de seguridad:

$$FS = \frac{P_{adm}}{P_{req}} \quad (3.5)$$

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.

$$P_{adm} = \left(450 * \frac{M}{H^2} \right) * \left(\frac{1}{FM_S * FM_{DR} * FM_A} \right) * \left(\frac{1}{FR_{FL} * FR_{DQB}} \right) \quad (3.6)$$

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:

$$P_{adm} = \left(450 * \frac{M}{H^2} \right) \geq 50KPa \quad (3.7)$$

3.2.2 Factores de seguridad

- Factor de Seguridad Global: Según el cuadro 3.3 que se presenta a continuación, los factores de seguridad global pueden ser:

Cuadro 3.3 – Factores de seguridad global para diseño

Arreglo de las Piedras	Altura efectiva de la protuberancia (mm)	Facto de Seguridad Global (Mínimo)
Piedras Aisladas	6	3.0
	12	4.5
	25	7.0
	38	10.0
Piedras Agrupadas	38 ó menos	3.0

(Fuente: Ref. Bibl. N°5)

- Factor de Modificación por Protuberancia: Según el cuadro 3.4 que se presenta a continuación, los factores de modificación por formas de la protuberancia son:

Cuadro 3.4 – Factor de Modificación por Formas de la Protuberancia

Forma de la Piedra	FMs
Angular	1.00
Semi redondeada	0.50
Redondeada	0.25

(Fuente: Ref. Bibl. N°5)

- Factor de Modificación por Densidad del relleno: Se usa para compensar los efectos de que tan distanciadas se encuentren las protuberancias. Según el cuadro 3.5 que se presenta a continuación, los factores de modificación por densidad del relleno son:

Cuadro 3.5 – Factor de Modificación por Densidad de Relleno

Arreglo de la Protuberancia	FMDR
Aislada	1.00
Compacto, 38mm	0.83
Compacto, 25mm	0.67
Compacto, 12mm	0.50

(Fuente: Ref. Bibl. N°5)

- Factor de Modificación por Efecto de arco en sólidos: Se usa para compensar los efectos del material que se encuentra por encima de la Geomembrana. Según el Cuadro 3.6 que se presenta a continuación, los factores de modificación por efecto de arco en sólidos son:

Cuadro 3.6 – Factor de Modificación por Efecto de Arco en Sólidos

Efecto de Arco en sólidos	FMA
Hidroestático	1.00
Geoestático, superficial	0.75
Geoestático, moderado	0.50
Geoestático, profundo	0.25

(Fuente: Ref. Bibl. N°5)

- Factor de Reducción por Fluencia: Se usa para compensar los efectos del efecto punzonante que generará el material de protección y la Geomembrana. Según el cuadro 3.7 que se presenta a continuación, los factores de reducción por fluencia son:

Cuadro 3.7 – Factor de Reducción por Fluencia

Masa por Unidad de Area (gr/m ²)	FRFL			
	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

(Fuente: Ref. Bibl. N°5)

- Factor de Reducción por Degradación Química y Biológica: Se usa tener en cuenta la posible acción de agentes externos los cuales puedan afectar la integridad del sistema, por ejemplo roedores, hongos, bacterias, entre otros, los cuales pueden generar degradación del material. Según el cuadro 3.8 que se presenta a continuación, los factores de reducción por Degradación Química y Biológica son:

Cuadro 3.8 – Factor de Reducción por degradación química y biológica a largo plazo

Tipo de Lixiviado	FRDQB
Ligero	1.10
Moderado	1.30
Agresivo	1.50

(Fuente: Ref. Bibl. N°5)

3.2.2 Calculo del Geotextil

El Geotextil proporcionado para la obra es un Geotextil No tejido de polipropileno punzonado por agujas de 1.5 mm. de espesor. Luego de conocido el espesor y las características del mismo procederemos a verificar si cumple con los factores de seguridad que se necesita para esta obra. Además sabemos que el material sobre la Geomembrana es agua (9.8 KN/m³) y que la profundidad del agua es de 0.8 m.

Usando las tablas de los factores de modificación y factores de reducción; y asumiendo que la altura efectiva de protuberancia es la real (por ser aislada), se deberán aplicar los siguientes datos:

- Altura Efectiva de Protuberancia:

$$H = 25\text{mm}$$

- Factores de Modificación:

$$FM_S = 0.5$$

$$FM_{DR} = 1.0$$

$$FM_A = 0.75$$

- Factores de Reducción:

$$FR_{FL} = 1.0$$

$$FR_{DQB} = 1.1$$

- Factor de Seguridad Global:

Se debe determinar el peso unitario del geotextil de protección, capaz de proveer un factor de seguridad de 7.0, según el cuadro 3.3 asumiendo una condición de piedras aisladas con una altura de protuberancia efectiva de 25 mm.

Luego:

La Presión admisible sobre la Geomembrana puede ser calculada así:

$$P_{adm} = FS \times P_{req} \quad (3.8)$$

$$P_{adm} = 7.0 \times 9.8 \text{ KN/m}^3 \times 0.8 \text{ m} = 54.88 \text{ KPa}$$

Despejando en la ecuación 3.6, tenemos:

$$M = \frac{P_{adm} H^2 (FM_S \times FM_{DR} \times FM_A)(FM_{FL} \times FM_{DQB})}{450} \quad (3.9)$$

Entonces:

$$M = 54.88 \times 25^2 \times 0.5 \times 1.0 \times 0.75 \times 1 \times 1.1 / 450$$

$$M = 31.44 \text{ g/cm}^2$$

Por lo tanto finalmente comprobamos que nuestro geotextil al tener un gramaje superior (Masa unitaria = 200 g/m² >> 31.44) al requerido, cumple con los valores de protección calculados.

3.3 Diseño del Sistema Hidráulico

3.3.1 Diseño del Sistema de Descarga

Debido a que la función de nuestra poza es la de proporcionar de un caudal de agua adecuado, al sistema de control de erosión que se encuentra centímetros debajo, se analizó el caudal que se entregaría a dicho sistema.

Para ello se han tomado en cuenta la salida de agua por efecto de gravedad mediante la tubería de 2" instalada en la parte baja de la poza.

Como información debemos señalar que el caudal de bombeo de la poza inferior a la nuestra es:

$$Q_{\text{bombeo}} = 0.00305 \text{ m}^3/\text{s} \text{ (Caudal calculado con una bomba de 1.5 HP)}$$

El cálculo de descarga por gravedad de la poza superior es la siguiente:

$$H - P_A - P_{A-B} - P_T - P_V = \quad (3.10)$$

$$1.0 - k_A * \frac{V^2}{2g} - \frac{f}{D} \left(\frac{V^2 * L}{2g} \right) - k_T * \frac{V^2}{2g} - k_V * \frac{V^2}{2g} = \frac{V^2}{2g} \quad (3.11)$$

Reemplazando valores en la ecuación 3.12:

$$H = 1.0\text{m}$$

$$g = 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$L = 6\text{m}$$

$$D = 2'' = 0.0508 \text{ m}$$

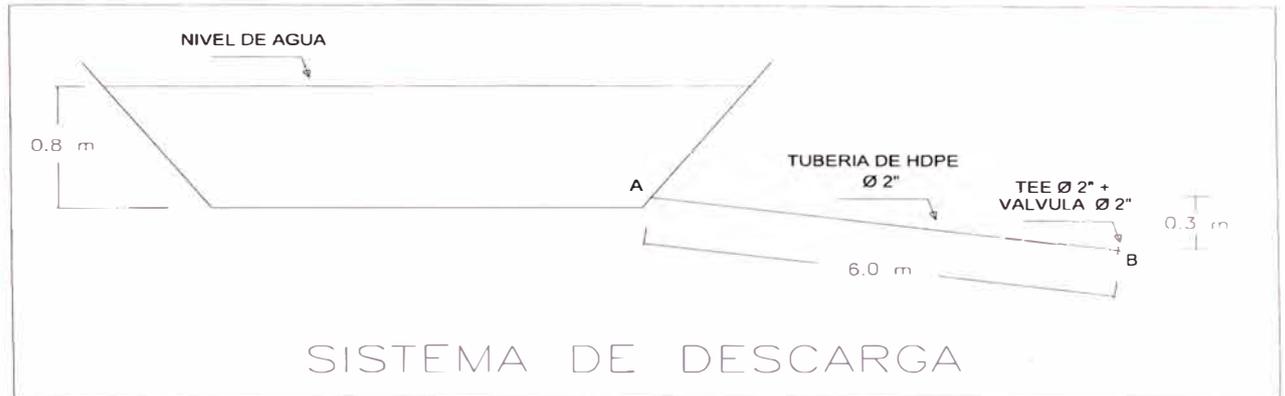


Figura 3.1 Esquema hidráulico de la Poza de agua

Cuadro 3.9 – Valores de “K” para diversos accesorios

Accesorio	Valores de "K"
Ingreso de agua	1
Tee de 2"	0.5
Válvula de 2"	1.25

(Fuente: Elaboración propia)

$$1.0 - k_A * \frac{V^2}{2 * 9.8} - \frac{f}{0.0508} \left(\frac{V^2 * 6}{2 * 9.8} \right) - k_r * \frac{V^2}{2 * 9.8} - k_v * \frac{V^2}{2 * 9.8} = \frac{V^2}{2 * 9.8} \quad (3.12)$$

Resolviendo:

$$1.0 = V^2 (0.1910 + 6.026 * f) \quad (3.13)$$

Para resolver este ejercicio iterativo utilizaremos el Software matemático Mathcad, para evitar procesos de solución demasiado engorrosos.

Mediante este método proponiendo un valor para “f”, calculamos la primera aproximación para “V”; obtendremos el número de Reynolds (R) que utilizaremos en la ecuación de Colebrook – White.

Según esto encontraremos un nuevo valor de “f”, que de no ser igual al asumido se utilizará en una nueva iteración de manera de lograr la coincidencia en la siguiente evaluación.

Se utilizará la función “Solve Block”. Para ello seguimos los siguientes pasos:

- 1.- Se asigna un primer valor a la variable que se quiere encontrar, este resultado se utilizará para el proceso iterativo hasta la convergencia.
- 2.- Se utiliza la palabra "Given" para dar inicio al bloque de solución.
- 3.- Escribimos la expresión que queremos solucionar en el bloque de solución.
- 4.- Finalmente se escribe "Find(nombre de la variable)" que indica que el programa debe resolver la expresión anterior hallando el valor de la variable que cumple con la condición fijada.

En Matchcad:

```
f:=0.02
Given
1.0 = V2 ( 0.1910+ 6.026*f )
V: = Find (V)
V: = 1.7
```

Luego hallaremos Re:

$e = 7 \cdot 10^{-5}$ pies para HDPE

$D = 2'' = 0.0508$ m

$\gamma = 10^{-6}$ cm/s

En Matchcad:

```
Re := V*D/γ
Given

$$\frac{1}{\sqrt{f_i}} = -2 \log \left[ \frac{\frac{\varepsilon}{D}}{3.7} + \frac{2.51}{\text{Re} \sqrt{f_i}} \right]$$

f: = Find (f)
f: = 0.021
```

Con estos nuevos valores en Matchcad:

```
f:=0.021
Given
```

$$1.0 = V^2 (0.1910 + 6.026 \cdot f)$$

$$V: = \text{Find}(V)$$

$$V: = 1.69$$

$$\text{Re} := V \cdot D / \nu$$

Given

$$\frac{1}{\sqrt{f_i}} = -2 \log \left[\frac{\frac{\varepsilon}{D}}{3.7} + \frac{2.51}{\text{Re} \sqrt{f_i}} \right]$$

$$f: = \text{Find}(f)$$

$$f: = 0.021$$

Entonces el valor de “f” ha sido calculado exactamente.

Por lo tanto:

$$V = 1.69 \text{ m/s}$$

$$\text{Entonces el caudal} = Q = V \cdot A = 1.69 \cdot 3.1416 \cdot (0.0508)^2 / 4 \quad (3.14)$$

$$Q = 0.00342 \text{ m}^3/\text{s} = 3.42 \text{ lt/s}$$

En el caso de una emergencia, comprobamos que la descarga en el peor de los casos (cuando la poza este llena), es mayor que el caudal del bombeo. Por lo tanto un posible desborde es poco probable, en condiciones de operación y control adecuados.

3.3.2 Diseño del Sistema de Emergencias

Para efectos de seguridad y control, en el caso de que la válvula no este operando o se presenta una lluvia de intensidad considerable, se ha decidido colocar un rebose en un extremo de la poza, de manera de perder eliminar la excedencia mediante este sistema, de presentarse la emergencia.

Las dimensiones escogidas son:

$$\text{Longitud} = 0.8 \text{ m}$$

$$\text{Altura} = 0.2 \text{ m}$$

Este sistema servirá de rebose en el caso la poza este llena y se produzca el bombeo del caudal. Las dimensiones de la poza son predimensionadas con la finalidad de ser lo suficientemente adecuadas para generar un flujo laminar en la salida del rebose.

Evaluaremos la altura del flujo en la descarga por el rebose. Para ello consideraremos la salida de agua como un vertedero. En este caso se considerará un vertedero de pared ancha debido a que $e/h > 0.67$.

Luego de estas consideraciones, la fórmula a utilizar para hallar esta altura de salida es:

$$Q = KBH^{3/2} \quad \dots (3.15)$$

Para utilizar esta fórmula se ha despreciado la velocidad de aproximación, guiándonos del análisis de la figura 3.2.

Donde:

Q = Caudal de transporte (m³/s)

B = Ancho del vertedero (m)

H = Altura sobre la cresta (m)

K = Coeficiente de pérdida de carga.

Según Romanovich se asume puede asumir igual a 1,704 como valor máximo (más desfavorable).

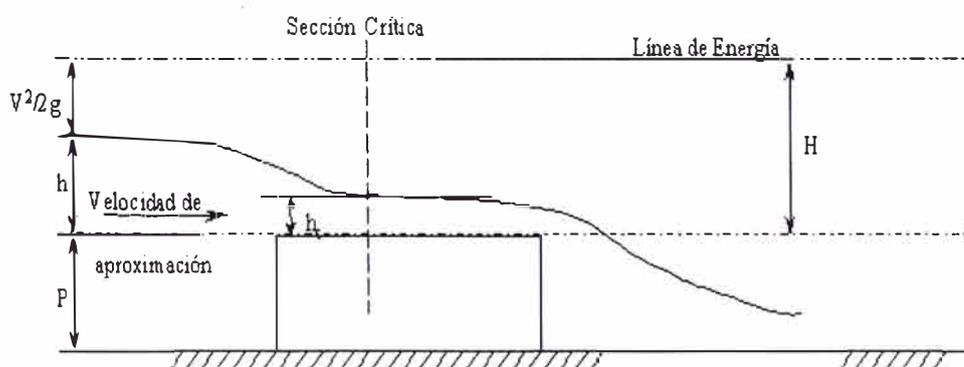


Figura 3.2 Sección típica en un vertedero de cresta ancha

Por lo tanto:

$$0.00344 = 1.704 * 0.8 * H^{3/2}$$

Entonces:

$$H = 0.018 \text{ m}$$

Notamos que la altura de salida es aproximadamente 1.8 cm, lo cual generará una descarga prácticamente laminar, que no presentará problemas considerables respecto a una posible erosión en su salida. Igualmente se tomaron medidas de control de erosión en la salida, colocando piedras medianas para que la descarga no se haga directamente sobre el material fino del talud, de manera de evitar la erosión laminar.

CAPITULO IV

MANUAL DE DISEÑO

Presentamos un procedimiento a seguir, a manera de manual, para determinar los análisis y diseños básicos, para una poza de almacenamiento de agua impermeabilizada con Geomembranas.

ANÁLISIS DE LOS ESTUDIOS DE INGENIERÍA

La estructura del manual es la siguiente:

I) ESTUDIOS BASICOS

1.1 Información General

Se describen los detalles generales del proyecto como: Ubicación, condiciones de operación y alcances de la obra.

1.2 Análisis de Estudios Topográficos

Se determina la zona de trabajo y se da información concerniente básicamente en Cartografía, Estudios y planos digitalizados existentes.

También se ubican condiciones de lo abrupto o no del terreno, además de los taludes que se encuentran en su emplazamiento de manera de obtener una idea del movimiento de tierras a realizar así como de la estabilidad de la futura obra. Se deben generar planos de ubicación, secciones y curvas de nivel a escalas adecuadas.

1.3 Análisis de Estudios Geotécnicos

1.3.1 Alcances

Se señalan los alcances del estudio en cuanto al nivel de profundidad de los mismos, así como justificar su importancia para su realización.

1.3.2 Investigaciones Efectuadas

Determinan como principales estudios básicos los siguientes:

➤ Registro de excavaciones

Señala la cantidad de calicatas o exploraciones a cielo abierto registrada para conocer la composición del suelo en el que se ubicara la obra. Deberían ser un mínimo de tres (3).

Se indican características de los estratos encontrados, tales como: humedad, compacidad, consistencia, tamaño máximo de las partículas, etc.

➤ Ensayos de laboratorio

Señala todos los ensayos que se necesitan previamente, de manera de evaluar sus características del suelo, así como para evaluar la estabilidad de la obra.

Como sugerencia, para un proyecto más complejo, es conveniente incluirse un ensayo químico, de manera de asegurar su permanencia durante la vida útil de operación.

Por ello los ensayos mínimos a realizarse son:

- 01 Análisis Granulométrico por tamizados ASTM D-422
- 01 Limite Líquido ASTM D-4318
- 01 Limite Plástico ASTM D-4318
- 01 Índice Plástico ASTM D-4318
- 01 Determinación de la densidad natural por el método del cono y la arena ASTM D-1556 – Cono de 12" Diámetro
- 01 Corte directo ASTM D-3080
- 01 Ensayo Químico para determinar la agresividad del suelo sobre el cual se asienta el proyecto

➤ Clasificación de suelos

La clasificación se realiza de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS). Se debe realizar un ensayo de análisis granulométrico previamente.

1.3.3 Sismicidad del Área de Estudio

Se señalan las condiciones sismológicas del área del proyecto. Los factores de seguridad con los cuales se trabajarán la verificación de estabilidad de la poza. Los supuestos considerados en este análisis.

Además la exigencia de este análisis según la envergadura del mismo, y las condiciones especiales que presente el proyecto. Entendiéndose, por ejemplo, como la presencia de alguna fractura que pueda activarse, o alguna condición de úselo especial, suelos licuables por ejemplo, etc.

1.3.4 Descripción del Perfil Estratigráfico

Sobre la base de los trabajos de campos que involucra las excavaciones en base a las calicatas, ensayos de laboratorio y registro de excavaciones; se elaborará el perfil estratigráfico del suelo, realizando las descripciones del material encontrado.

1.3.5 Análisis de la Obra de Almacenamiento

Se indican las condiciones finales del proyecto, así como las sugerencias para su ejecución.

1.4 Análisis de Estudios Hidrológicos

Es importante realizar un estudio hidrológico ya que estén ciertas condiciones que pueden determinar un especial importancia. Estas condiciones pueden ser:

- Si el proyecto se realiza en alguna zona donde se manifieste una precipitación promedio alta,

- Existencia de alguna quebrada que pueda activarse con alguna precipitación no común, como un Fenómeno del Niño.
- Presencia de algún flujo subterráneo cerca de la ubicación del proyecto

II) ESTUDIOS ESPECIFICOS

2.1 Análisis de la Estabilidad de taludes

2.1.1 Consideraciones Preliminares

Se define con que metodología se realizará la estabilidad de taludes. Detalles como software de aplicación. Así como, el método a utilizar en su aplicación electrónica.

2.1.2 Análisis de talud aguas abajo

Se recomienda realizar este análisis para determinar las condiciones de estabilidad interna del talud o taludes más críticos de la poza.

Para este análisis pueden utilizarse los factores de seguridad propuestos por Ruesta, Diaz y Alva , 1988. (Ref. Bib. N°7) para presas de tierra, mediante la siguiente descripción:

- Final de Construcción + Sismo F.S. > 1.0
- Infiltración Constante + Sismo F.S. > 1.25
- Desembalse Rápido + Sismo F.S. > 1.0

En este análisis se utilizan los parámetros encontrados en los ensayos realizados.

2.1.3 Análisis Global

Se basa en analizar la estabilidad externa del proyecto, es decir, el caso de presentarse la falla en una zona que involucre toda la poza. Para esto se analizan factores de carga externos, tales como: vías, carreteras, construcciones cercanas, etc.

2.2.2 Análisis de Campo

Este análisis se refiere a la evaluación considerada in-situ. Es decir, observando el emplazamiento de la obra, así como sus condiciones para su funcionamiento adecuado. Presenta las sugerencias a tomar en cuenta, según lo encontrado en las visitas de campo.

III) CRITERIOS DE DISEÑO

3.1 Diseño de Geomembrana

Implica todos los aspectos correspondientes al espesor, berma y zanja de anclaje, así como los criterios de supervivencia que se presentan en los manuales de diseño.

3.1.2 Tipo y espesor de la Geomembrana

El espesor se halla mediante las fórmulas determinadas por Koerner, para lo cual deben conocerse ciertos parámetros del suelo y de la interacción del mismo con la Geomembrana.

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

t =	Espesor de la geomembrana
σ_n =	Esfuerzo aplicado por el material de relleno
x =	Distancia de la deformación movilizada de la geomembrana
δ_u =	Angulo de resistencia al corte entre geomembrana y el material sobre ella
δ_L =	Angulo de resistencia al corte entre geomembrana y el material debajo de ella
σ_{adm} =	Esfuerzo admisible de la geomembrana
β =	Angulo de asentamiento que moviliza la tensión de la geomembrana

3.1.2 Bermas y Trincheras de Anclaje.

Se debe determinar la profundidad de la trinchera de anclaje, así como su profundidad de excavación. Se utilizan las fórmulas deducidas por Robert Koerner. Para este análisis, debemos de contar con parámetros obtenidos de los ensayos realizados.

Diseño de Longitud de Desarrollo y Anclaje

$$T_{adm} = \frac{\sigma_n L_{ro} (\tan \delta_u + \tan \delta_L) - P_A + P_P}{\cos \beta - \text{sen} \beta \tan \delta_L}$$

$$P_A = (0.5 \gamma_{AT} d_{AT} + \sigma_n) K_A d_{AT}$$

$$P_P = (0.5 \gamma_{AT} d_{AT} + \sigma_n) K_P d_{AT}$$

Donde:

L_{ro} = Longitud de desarrollo

P_A = Presión activa de tierras

P_P = Presión pasiva de tierras

γ_{at} = Peso específico del suelo de la zanja de anclaje

d_{at} = Profundidad de la zanja de anclaje

σ_n = Esfuerzo normal aportado por el suelo de cobertura

K_a = Coeficiente de presión activa

K_p = Coeficiente de presión pasiva

δ = Angulo de fricción del suelo

3.1.3 Criterio de Supervivencia.

Considera los espesores mínimos a utilizarse en esta clase de obras, debido a las condiciones de operación y solicitud, para asegurar su eficiente servicio.

Cuadro 4.1 – Valores mínimos recomendados para supervivencia de la Geomembrana en el proceso de instalación

PROPIEDAD FISICA 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 (N)	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.

(Fuente: Ref. Bibl. N°5)

3.2 Diseño del Geotextil de Protección

Si en el terreno sobre el cual se va a colocar la Geomembrana se encontrase piedras que podrían dañar la misma, es necesario instalar un Geotextil de protección. Para disminuir los riesgos de daño durante su instalación y funcionamiento.

3.2.1 Metodología de Diseño

Para este análisis utilizamos la metodología planteada por Wilson-Fahmy, Narejo y Koerner, expuesta en 1996, a través de técnicos en EEUU del GRI (Geosynthetic Research Institute).

Mediante el uso de factores de seguridad que determinen las condiciones más cercanas a la realidad, a la cual será sometida la obra.

Este método usa la ecuación tradicional de factor de seguridad:

$$FS = \frac{P_{adm}}{P_{req}}$$

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.

Además:

Calculo de P_{adm} :

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

Donde:

P_{adm} = 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:

$$P_{adm} = \left(450 * \frac{M}{H^2} \right) \geq 50 KPa$$

3.2.2 Factores de seguridad

Se utilizan los siguientes factores para el diseño:

- Factor de Seguridad Global: para asegurar su estabilidad en su vida útil.
- Factor de Modificación por Protuberancia: Por efectos de protuberancias en el suelo de apoyo.
- Factor de Modificación por Densidad del relleno: Se usa para compensar los efectos de que tan distanciadas se encuentren las protuberancias
- Factor de Modificación por Efecto de arco en sólidos: Se usa para compensar los efectos del material que se encuentra por encima de la geomembrana.
- Factor de Reducción por Fluencia: Se usa para compensar los efectos del efecto punzonante que generará el material de protección y la Geomembrana.
- Factor de Reducción por Degradación Química y Biológica: Se usa tener en cuenta la posible acción de agentes externos los cuales puedan afectar la integridad del sistema, por ejemplo roedores, hongos, bacterias, entre otros, los cuales pueden generar degradación del material.

3.2.3 Calculo del Geotextil

El Geotextil es calculado utilizando las fórmulas precedentes, tomando en consideración los factores de seguridad con el criterio adecuado.

Estos factores se presentan en tablas, en el estudio del Dr. Robert Koerner, (Como se presentaron en nuestro diseño de la poza).

3.3 Diseño del Sistema Hidráulico

Este diseño varía, de acuerdo al tipo de proyecto que se realice. Para este propósito, es necesario utilizar los procedimientos de cálculo hidráulico adecuado, considerando las solicitudes a la que estará expuesto el proyecto durante su funcionamiento y la capacidad de servicio del mismo.

CONCLUSIONES

- 1.- Las Geomembranas representan soluciones de vanguardia en el día de hoy; debido a sus procesos simples de diseño, aplicación y operación, como se observó, durante la aplicación del proyecto.
- 2.- El Estudio topográfico inicial es indispensable para el arranque del proyecto. Fundamental para definir, la mejor ubicación de la obra, con los criterios de operación y seguridad.
- 3.- El Estudio Geotécnico permite, a partir de los parámetros y características del suelo encontrados, prever sus condiciones de interacción durante su operación.
- 4.- Un aspecto muy importante, es conocer la Hidrología del lugar, ya que niveles altos de precipitación o la presencia de flujo subterráneo, deben ser incluidos en el análisis de los riesgos de estabilidad del proyecto.
- 5.- El análisis de estabilidad de taludes, es clave para este tipo de proyectos, debido a la envergadura de los mismos. En el caso de real aplicación, deben tomarse en cuenta factores no sólo sísmicos o de cargas externas, sino incluso niveles de infiltración de agua, aguas subterráneas, o presencia de presiones internas. Estos análisis son de suma importancia, por cuanto constituyen condiciones de estabilidad primordiales para este tipo de estructura.
- 6.- La utilización de la metodología propiciada y estudiada por el Dr. Robert Koerner, nos permite determinar las características de la Geomembrana a utilizar, así como, de sus condiciones de instalación.
- 7.- Hemos aplicado para todo el proceso de diseño, el sugerido por Robert Koerner, en su estudio, así podemos indicar, que el método es bastante amigable y didáctico. Y notamos que es bastante conservador respecto a los valores finales. Pero definitivamente, es más seguro y que el diseño por experiencia.

RECOMENDACIONES

- 1.- Es necesario el uso de la mayor cantidad de excavaciones “in situ” (calicatas), en el lugar del proyecto, de manera de determinar la composición del suelo en el cual estará ubicado el mismo. Además de ensayos de laboratorio respectivos.
- 2.- Es recomendable la utilización de un geotextil de protección, el cual además de realizar esta función, sirve para lograr una mejor superficie de apoyo para la instalación de la Geomembrana.
- 3.- Se recomienda realizar, al menos, un ensayo químico para determinar que tan agresivo puede ser un suelo, o un relleno, según sea el caso. Mediante este ensayo se evaluarán los riesgos a los cuales estará sometida la Geomembrana y sus componentes de protección.
- 4.- Son muy importantes los análisis in situ, de manera de corroborar los datos encontrados en los ensayos realizados. Esta inspección visual, debe realizarse por personal con experiencia en este tipo de proyectos.
- 5.- La presencia de fracturas o macizos rocosos cercanos a la estructura determinarían un análisis de los mismos de manera de descartar algún tipo de falla posible por efectos de los mismos.
- 6.- Se recomienda, en los casos en que el material cumpla con ciertas condiciones mínimas de composición de finos y de limpieza, utilizar el propio material proveniente de las zanjas de anclaje, en el relleno de las mismas, ya que, esto incluso abarata los costos en la ejecución de la misma.
- 7.- En el caso de que el proyecto este asentado sobre un material sin presencia de rocas punzonantes, se podría prescindir el uso del geotextil de protección.

BIBLIOGRAFÍA

1. DAS, BRAJA M., "Fundamentos de Ingeniería Geotécnica", Impresos y Acabados Marbeth, México, 1999.
2. GARCIA S., JORGE Y MORALES B., ARMANDO, "Determinación del Diámetro en Sistemas de Tuberías utilizando el MATHCAD", Ingeniería Revista Académica, Enero – Abril, año/vol. 7, núm. 001, Universidad Autónoma de Yucatán, Mérida, México, 2003
3. GONZALES PANIURA, MIGUEL, Asesoramiento Personal, AMANCO PERU, Perú, 2007.
4. KOERNER, ROBERT M., "Diseño con Geosintéticos" Cuarta Edición. Traducción autorizada por Prentice Hall para el Cuarto Curso de Especialización: Geosintéticos: Diseño con Geomembranas del 05 al 06 de Diciembre del 2003 organizado por IGS Perú, Perú, 2003.
5. PAVCO-AMANCO, Manual de Diseño, Séptima edición, Editorial Norte Gráfico, Colombia, 2006.
6. POTTER MERIE C. Y WIGGERT DAVID C., "Mecánica de Fluidos" Tercera Edición, México, México, 2003.
7. RUESTA P., DIAZ J. y ALVA HURTADO J., "El Coeficiente Sísmico en el Diseño de Presas de Tierra y Enrocado", VII Congreso Nacional de Ingeniería Civil, Huaraz, Perú, 1988.
8. UNI-FIC, Material del curso de Actualización de Conocimientos "Aplicación de Geosintéticos en Obras de Ingeniería Civil", Perú, 2007.

ANEXOS

ANEXO I - REGISTROS DE CAMPO

ANEXO II - ENSAYOS DE SUELOS

- **Ensayo de Corte Directo**
- **Determinación de la Densidad Natural**
- **Análisis Granulométrico por Tamizados**

ANEXO III - MATERIAL FOTOGRAFICO

**ANEXO IV - ESPECIFICACIONES TECNICAS DE LOS
GEOSINTETICOS**

ANEXO V - PLANOS

ANEXO I
Registros de Campo

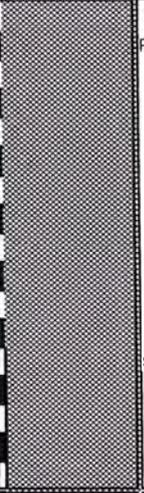
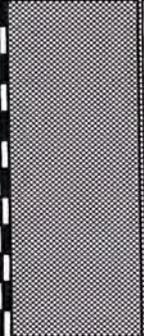
CURSO DE ACTUALIZACION FIC -2006
CRITERIOS DE ANALISIS Y DISEÑO

POZA CON GEOMEMBRANAS

REGISTRO DE CALICATA

Solicitante	Marden Valles Julca	Revisado	---
Proyecto	Poza con geomembranas	Técnico	mvj
Ubicación Calicata	Cerro de la UNI	Fecha	feb-07

Calicata	C - 1	Prof. Máx. (m)	1.50	N. F. (m)	---
----------	-------	----------------	------	-----------	-----

Prof. (m)	Muestra	Descripción del Estrato	Clasificación (SUCS)	Símbolo
0.09		Relleno	RE/GM	
0.50		Relleno, mezcla heterogénea de gravas, arenas y limos de color marrón claro, Tmax 11/2" sin humedad, regular compacto, material poco suelto, contiene rocas aisladas en su composición.		
1.00		Relleno, mezcla heterogénea de gravas, arenas y limos de color marrón claro, Tmax 3" sin humedad, regular compacto, material poco compacto, contiene rocas aisladas en su composición. Bolones de tamaño 3">25%	GM	
1.50				

CURSO DE ACTUALIZACION FIC -2006
CRITERIOS DE ANALISIS Y DISEÑO

POZA CON GEOMEMBRANAS

REGISTRO DE CALICATA

Solicitante	Marden Valles Julca	Revisado	----
Proyecto	Poza con geomembranas	Técnico	mvj
Ubicación Calicata	Cerro de la UNI	Fecha	feb-07

Calicata	C - 2	Prof. Máx. (m)	1.50	N. F. (m)	----
----------	-------	----------------	------	-----------	------

Prof. (m)	Muestra	Descripción del Estrato	Clasificación (SUCS)	Símbolo
0.09		Relleno		
0.27		Relleno, mezcla heterogénea de gravas, arenas y limos de color marrón claro, sin humedad, poco compacto, material deleznable, contiene rocas aisladas en su composición, presencia de algunos residuos Tmax 1 1/2"		
1.50			RE/GM	

CURSO DE ACTUALIZACION FIC -2006
CRITERIOS DE ANALISIS Y DISEÑO

POZA CON GEOMEMBRANAS

REGISTRO DE CALICATA

Solicitante	Marden Valles Julca	Revisado	----
Proyecto	Poza con geomembranas	Técnico	mvj
Ubicación Calicata	Cerro de la UNI	Fecha	feb-07

Calicata	C - 3	Prof. Máx. (m)	1.50	N. F. (m)	----
----------	-------	----------------	------	-----------	------

Prof. (m)	Muestra	Descripción del Estrato	Clasificación (SUCS)	Símbolo
0.09		Relleno		
0.27		Material de Relleno, mezcla heterogénea de gravas, arenas y limos de color marrón claro, sin humedad, regular compacto, material poco suelto, contiene rocas aisladas en su composición. Tmax 1 1/2"	RE/GM	
1.50				

ANEXO II

Resultados de Ensayos de Laboratorio

- **Ensayo de Corte Directo**
- **Determinación de la Densidad Natural**
- **Análisis Granulométrico por Tamizados**



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

Laboratorio N° 2 - Mecánica de Suelos

Lima 100 - Perú Teléfono: (51-14) 811070 Anexo 308 - Telefax: 3813842

INFORME N° S07 - 129

SOLICITADO : GRUPO N° 10 - CURSO DE ACTUALIZACION PROFESIONAL - F.I.C

PROYECTO : POZA DE GEOMEMBRANA HDPE

UBICACIÓN : CERRO DE LA UNI - FACULTAD DE MINAS

FECHA : 14, marzo del 2007

RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO

II. ENSAYO DE CORTE DIRECTO ASTM 3080

Estado : Remoldeado (material < Tamiz N° 4)
 Muestra : Unica
 Calicata : ***
 Prof. (m) : ***

Especimen N°	I	II	III
Lado de la caja (cm)	6.00	6.00	6.00
Altura Inicial de muestra (cm)	2.00	2.00	2.00
Densidad húmeda inicial (gr/cm3)	1.557	1.557	1.557
Densidad seca inicial (gr/cm3)	1.475	1.475	1.475
Cont. de humedad inicial (%)	5.6	5.6	5.6
Altura de la muestra antes de aplicar el esfuerzo de corte (cm)	1.953	1.862	1.808
Altura final de muestra (cm)	1.954	1.832	1.736
Densidad húmeda final (gr/cm3)	1.746	1.844	1.925
Densidad seca final (gr/cm3)	1.510	1.610	1.699
Cont. de humedad final (%)	15.6	14.5	13.3
Esfuerzo normal (kg/cm²)	0.50	1.00	1.50
Esfuerzo de corte maximo (kg/cm²)	0.412	0.740	1.074

Angulo de friccion interna : **32.7 °**
 Cohesion (kg/cm²) : **0.07**

Muestras remitidas e identificadas por el solicitante

Realizado por: Tec. Fred Dávila V.

Revisado por: Ing. N. Noreña V.

NILTHSON NOREÑA VALVERDE.

ING. RESPONSABLE DE AREA

Lab. de Mecánica de Suelos UNI

VºBº **JOSE WILFREDO GUTIERREZ LAZARES**

ING. JEFE DEL LABORATORIO

Lab. de Mecánica de Suelos UNI





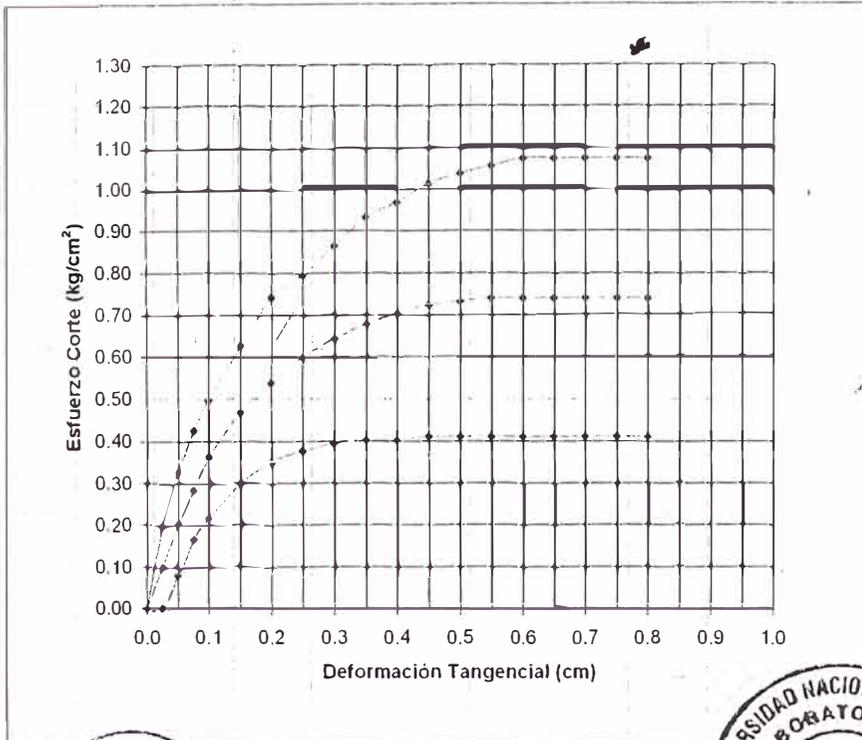
ENSAYO DE CORTE DIRECTO ASTM D3080

Estado : Remoldeado (material < Tamiz N° 4)
 Muestra : Unica
 Calicata : ***
 Prof. (m) : ***

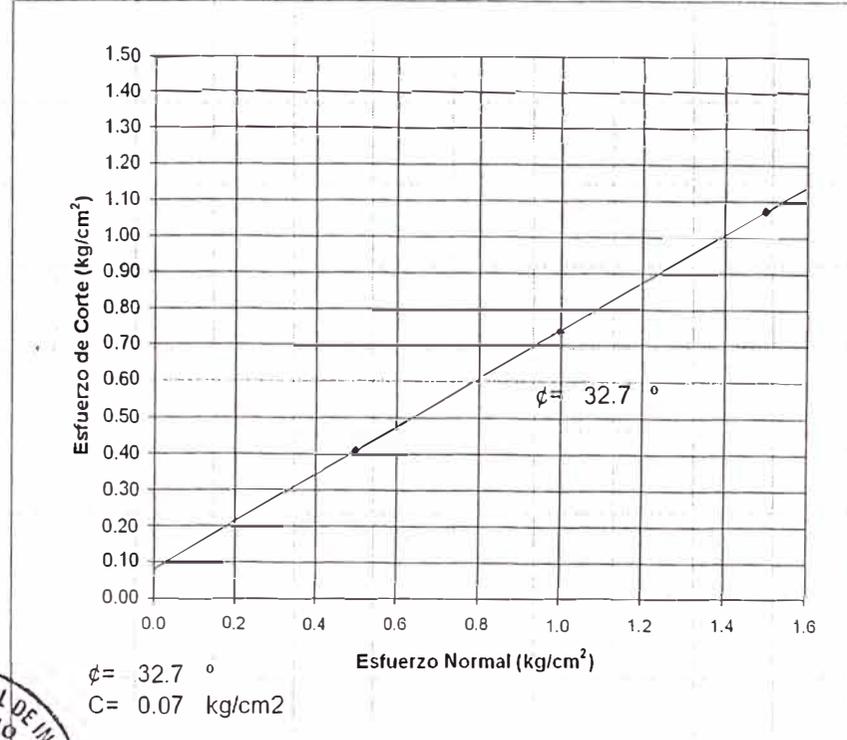
INFORME N° S07 - 129

SOLICITADO : GRUPO N° 10 - CURSO DE ACTUALIZACION PROFESIONAL - F.I.C
 PROYECTO : POZA DE GEOMEMBRANA HDPE
 UBICACIÓN : CERRO DE LA UNI - FACULTAD DE MINAS
 FECHA : 14, marzo del 2007

DEFORMACION TANGENCIAL vs. ESFUERZO DE CORTE



ESFUERZO NORMAL vs. ESFUERZO DE CORTE





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

Laboratorio N° 2 - Mecánica de Suelos

Lima 100 - Perú Teléfono: (51-14) 811070 Anexo 308 - Telefax: 3813842

INFORME N° S07-129

SOLICITADO : GRUPO N°10 - CURSO DE ACTUALIZACIÓN PROFESIONAL - F.I.C.
PROYECTO : POZA DE GEOMEMBRANA HDPE
UBICACION : CERRO DE LA UNI - FACULTAD DE MINAS
FECHA : 08 DE MARZO DE 2007

REPORTE DE PRUEBAS DE CAMPO Y LABORATORIO

DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD NATURAL POR EL MÉTODO DEL CONO Y LA ARENA ASTM D1556 - CONO DE 12" DIÁMETRO

Densidad Húmeda (gr/cm^3) : 1.747
Densidad Seca (gr/cm^3) : 1.732
Humedad Natural (%) : 0.9

Ejecución : Téc. E.Navarro

Revisión : Ing. L.Shuan L.


LUISA E. SHUAN LUCAS
ING. RESPONSABLE DE AREA
Lab. de Mecánica de Suelos UNI





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

Laboratorio N° 2 - Mecánica de Suelos

Lima 100 - Perú Teléfono: (51-14) 811070 Anexo 308 - Telefax: 3813842

INFORME N° S07- 129

SOLICITANTE : GRUPO N°10 - CURSO DE ACTUALIZACION PROFESIONAL - F.I.C.
PROYECTO : POZA DE GEOMEMBRANA HDPE
UBICACIÓN : CERRO DE LA UNI - FACULTAD DE MINAS
FECHA : 08 DE MARZO DE 2007

REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

MUESTRA : REPRESENTATIVA DE DENSIDAD IN SITU

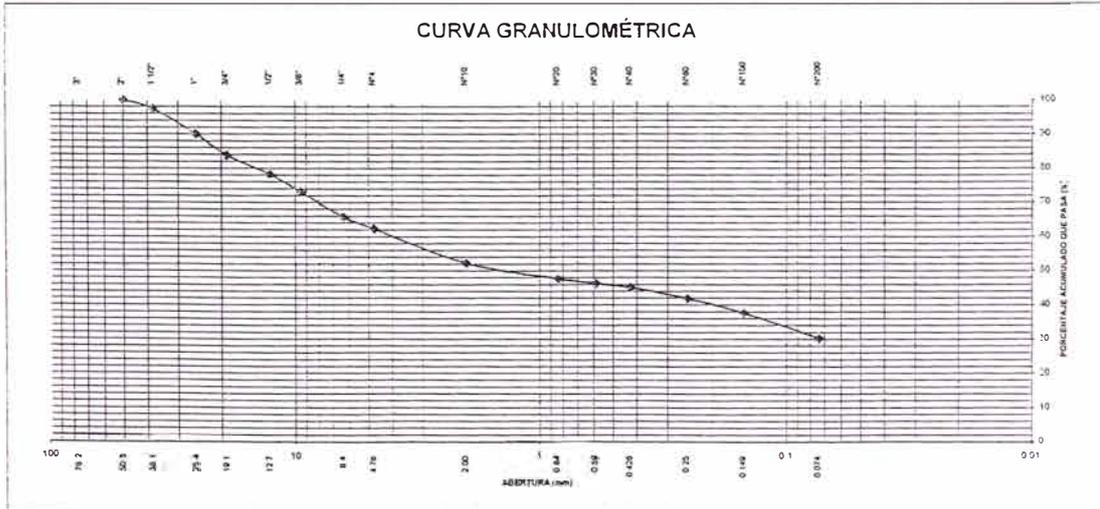
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO - ASTM D422

Tamiz	Abertura (mm)	(%) Parcial	(%) Acumulado	
			Retenido	Pasa
3"	76.200	-	-	
2"	50.300	-	-	100.0
1 1/2"	38.100	2.7	2.7	97.3
1"	25.400	7.4	10.0	90.0
3/4"	19.050	6.3	16.3	83.7
1/2"	12.700	5.6	21.9	78.1
3/8"	9.525	5.0	26.9	73.1
1/4"	6.350	7.3	34.3	65.7
N°4	4.760	3.5	37.8	62.2
N°10	2.000	10.0	47.8	52.2
N°20	0.840	4.6	52.4	47.6
N°30	0.590	1.4	53.8	46.3
N°40	0.426	1.2	54.9	45.1
N°50	0.250	3.3	58.2	41.8
N°100	0.149	4.3	62.4	37.6
N°200	0.074	7.4	69.9	30.1
- N°200		30.1		

LIMITES DE CONSISTENCIA ASTM D4318

LIMITE LIQUIDO (%)	: 19.3
LIMITE PLASTICO (%)	: N.P.
INDICE PLÁSTICO (%)	: N.P.

CLASIFICACION SUCS : GM



Nota. Muestra remitida e identificada por el Solicitante

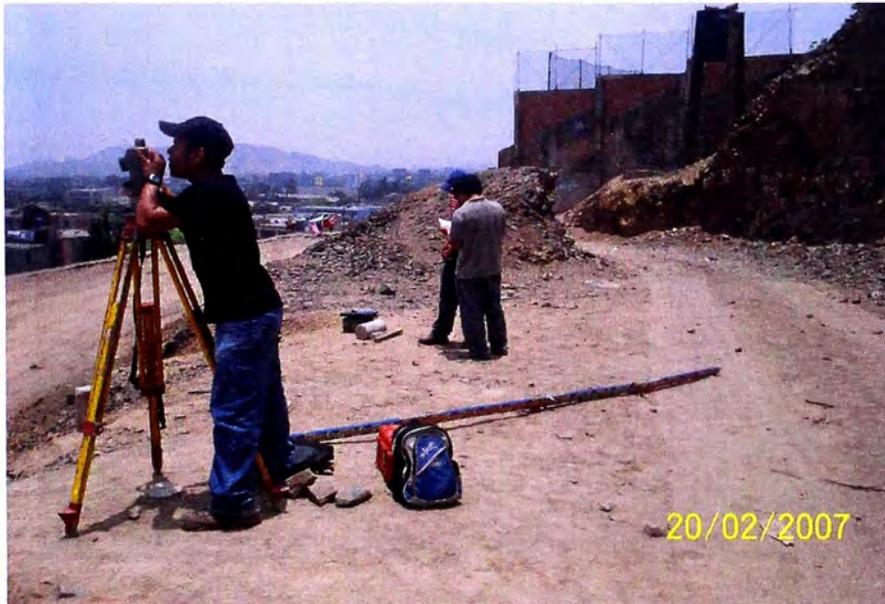
Ejecución : Téc. E. Navarro

Revisión : Ina. L. Shuan L.

L. Shuan L.
LUISA E. SHUAN LUCAS
ING. RESPONSABLE DE AREA
Lab. de Mecánica de Suelos UNI



ANEXO III
Material Fotográfico



**Foto N° 1 Evaluación Topográfica.
Levantamiento Topográfico en la zona del proyecto**



**Foto N° 2 Evaluación Geotécnica
Ensayo de densidad de Natural
Cono de Arena**



**Foto N° 3 Exploración a Cielo Abierto.
Calicata N° 1**



**Foto N° 4 Exploración a Cielo Abierto.
Calicata N° 2**



**Foto N° 5 Exploración a Cielo Abierto.
Calicata N° 3**



**Foto N° 6 Compactación de la zona de trabajo.
Mejoramiento de estabilidad**



**Foto N° 7 Presencia de rocas al costado de la excavación.
Mejores condiciones de estabilidad.**



Foto N° 8 Colocación de Geomembrana



**Foto N° 9 Proceso de extrusión.
Sellado de Juntas**

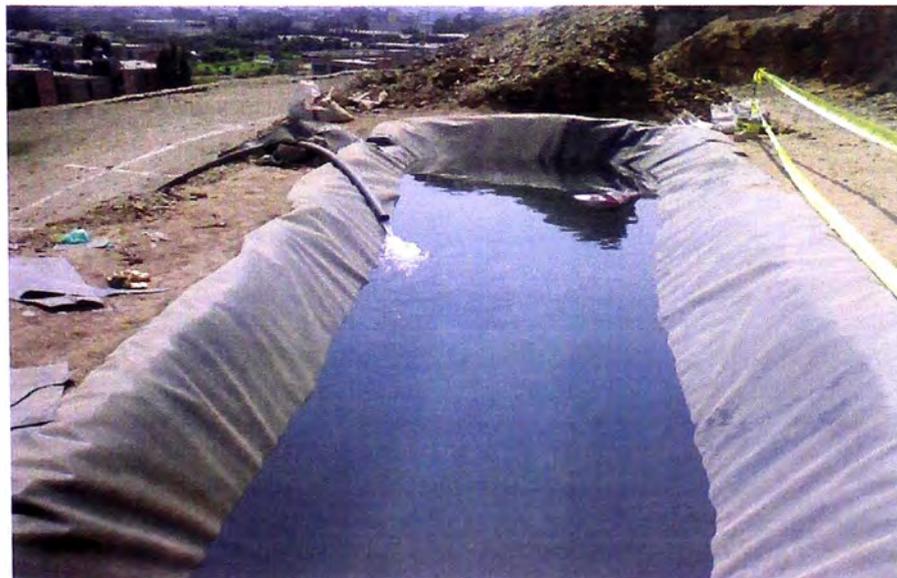


Foto N° 10 Poza Terminada

ANEXO IV
Especificaciones técnicas de los Geosintéticos



Productos Estándar de GSE

Hoja de Información del Producto

GSE HDPE

GSE HDPE es una geomembrana de polietileno lisa de alta densidad (HDPE) y elevada calidad, fabricada exclusivamente con resina de polietileno virgen y específicamente diseñada para la producción de geomembranas flexibles. Está compuesta aproximadamente por un 97.5% de polietileno, 2.5% de negro de humo además de antioxidantes y termo-estabilizadores. No se emplean otros aditivos, ni rellenos ni plastificantes. La geomembrana GSE HDPE tiene excelentes propiedades mecánicas, resistencia química, resistencia al agrietamiento ambiental, estabilidad dimensional, resistencia al envejecimiento por temperatura y resistencia a la radiación UV por lo que es adecuada para aplicaciones expuestas a la intemperie. Estas especificaciones exceden GRI GM 13.

Especificaciones del Producto, HDPE Liso.

PROPIEDADES ENSAYADAS	METODO DE ENSAYO	FRECUENCIA	VALOR MÍNIMO/RANGO ADMISIBLE					
			HDS 075G00T	HDS 100G00T	HDS 150G00T	HDS 200G00T	HDS 250G00T	
Código del Producto								
Espesor Promedio Mínimo, mm Espesor Mínimo (menor de 10 lecturas), mm	ASTM D 5199	Cada Rollo	0.75 0.63	1.00 0.90	1.50 1.35	2.00 1.80	2.50 2.25	
Densidad, g/cm ³	ASTM D 1505	90.000 kg	≥0.94	≥0.94	≥0.94	≥0.94	≥0.94	
Resistencia a la Tracción (cada dirección) Resistencia a la Rotura, N/mm (lb/in) Resistencia a la fluencia, N/mm (lb/in) Elongación a la Rotura, % Elongación a la fluencia, %	ASTM D 5693, Tipo IV Dumbell, 2 ipm G.L. 2.0 in (51 mm) G.L. 1.3 in (33 mm)	9.000 kg	20 (114) 11 (63) 700 12	27 (152) 15 (84) 700 12	40 (228) 22 (125) 700 12	53 (304) 29 (168) 700 12	67 (380) 37 (210) 700 12	
Resistencia al Desgarro, N (lb)	ASTM D 1004	18.000 kg	93 (21)	125 (28)	187 (42)	249 (56)	311 (70)	
Resistencia al Punzamiento, N (lb)	ASTM D 4833	18.000 kg	240 (54)	320 (72)	480 (108)	640 (144)	800 (180)	
Contenido de Negro de Humo (Rango), %	ASTM D 1603	9.000 kg	2.0-3.0	2.0-3.0	2.0-3.0	2.0-3.0	2.0-3.0	
Dispersión de Negro de Humo	ASTM D 5596	18.000 kg	+Nota 1	+Nota 1	+Nota 1	+Nota 1	+Nota 1	
Resistencia al agrietamiento (NCTL), horas	ASTM D 5397, Apend.	90.000 kg	300	300	300	300	300	
Tiempo de Inducción a la Oxidación, minutos	ASTM D 3895, 200°C	90.000 kg	≥100	≥100	≥100	≥100	≥100	
Envejecimiento al Horno 85°C, 90 días OIT retenido %	ASTM D 5721 ASTM D 3895	Fórmula	≥55	≥55	≥55	≥55	≥55	
Envejecimiento Ultra Violeta, 1600 hrs OIT retenido %	GM11 ASTM D5835	Fórmula	≥50	≥50	≥50	≥50	≥50	
DIMENSIONES								
Longitud del Rollo (aproximado), m	Dimensiones para Contenedor de 40'		410	310	210	155	120	
Ancho del Rollo, m			7.01	7.01	7.01	7.01	7.01	
Área del Rollo, m ²			2,874	2,173	1,472	1,087	841	

- NOTAS:
- Nota 1: La dispersión sólo es aplicable a aglomerados esféricos o semejantes. 9 de 10 vistas deben ser Categoría 1 o 2. No puede haber más de 1 vista en la Categoría 3.
 - GSE HDPE está disponible en rollos que pesan cerca de 2070 kg.
 - Todas las geomembranas GSE tienen una estabilidad dimensional de ±2% según el ensayo ASTM D 1204 y Fragilidad a Baja temperatura menor a -77° C según el ensayo ASTM D 746.

G8005P-HD-R04/05

Esta información se suministra sólo como referencia y no conlleva en lo absoluto a garantía alguna. GSE no asume ninguna responsabilidad legal relacionada con el uso de esta información. Por favor verifique con GSE las normas mínimas del aseguramiento de calidad, las especificaciones y procedimientos.

GSE y otras marcas utilizadas en este documento son marcas registradas y marcas de servicio de GSE Lining Technology, Inc. algunas de las cuales están registradas en los Estados Unidos y otros países.

GEOTEXILES NO TEJIDOS



Almacenamiento Geomembranas



ESPECIFICACIÓN INTERNACIONAL GEOTEXTIL PAVCO NT 2000

Es un Geotextil No Tejido de polipropileno, conformado por un sistema de fibras, punzonado por agujas. Este Geotextil se produce en una de las plantas de PAVCO S.A., bajo un Sistema de Gestión de Calidad de acuerdo con los requerimientos de la Norma de Calidad ISO 9001:2000 y un Sistema de Gestión Ambiental bajo la Norma Internacional ISO 14001. Es altamente resistente a la degradación biológica y química, que normalmente se encuentra en los suelos. Los valores de las propiedades que aparecen en esta especificación son obtenidos en el Laboratorio de Control de Calidad de Geotextiles PAVCO S.A., acreditado dentro del Sistema de Normalización, Certificación y Metrología de la S.I.C., según resolución 35707.

	PROPIEDADES	NORMA	UNIDAD	VALOR MARV ²
MECÁNICAS	Método Grab Resistencia a la Tensión Elongación	ASTM D- 4632	N (LB) %	560 (126) >50
	Resistencia al Punzonamiento	ASTM D- 4833	N(lb)	320 (72)
	Resistencia al Rasgado Trapezoidal	ASTM D- 4533	N(lb)	215 (48)
	Método Mullen Burst Resistencia al Estallido	ASTM D- 3786	Kpa (psi)	1656 (240)
	Método de la Tira Ancha Resistencia a la Tensión Elongación Máxima	ASTM D- 4595	kN/m %	9.0 52
	Resistencia al Punzonamiento CBR	ASTM D- 6241	kN	1.9
HIDRAULICAS	Tamaño de Abertura Aparente	ASTM D- 4751	Mm (No. Tamiz)	0.150 (100)
	Permeabilidad	ASTM D- 4491	Cm/s	30 x 10 ⁻²
	Permitividad	ASTM D- 4491	s	2.0
	Tasa de Flujo	ASTM D- 4491	l/min/m ²	5700
FÍSICAS	Espesor	ASTM D- 5261	mm	1.5
	Rollo Ancho	Medido	m	3.5 – 3.8 – 4.0
	Rollo Largo	Medido	m	130
	Rollo Area	Calculado	m ²	455 – 494 – 520
RESISTENCIA	Resistencia UV (% retenido @ 500 h)	ASTM D- 4355	%	>70

NOTAS

- Los valores de las propiedades de esta especificación son vigentes a partir de Nov - 05 y están sujetas a modificaciones sin previo aviso.
- Los valores publicados corresponden al sentido más desfavorable del Geotextil. Los valores MARV corresponden al valor resultante de: Valor Típico - 2 veces desviación estándar de todos los datos históricos.

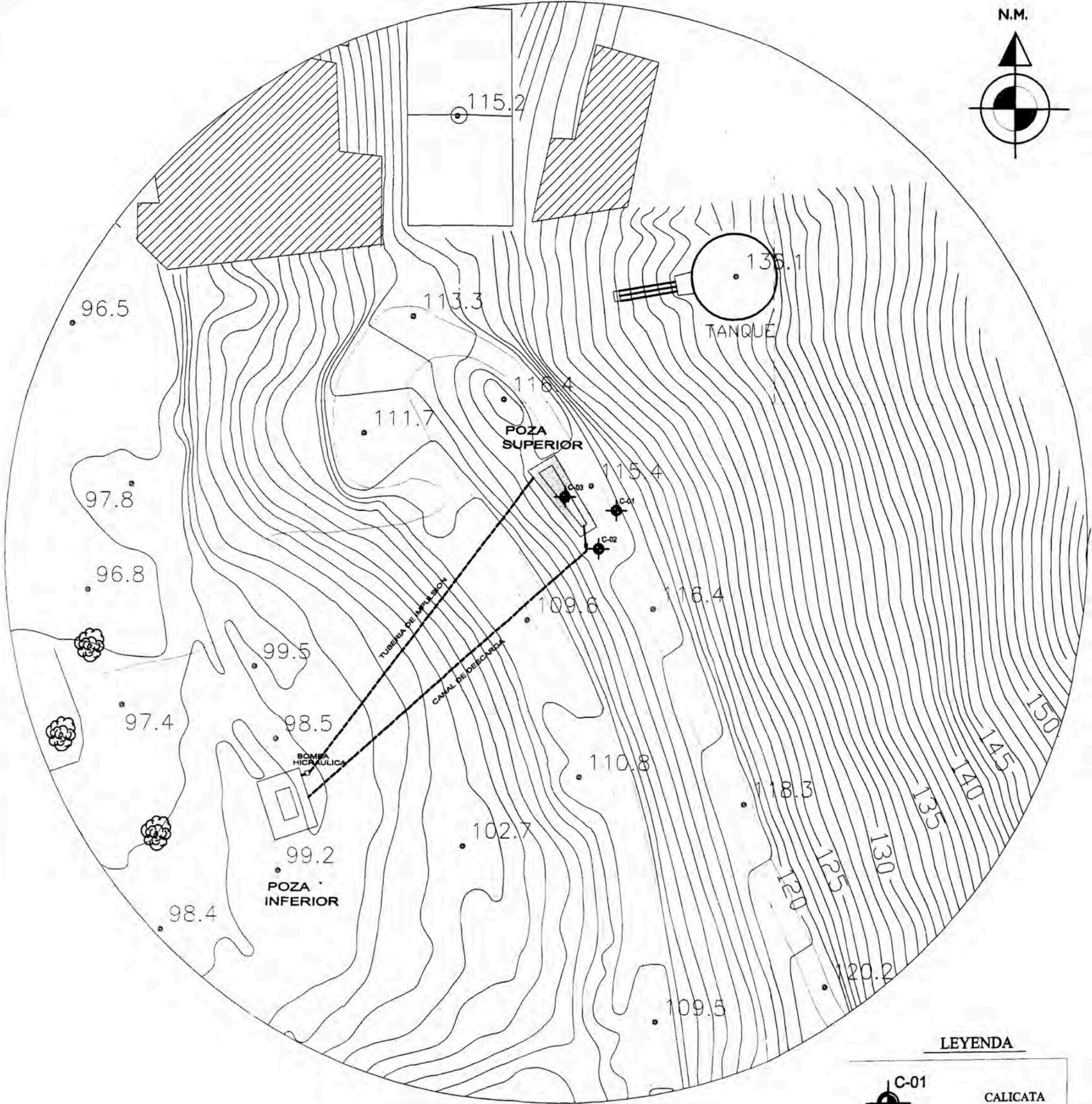
PAVCO se reserva el derecho de introducir las modificaciones de especificaciones que considere necesarias para garantizar la óptima calidad y funcionalidad de sus productos. La información aquí contenida se ofrece gratis y es, a nuestro leal saber y entender, cierta y exacta; no obstante, todas las recomendaciones y sugerencias están hechas sin garantía, puesto que las condiciones de usos están fuera de nuestro control.



Oficina Principal: Autopista Sur No. 71 – 75 Bogotá D.C., Colombia. Tels: (57-1) 782 5081/82 Fax: (57-1) 782 5013
Medellín: (57-4) 352 1717/2122 Cali: (57-2) 442 3442/44 Baranquilla: (57-5) 369 0369
Servicio al Cliente Bogotá: (57-1) 777 2286 – 782 5111 Todo el País: 01 800 09 12286 o 01 800 09 P7A2V5C206
E-mail: servicio_geosistemas@pavco.com.co – www.pavco.com.co



ANEXO V
Planos



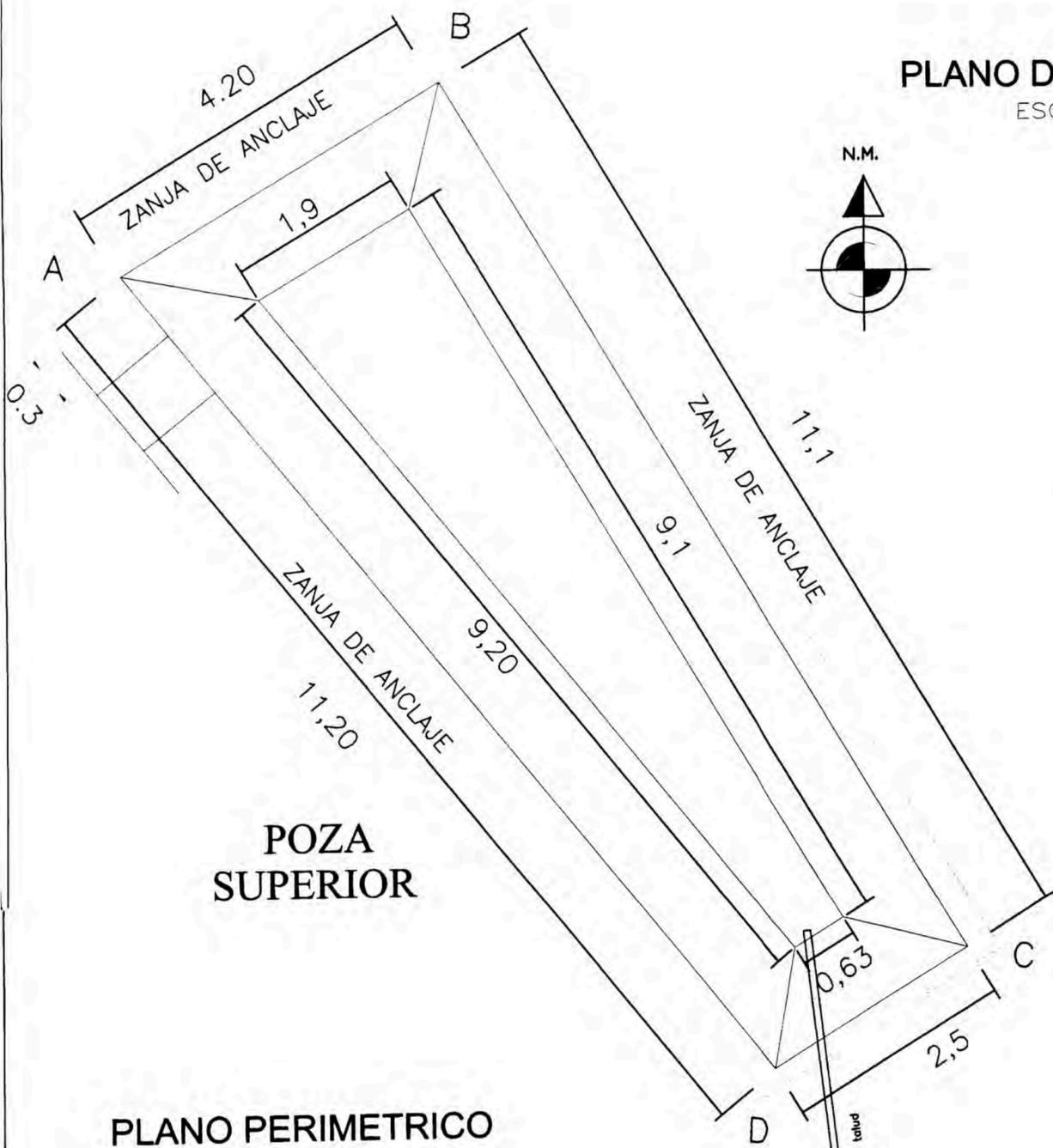
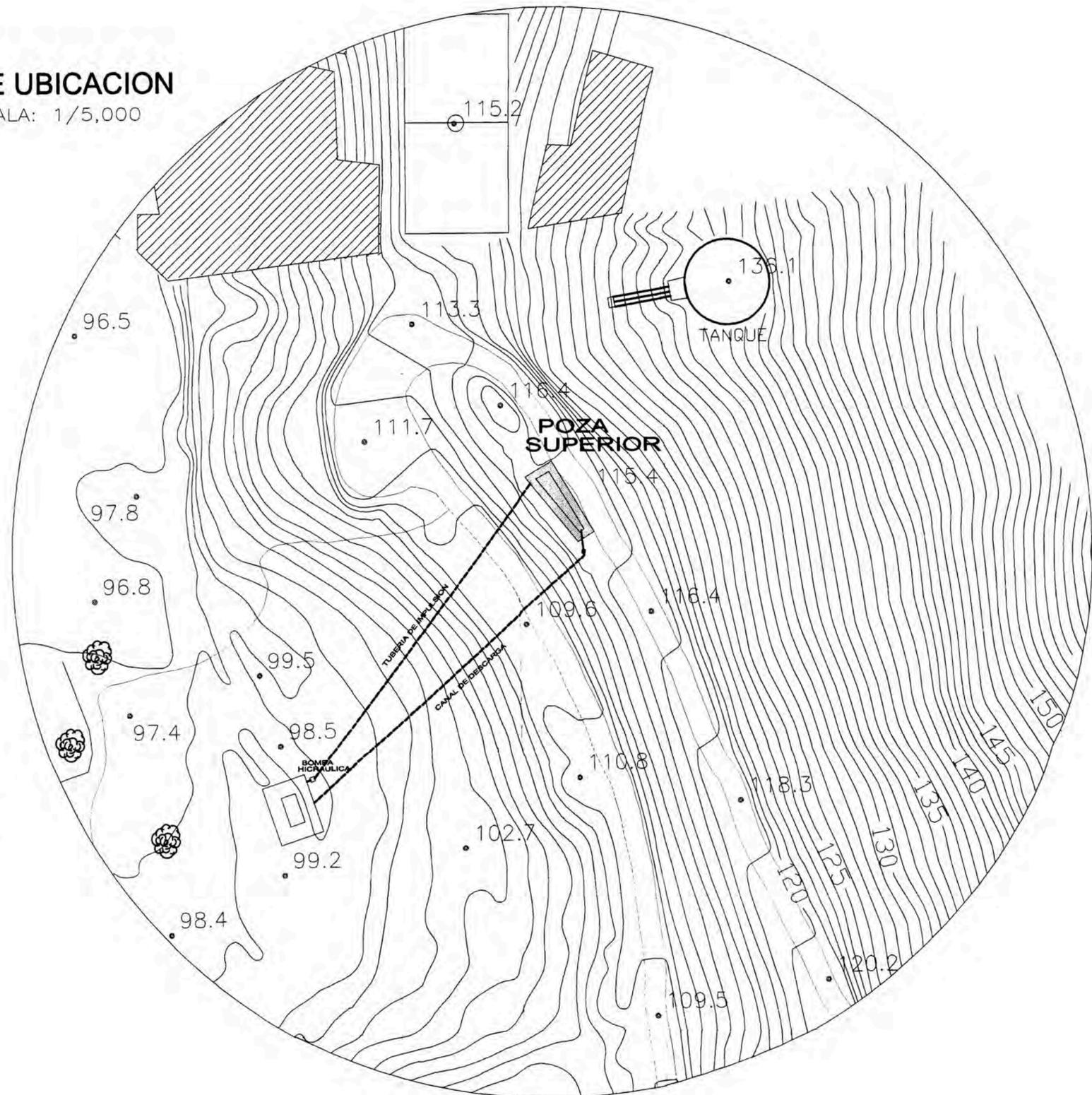
CALICATAS

CUADRO DE DATOS TECNICOS		
NOMBRE	COORDENADAS U.T.M.	
	ESTE (X)	NORTE (Y)
C-1	277130.9498	8670620.8011
C-2	277128.6198	8670615.7151
C-3	277124.0776	8670622.5732

PROYECTISTA: UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA POZA IMPERMEABILIZADA CON GEOMEMBRANAS TUBERIA DE CONDUCCION Y BUZON DE DESCARGA		
PLANO: UBICACION DE CALICATAS	DIST.: RIMAC	LAMINA: MS-1
UBICACION: CERRO DE LA UNI SECTOR DE FACULTAS DE MINAS	PROV.: LIMA	
	DPTO.: LIMA	
	DISEÑO: Marden Valles Julca	
FECHA: FEBRERO DEL 2007	ESCALA: 1/50	

PLANO DE UBICACION

ESCALA: 1/5,000



POZA SUPERIOR

PLANO PERIMETRICO

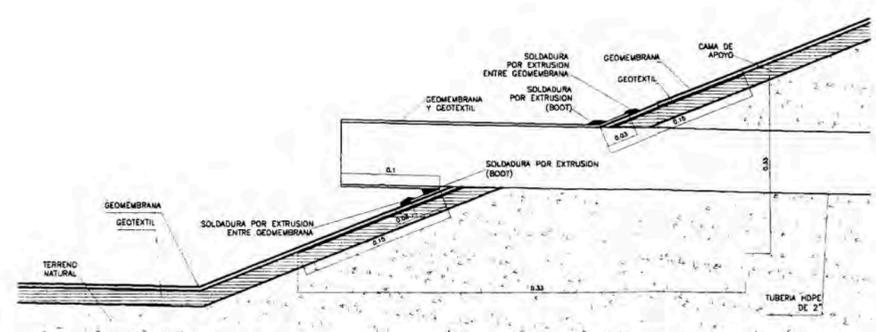
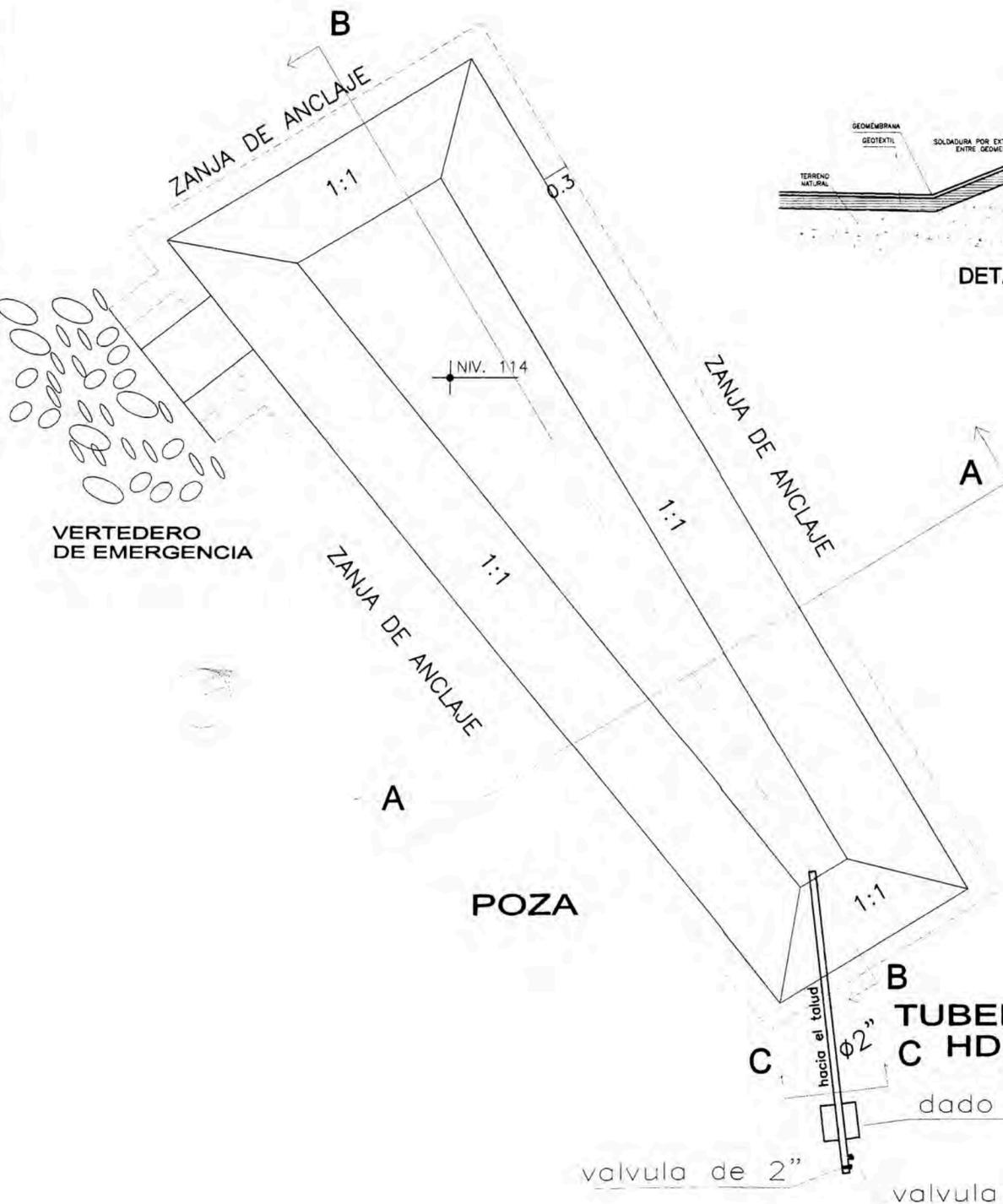
ESCALA: 1/50

POZA SUPERIOR

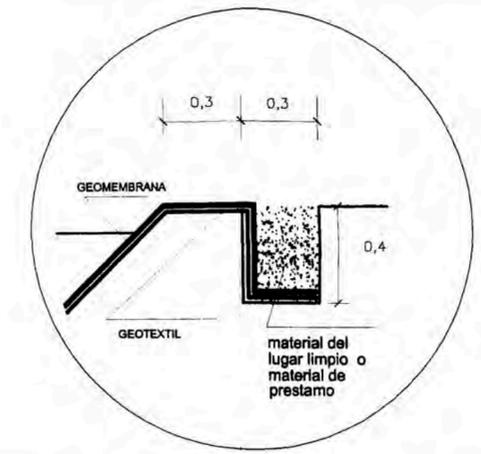
CUADRO DE DATOS TECNICOS				
VERTICE	LADO	DISTANCIA	COORDENADAS U.T.M.	
			ESTE (X)	NORTE (Y)
A	A-B	4.00	277119.0976	8670025.9817
B	B-C	11.10	277122.6536	8670628.1242
C	C-D	2.50	277128.3799	8670618.6154
D	D-A	11.20	277126.1566	8670617.2764

PROYECTISTA:
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
 POZA IMPERMEABILIZADA CON GEOMEMBRANAS
 TUBERIA DE CONDUCCION Y DESCARGA

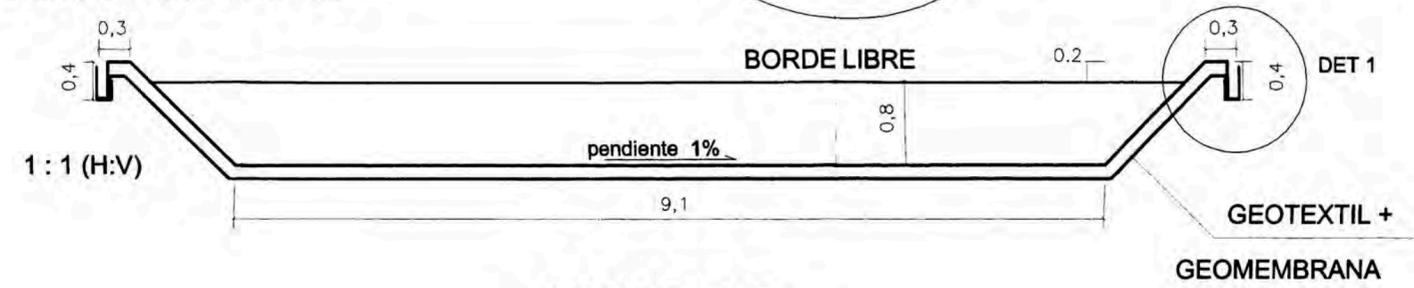
PLANO: PLANO DE UBICACION Y PLANTA	DIST.: RIMAC	LAMINA:
UBICACION: CERRO DE LA UNI SECTOR DE FACULTAS DE MINAS	PROV.: LIMA	P-01
	DPTO.: LIMA	
	DISEÑO: Marden Valles Julca	1 DE 2
FECHA: FEBRERO DEL 2007	ESCALA: 1/50	PERIMETRO: 29.06 ml
		AREA TOTAL: 37.44 m2



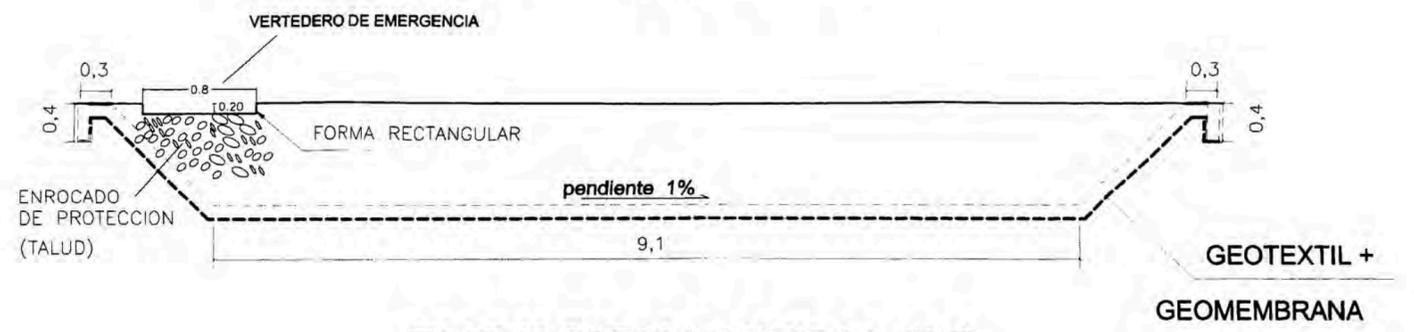
DETALLE DE INGRESO DE TUBERIA A POZA



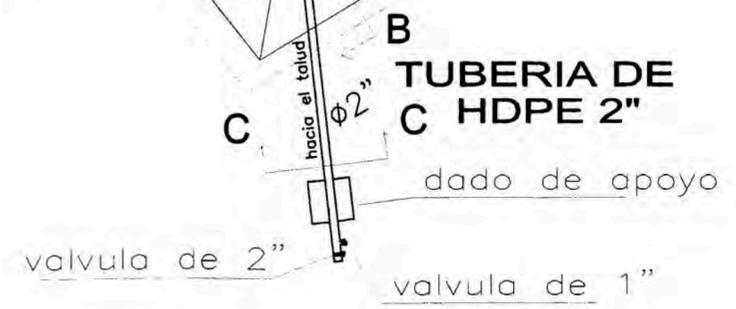
DET 1
DETALLE
EN POZA
DE ANCLAJE



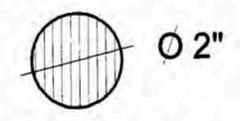
CORTE B-B



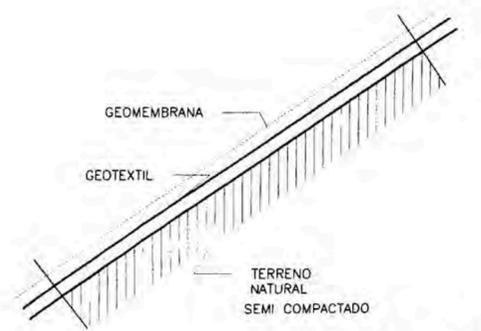
ELEVACION LATERAL "M"



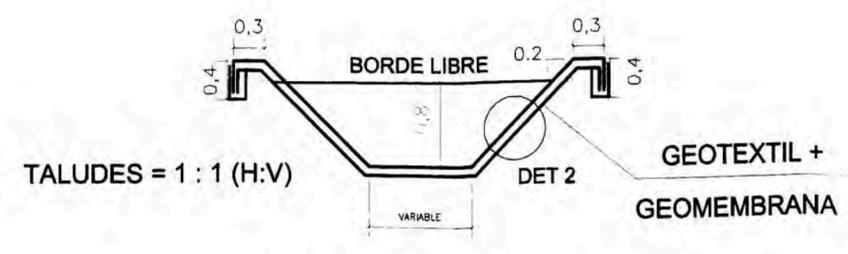
TUBO HDPE DE 2"



CORTE C



DET 2

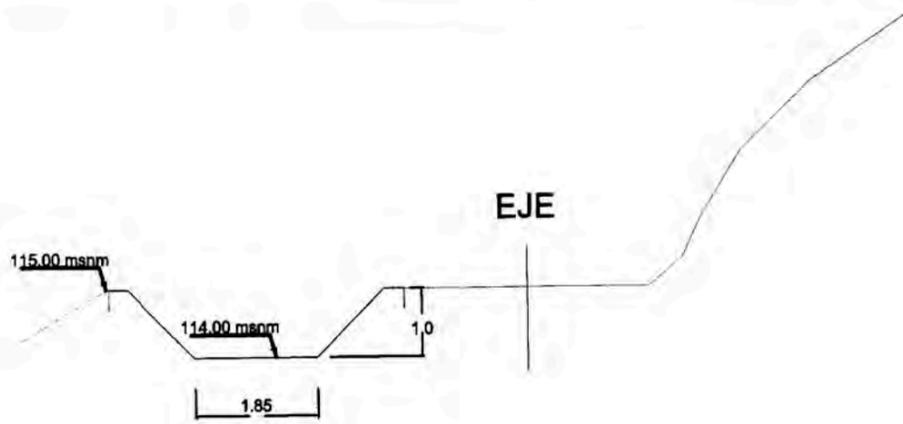


CORTE A-A

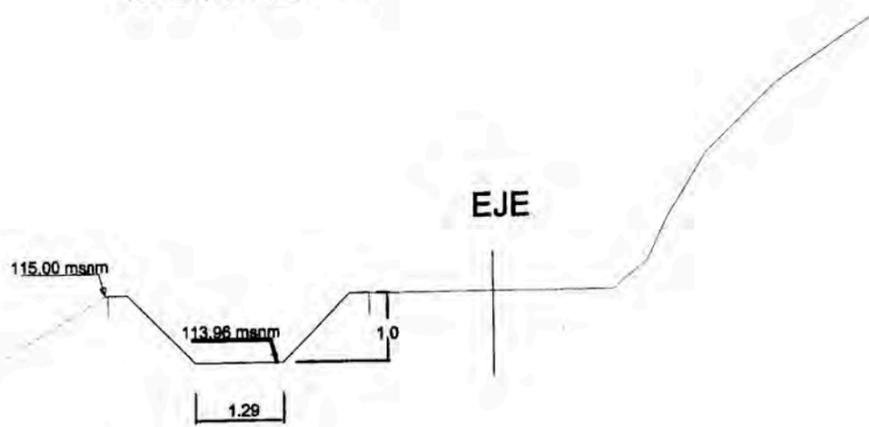
POZA IMPERMEABILIZADA
CON GEOMEMBRANA HDPE e = 0.75 mm

CAPACIDAD = 22.00 M3

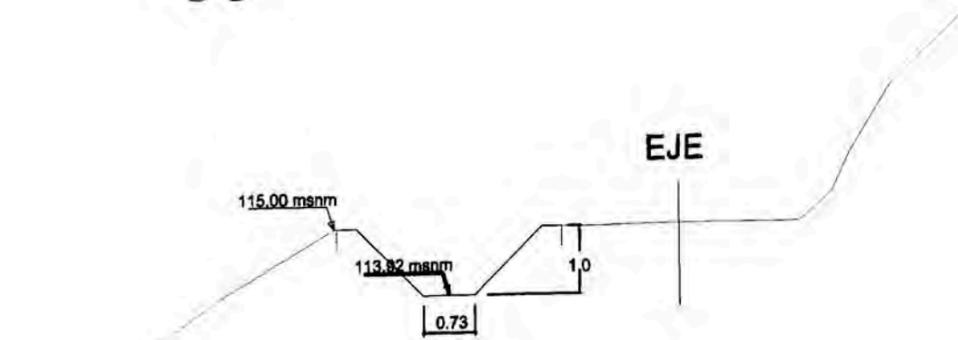
PROYECTISTA: UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA POZA IMPERMEABILIZADA CON GEOMEMBRANAS TUBERIA DE CONDUCCION Y DESCARGA		
PLANO: SECCIONES TIPICAS EN POZA, TUBERIA Y DESCARGA	DIST.: RIMAC PROV.: LIMA DPTO.: LIMA	LAMINA: P-02 2 DE 2
UBICACION: CERRO DE LA UNI SECTOR DE FACULTAS DE MINAS	DISEÑO: Marden Valles Juica	
FECHA: FEBRERO DEL 2007	ESCALA: 1/50	



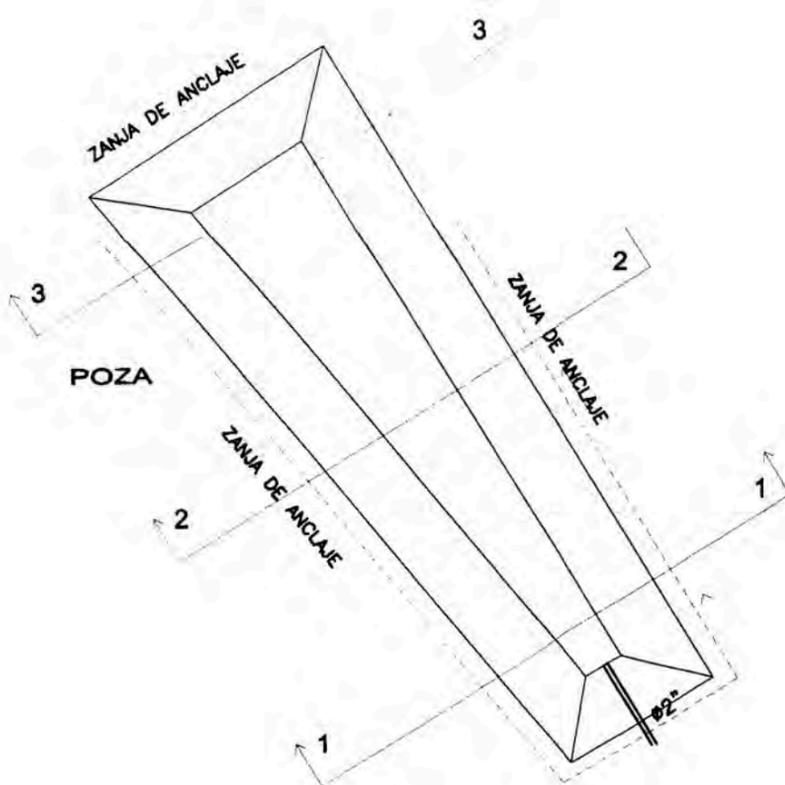
CORTE 1



CORTE 2



CORTE 3



PROYECTISTA: UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA		
POZA IMPERMEABILIZADA CON GEOMEMBRANAS TUBERIA DE CONDUCCION Y DESCARGA		
PLANO: SECCIONES TRANSVERSALES	DIST.: RIMAC	LAMINA:
	PROV.: LIMA	P-03
	DPTO.: LIMA	
UBICACION: CERRO DE LA UNI SECTOR DE FACULTAS DE MINAS	DISEÑO: Marden Valles Juica	
FECHA: FEBRERO DEL 2007	ESCALA: 1/50	