

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



**DEPÓSITOS DE RELAVES CON APLICACIÓN DE
GEOSINTÉTICOS**

METODOLOGÍA DE ANÁLISIS Y DISEÑO

INFORME DE SUFICIENCIA

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

CÉSAR AUGUSTO SIMON CALLE

LIMA – PERÚ

2007

ÍNDICE

Resumen	1
Introducción	3
1 Generalidades	4
1.1 Historia de la Minería en el Perú.....	4
1.2 Normas para el diseño de depósito de relaves	5
1.3 Metodologías de diseño para depósitos de relave	15
1.4 Geosintéticos disponibles en el país.....	23
1.5 Soluciones planteadas en el país	26
2 Estudios Básicos	27
2.1 Topografía.....	27
2.2 Geología.....	29
2.3 Geotecnia.....	35
2.4 Hidrología.....	36
2.5 Hidrogeología	42
2.6 Peligro Sísmico	43
3 Análisis de depósitos de relaves	47
3.1 Planteamiento de alternativas	47
3.2 Análisis de alternativas.....	49
4 Diseño de depósitos de relaves.....	73
4.1 Requerimientos o demandas del diseño.....	74
4.2 Diseño Definitivo	76
5 Expediente Técnico.	77
5.1 Memoria descriptiva	77
5.2 Especificaciones técnicas.....	78
5.3 Cronograma	91
5.4 Metrado	92
5.5 Presupuesto	92

Conclusiones	93
Recomendaciones	94
Bibliografía.....	95
Anexos.....	96
Anexo I. Fotos	97
Anexo II. Estudios Básicos.....	101
Anexo III. Geosintéticos Especificaciones Técnicas	110
Anexo IV. Planos.....	128
Relación de imágenes	v
Relación de tablas	vi

Relación de imágenes

Imagen 1.1 Restos de la tradición minera peruana.....	4
Imagen 1.2 Depósitos de relave Chile	16
Imagen 1.3 Patio de lixiviación, Alto Chicama, Perú	24
Imagen 1.4 Sistema Terramesh, Cajamarca, Perú.....	24
Imagen 1.5 Revestimiento de taludes, Cajamarca, Perú.....	25
Imagen 2.1 Trabajos topográficos.....	27
Imagen 2.2 Plano Geológico de la zona donde se ubicará el depósito de relave	33
Imagen 2.3 Vista de los contactos geológicos en la zona donde se ubicará el depósito de relaves.....	34
Imagen 2.4 Estratigrafía local	34
Imagen 2.5 Foto del ensayo DPL-03.....	35
Imagen 2.6 Principales factores que condicionan la ausencia de lluvias en Lima y Callao	38
Imagen 2.7 Grafico del promedio de precipitación mensual en Lima	38
Imagen 3.1 Modelo de diseño utilizado para calcular el espesor de la geomembrana.....	59
Imagen 3.2 Fuerzas actuantes con suelos de cobertura sobre la geomembrana de recubrimiento, con profundidad del suelo constante	62
Imagen 3.3 Sección transversal de la longitud de desarrollo de una geomembrana con zanja de anclaje y fuerzas actuantes.....	63
Imagen 3.4 Tasa de flujo en función del gradiente hidráulico y el esfuerzo normal para el geodrén 1600/1600/4 mm.	70
Imagen 4.1 Diagrama de flujo general del diseño.	73
Imagen 4.2 Flujo detallado del diseño.....	74
Imagen 5.1 Depósito de relaves terminado.....	77
Imagen A.0.1 Fotografía satelital del área del proyecto.	98
Imagen A.0.2 Trazo y Replanteo en campo.	98
Imagen A.0.3 Excavación.	99
Imagen A.0.4 Perfilado.	99
Imagen A.0.5 Instalación de geotextiles.....	100
Imagen A.0.6 Instalación de geomembrana.....	100

Relación de tablas

Tabla 1.2.1 Niveles máximos permisibles de emisión para unidades minero metalúrgicas	10
Tabla 1.2.2 Niveles máximos permisibles de anhídrido sulfuroso.	11
Tabla 1.2.3 Niveles máximo permisible de calidad de aire	11
Tabla 1.2.4 Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire	12
Tabla 2.1.1 Corrección de nivel	28
Tabla 2.1.2 Replanteo de los vértices superiores del depósito de relaves.	28
Tabla 2.4.1 Características de la estación Modelo	39
Tabla 2.4.2 Precipitación en la zona de acuerdo a diversas distribuciones estadísticas (mm)	39
Tabla 2.4.3 Intensidad de precipitación de diseño	40
Tabla 2.5.1 Pozos tubulares dentro de la universidad.....	43
Tabla 2.6.1 Aceleraciones obtenidas con el programa Risk.....	46
Tabla 3.2.1 Factores de seguridad de los cálculos de estabilidad de taludes	51
Tabla 3.2.2 Factores de seguridad global para el diseño	54
Tabla 3.2.3 Factor de Modificación por Forma de la Protuberancia	55
Tabla 3.2.4 Factor de Modificación por Densidad del Relleno.....	55
Tabla 3.2.5 Factor de modificación por efecto de arco sólido.....	56
Tabla 3.2.6 Factor de Reducción por Fluencia.....	57
Tabla 3.2.7 Factor de Reducción por degradación química y biológica a largo plazo	58
Tabla 3.2.8 Ángulos de fricción geomembrana - suelo y geomembrana - geotextil Según ensayo ASTM D 5321	61
Tabla 3.2.9 Valores mínimos recomendados para supervivencia de la geomembrana en el proceso de instalación.....	65
Tabla 3.2.10 Diseño del diámetro de la tubería de descarga.	72
Tabla 5.3.1 Cronograma de avance de obra.....	91
Tabla 5.4.1 Resumen de metrados.....	92
Tabla 5.5.1 Presupuesto de obra.....	92
Tabla II.1 Precipitación mensual de Lima (A. J. Chavez), periodo: 1993-1950.	103
Tabla II.2 Calculo de caudales mediante el método racional.....	104

Resumen

El Perú siempre ha sido un país minero, sin embargo, el auge actual amenaza con afectar el ecosistema, es necesario controlar los efectos colaterales que este auge produce.

Se han dictado muchas normas para el control ambiental, pero hasta nuestros días no existe una norma, guía o manual para el diseño de los depósitos de relave. Por esto nos avocamos a planear una metodología para el diseño de depósitos de relave que respete el medio ambiente y sin dejar que sea rentable la actividad minera; Esto último nos lleva a plantear el uso de geosintéticos en la solución, por su bajo costo comparativo.

Se han realizado y se vienen realizando en el país muchas obras de depósitos de relave con aplicación de geosintéticos, que han obtenido grandes éxitos, estas experiencias confirman que se seguirán realizando diseños de este tipo y que es útil contar con una metodología para su análisis y diseño.

Para seguir esta metodología se debe clasificar el proceso metalúrgico, realizar un listado ordenado por prioridades de cuales son los requerimientos que el diseño debe resolver. Entre los requerimientos que intervienen en un depósito de relaves podemos indicar que son: almacenar el volumen de relave producido por la empresa en un determinado periodo de tiempo y así asegurar su continuo trabajo, evitar la contaminación ambiental, consolidar el relave.

Se plantean luego alternativas para el tipo de sistema u obra que resolverá cada requerimiento antes listado, así las alternativas son: una obra de reservorio, un sistema de impermeabilización y un sistema de drenaje, dentro de estas se dividen en la utilización de diversos materiales y especificaciones de geosintéticos.

Se realiza un análisis de la alternativa planteada para cada sistema, se analizan primero los sistemas para el requerimiento prioritario.

Para la obra de reservorio se realizó un cálculo de la capacidad de almacenamiento dando 25.3 m^3 de relave ya drenado, para el diseño geométrico planteado, otro problema a analizar era la estabilidad estructural del depósito por lo que se realizó un análisis de estabilidad en los taludes, calculando un factor de seguridad de 1.3 para la estabilidad global en la condición crítica de sismo y

factores por encima de 4 para la estabilidad de los taludes internos proyectados en una condición crítica de sismo.

Para el sistema de impermeabilización se proyectó una cobertura de geomembrana de HDPE de 1 mm de espesor protegida inferiormente, contra los posibles daños de instalación, por un geotextil de 400 gr/m². Los cálculos para los requerimientos de servicio tanto de la geomembrana como del geotextil dieron factores de seguridad mayores a 1 en todos los casos.

Para el sistema de drenaje se proyectó el uso de un geodrén planar que desfoga a una tubería la cual conectaría al sistema de recirculación de la planta concentradora de la FIGMM de la UNI. Los cálculos se enfocan en asegurar que el sistema cumpla con drenar el caudal producto de las lluvias y proveniente de la pasta de relave, reteniendo las partículas del relave y sin perder eficiencia por colmatación, estos 3 puntos son en los que se incidió en el diseño, estos puntos inciden en el diseño del geotextil principalmente, por lo que se tuvo especial cuidado en su diseño, utilizando el geotextil no tejido 3000, que tiene un espesor de 2 mm.

Se procede a determinar cual diseño es el más eficiente desde el punto técnico-económico y se desarrolla su ingeniería de detalle.

Se pasa al siguiente requerimiento que tenga la mayor prioridad, para el planteamiento de alternativas, análisis y diseño final.

Finalizado el diseño se procede a la elaboración del expediente técnico, planos, metrados, cronograma y todo documento que explique, detalle y colabore con la construcción del diseño.

Introducción

El almacenamiento del material de desecho (relave) de los distintos procesos productivos de la actividad minera requiere, hoy en día, de soluciones de ingeniería capaces de conservar el medio ambiente.

En este nuevo siglo del mundo globalizado, la humanidad nos exige que el desarrollo de los pueblos sea sostenido, donde el progreso económico esté equilibrado con el bienestar social y la preservación del medio ambiente.

Por esta motivación se propone una metodología para el análisis y diseño de los depósitos de relave, para lo cual en el primer capítulo se realiza una recopilación de los hechos que han conformado la historia de la minería peruana hasta la actualidad, luego se hace una recopilación de normas peruanas, diversas metodologías propuestas y los diversos tipos de materiales geosintéticos para el diseño de depósitos de relave.

En el segundo capítulo se describe como paso inicial para un diseño realizar algunos estudios básicos, estos estudios básicos, como se detalla en el capítulo cuatro, variarán respecto a los requerimientos que el diseño plantee.

En el cuarto capítulo la metodología de análisis que esta relacionada con los requerimientos, que se analizan al iniciar este capítulo, se dirigen a conocer las propiedades de las diversas alternativas planteadas. Las propiedades a analizar se limitan a las funcionales.

En el capítulo cinco se describe la filosofía de la metodología propuesta y se definen los pasos que deben realizarse para producir un diseño eficiente.

Para el sexto capítulo se muestran los documentos que el diseño debe producir así como a que nivel de ingeniería se deben presentar para facilitar las labores de ejecución.

Capítulo I Generalidades

1.1 Historia de la Minería en el Perú



Imagen 1.1 Restos de la tradición minera peruana.

El Perú tiene una larga historia de actividad minera (según Shimada y Merkel, 1991). Durante el Periodo Pre-Incaico (500 AC a 1300 DC) y el Imperio Incaico hubo relativamente poca actividad minera. Muchos de los minerales conocidos fueron entregados a los escasos fundidores localizados en la parte norte del Perú. Metales como el oro, plata, cobre y aleaciones de cobre/arsénico fueron los principales productos utilizados fundamentalmente para armas, utensilios y efectos personales.

La actividad minera se incrementó a partir de la Conquista del Perú, en el año 1530, debido al interés de los conquistadores españoles por el oro y la plata. La tecnología minera europea fue introducida en ese momento para incrementar la productividad de las minas peruanas. Este periodo duró de 1500 DC hasta finales de 1700 DC.

El periodo de auge de la actividad minera peruana se inició a comienzos de este siglo, con el establecimiento de compañías nacionales y extranjeras en los distritos mineros con riqueza mineral importante (principalmente plata), como las áreas de Cerro de Pasco y Huancavelica. La mecanización de la actividad

minera fue una de las principales razones para el incremento de los porcentajes de producción. El cobre, plomo, zinc y mercurio fueron los metales de interés primario para estas compañías.

“Las evidencias de haber transformado el paisaje natural de la tierra atentando contra lagos, ríos y vegetación, están en las lagunas de Morococha, Huascacocha, Azulcocha, Yanamate y otras tantas que podríamos enumerar; paisajes que están allí inertes, convertidos en paisaje lunar, sin vida, rodeados de habitantes conviviendo con la miseria. Pero, las evidencias de destrucción de la fauna en los ríos son menos notorias, no está frente a nuestra vista y muchos de nosotros inclusive acudimos a argumentos pseudo científicos para demostrar que los relaves no son dañinos para preservar la diversidad biológica.”¹

1.2 Normas para el diseño de depósito de relaves

No existe hasta el momento una norma específica para el diseño de depósitos de relave, la cual debería ser planteada por el colegio de ingenieros del Perú, para ser aprobada por el congreso de la república. Sin embargo, se han promulgado una serie de normas para la protección ambiental que indican los requerimientos generales que el diseño de depósitos de relaves debe respetar; estas normas se mencionan a continuación:

La Constitución Política del Perú

Como documento legislativo máximo, prima sobre las demás leyes y da a conocer los lineamientos generales legales de donde se deben desprenderse todas las demás leyes, por tanto, nos indica cual debe ser nuestro objetivo en la labor profesional de ingenieros.

En el artículo 2, inciso 22 se declara que un derecho fundamental de la persona es el “gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida.” Por lo tanto es nuestra labor como ingenieros el proporcionarle a todas las personas de la comunidad un ambiente adecuado protegiéndolo del impacto que puede causar la dispersión de los contaminantes del relave en el ambiente.

En el artículo 68 se declara que: “El Estado está obligado a promover la conservación de la diversidad biológica y de las áreas naturales protegidas.”

¹ Toledo, Fernando E. (2003) *Tecnología sostenida en la industria minera*

En los artículos 21, 88 y 89 se declara que tanto las zonas arqueológicas, agrícolas y terrenos de las comunidades campesinas respectivamente son áreas intangibles.

Ley marco para el crecimiento de la inversión privada: Decreto Legislativo N° 757 (13.nov.1991)

En esta ley se especifica que “el Estado promueve la participación de empresas o instituciones privadas en las actividades destinadas a la protección del medio ambiente y la reducción de la contaminación ambiental”

Código penal (Título XIII): Decreto Legislativo N° 635 (06.abr.1991)

Se le atribuye responsabilidad culposa por contaminación a “el que, infringiendo las normas sobre protección del medio ambiente, lo contamina vertiendo residuos sólidos, líquidos, gaseosos o de cualquier otra naturaleza por encima de los límites establecidos, y que causen o puedan causar perjuicio en la flora, fauna y recursos hidrobiológicos,...”

Ley general de aguas: Decreto Ley N° 17752 (1969)

Artículo 10°. - Entes encargados de la conservación y preservación

El Ministerio de Agricultura y Pesquería en cuanto a la conservación e incremento, y el Ministerio de Salud en lo que respecta, a la preservación de los recursos hídricos, están obligados a:

Realizar los estudios e investigaciones que fuesen necesarios;

Dictar las providencias que persigan, sancionen y pongan fin a la contaminación, o pérdida de las aguas, cuidando su cumplimiento;

Desarrollar acción educativa y asistencia técnica permanentes para formar conciencia pública sobre la necesidad de conservar y preservar las aguas; y

Promover programas de forestación de cuencas, defensa de bosques, encauzamiento de cursos de agua y preservación contra su acción erosiva.

Artículo 14°. - Restricciones al uso de aguas

Nadie podrá variar el régimen, la naturaleza o la calidad de las aguas, ni alterar los cauces, ni el uso público de los mismos sin la correspondiente autorización; y en ningún caso, si con ello se perjudica la salud pública o se causa daño a la colectividad o a los recursos naturales o se atenta contra la

seguridad o soberanía nacionales. Tampoco se podrá obstruir los caminos de vigilancia, o de obras hidráulicas.

Artículo 20°. - Obligaciones del usuario

Todo usuario está obligado a:

“Evitar que las aguas que deriven de una corriente o depósito se derramen o salgan de las obras que las deben contener.”

Artículo 54°. - Manejo de los residuos minerales

La Autoridad de Aguas o la Sanitaria exigirá que los residuos minerales sean depositados en áreas especiales o “canchas de relave” dotadas de los elementos necesarios de control y seguridad, o sean evacuados por otros sistemas de manera que se evite la contaminación de las aguas o tierras agrícolas de actual o futura explotación.

TITULO VII DE LOS ESTUDIOS Y OBRAS

Artículo 85°. - Fines

Quedan sujetas a las disposiciones específicas del presente Título y a las demás de esta Ley que les sean aplicables, la realización de estudios y la ejecución y modificación de obras destinadas a los siguientes fines:

“Evacuación de desagües y descarga de los afluentes, relaves y materiales sólidos provenientes de la minería, industria y de otros usos”

Artículo 88°. - Inclusión en los estudios los referentes al avenamiento

Los estudios destinados a obras de irrigación, mejoramiento de riego, o cualquier otro que en su ejecución pudiera ocasionar daños o perjuicios por infiltración de agua, deberán incluir los referentes al avenamiento.

Ley general de salud: Ley N° 26842 (20.jul.1997)

Artículo 104°. - Prohibición de hacer descarga de desechos o sustancias contaminantes

Toda persona natural o jurídica, está impedida de efectuar descargas de desechos o sustancias contaminantes en el agua, el aire o el suelo, sin haber adoptado las precauciones de depuración en la forma que señalan las normas sanitarias y de protección del ambiente.

Ley general de residuo sólidos: Ley N° 27314

Esta ley trata a los depósitos de relaves como residuos sólidos industriales, los puntos son sobre todos generales y no presenta indicaciones específicas para el diseño pero dado que esta ley es la pertinente al material de relave generado por las industrias finales.

Reglamento sobre protección del medio ambiente D.S.N° 016-93-EM (28-Abr-93)

Este reglamento comprende la aplicación sobre las leyes de protección del medio ambiente, declarando como autoridad competente para hacerlas cumplir al Ministerio de Energía y Minas para todas las actividades minero metalúrgicas.

Además, indica los que el PAMA debe contemplar, a lo cual deben los proyectos de depósitos de relave deben estar acorde:

Artículo 10°. - El PAMA de las actividades de exploración y/o explotación en las operaciones de minado subterráneo y a cielo abierto deben identificar y contemplar el tratamiento de:

1. Emisiones de partículas, gases y ruido (de voladura, de equipo diesel, etcétera).
2. Calidad y flujo de aguas superficiales y subterráneas por descarga de aguas contaminadas (nitratos, metales pesados, acidez, etcétera).
3. Alteración de acuíferos.
4. Estabilidad de los taludes.
5. Fracturas e inestabilidad del suelo.
6. Remoción del suelo y de la vegetación.
7. Disposición adecuada de materiales no utilizables.
8. Interrupción de otros usos del suelo y áreas pobladas aledañas durante las actividades mineras, y,
9. Otros que pudieran afectar la propiedad y el ecosistema.

Artículo 11°. - Los PAMA de operaciones de dragado y explotación de placeres, enfatizarán, además, las medidas conducentes a minimizar el impacto sobre la flora y fauna.

Artículo 12°. - Los PAMA que presenten los titulares de Concesiones de Beneficio. incluirán el tratamiento efectivo de:

- a) La alteración física del suelo, no requerido por la operación, la vegetación y el sistema de drenaje natural, que fueran modificados durante la preparación del terreno para la planta de beneficio,
- b) Contaminación ambiental por polvos, gases y material en partículas.
- c) Contaminación de corrientes de agua por derrames en sistemas de molienda y plantas de lavado de los procesos metalúrgicos.
- d) Contaminación de acuíferos por filtraciones de colas, relaves y escorias.
- e) Contaminación de suelos, áreas de cultivo y aguas superficiales por transporte eólico de contaminantes dispuestos en la superficie.
- f) Disposición de residuos.

Artículo 13º. - Los PAMA de las operaciones hidrometalúrgicas deberán evitar la pérdida de soluciones, los derrames, las filtraciones, los lavados y las neutralizaciones incompletas. Además, se contemplarán medidas técnicas para controlar la estabilidad de las pilas, el control de las soluciones, la erosión por viento y las aguas de escorrentía. Incluirá asimismo el tratamiento efectivo de los problemas siguientes:

1. Alteraciones del suelo y vegetación.
2. Contaminación del aire por partículas y emisiones de gases.
3. Contaminación de las aguas subterráneas o superficiales por derrames o infiltraciones de los residuos líquidos de los procesos hidrometalúrgicos.
4. Peligro de la vida silvestre y el ganado en las pozas de hidrometalúrgicas.

Artículo 14º. - Los PAMA de las operaciones de beneficio que utilicen la amalgamación, deberán efectuar controles para impedir que el mercurio se incorpore en el suelo o en los cursos de agua. Adicionalmente contemplarán el cumplimiento de las normas siguientes:

1. Se prohíbe la utilización de mercurio directamente en el proceso de concentración gravimétrica.
2. Las instalaciones deberán contar con amalgamadores y retortas y con depósitos para la sedimentación de partículas.
3. Mantendrán dispositivos que permitan la recuperación del mercurio y evitar la contaminación atmosférica y acuática.

Resolución Ministerial N° 011-96-EM/VMM(13.ene.96)

Esta resolución tiene por objetivo aprobar los Niveles Máximos Permisibles para efluentes líquidos minero metalúrgicos, los cuales deben ser tomados en cuenta para el diseño de depósito de relaves. Los niveles máximos permisibles se muestran en la Tabla 1.2.1.

Tabla 1.2.1 Niveles máximos permisibles de emisión para unidades minero metalúrgicas

Parametro	Valor en cualquier momento	Valor promedio anual
ph	Mayor que 6 y Menor que 9	Mayor que 6 y Menor que 9
Sólidos suspendidos (mg/l)	50	25
Plomo (mg/l)	0.4	0.2
Cobre (mg/l)	1	0.3
Zinc (mg/l)	3	1
Fierro (mg/l)	2	1
Arsénico (mg/l)	1	0.5
Cianuro total (mg/l) *	1	1

Fuente: Ministerio de energía y minas.

* Cianuro total, equivalente a 0.1 mg/l de Cianuro Libre y 0.2 mg/l de Cianuro fácilmente disociable en ácido.

Resolución Ministerial N° 315-96-EM/VMM (19.jul.96)

Esta resolución tiene por objetivo aprobar los Niveles Máximos Permisibles de Anhídrido Sulfuroso, Partículas, Plomo y Arsénico presentes en las emisiones gaseosas provenientes de las Unidades Minero - Metalúrgicas. Los niveles máximos permisibles se muestran en la Tabla 1.2.2 y en la Tabla 1.2.3.

Tabla 1.2.2 Niveles máximos permisibles de anhídrido sulfuroso.

Azufre que ingresa al proceso (t/d)	Emisión máxima permitida de anhídrido sulfuroso (t/d)
< 10	20
11 – 15	25
16 – 20	30
21 – 30	40
31 – 40	50
41 – 50	60
51 – 70	66
71 – 90	72
91 – 120	81
121 – 150	90
151 – 180	99
181 – 210	108
211 – 240	117
241 – 270	126
271 – 300	135
301 – 400	155
401 – 500	175
501 – 600	195
601 – 900	201
901 – 1200	207
1201 – 1500	213
> 1500	0.142 (S)*

Fuente: Ministerio de energía y minas.

* (S) = Total de Azufre que ingresa al proceso.

Tabla 1.2.3 Niveles máximo permisible de calidad de aire

Parametro	Concentración media aritmetica diaria $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (ppm)	Concentración media aritmetica anual $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (ppm)	Concentración media geometrica anual $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (ppm)
Anhídrido sulfuroso	572 (0.2)*	172 (0.06)	
Particulas en suspensión	350*		150
Plomo		0.5	
Arsenico	6		

Fuente: Ministerio de energía y minas.

(*) No debe ser excedido mas de una vez al año. Además, deberá considerarse:

- Concentración Mensual de Plomo = 1.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

- Concentración de Arsénico en 30 minutos = 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (no debe ser excedido más de una vez al año).

Reglamento de pasivos ambientales de la actividad minera: Decreto supremo N° 059-2005-EM

El artículo 34 del reglamento de pasivos ambientales de la actividad minera declara que entre los objetivos que debe alcanzar el plan de cierre de pasivos ambientales está el asegurar:

- a) Estabilidad física a largo plazo.
- b) Estabilidad química a largo plazo.

Reglamento de estándares nacionales de calidad ambiental del aire: Decreto supremo N° 074-2001-PCM

El presente reglamento declara en el artículo 2 que la protección de la calidad del aire es tarea de todos, además, presenta unos nuevos valores de calidad de aire a ser tomados en cuenta:

Tabla 1.2.4 Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire

Contaminante	Periodo	Forma del estandar		Metodo de Análisis ¹⁽¹⁾
		Valor $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (ppm)	Formato	
Dióxido de Azufre (SO ₂)	Anual 24 horas	80 365	NE más de 1 vez al año	Fluorescencia UV (método automático)
PM-10	Anual 24 horas	50 150	Media aritmética anual NE más de 3 veces/año	Separación inercial/ filtración (Gravimetría)
Monóxido de Carbono (CO)	8 horas 1 hora	10000 30000	Promedio móvil NE más de 1 vez/año	(NDIR) (Método automático)
(NO ₂)	Anual 1 hora	100 200	Promedio aritmético anual NE más de 24 veces/año	Quimiluminiscencia (Método automático)
Ozono (O ₃)	8 horas	120	NE más de 24 veces/año	Fotometría UV (Método automático)
Plomo (Pb)	Anual 2 ^[2] Mensual	1.5	NE más de 24 veces/año	(Espectrofotometría de absorción atómica)
Sulfuro de Hidrógeno (H ₂ S)	24 horas ²	2		Fluorescencia UV (método automático)

Fuente: Ministerio de energía y minas.

(Todos los valores son concentraciones en microgramos por metro cúbico.
NE significa no exceder).

Protocolo de monitoreo de la calidad del aire y emisiones: DS- 016-93-EM

Este manual sirve como una pauta para las empresas obligadas a implantar y poner en funcionamiento redes destinadas al monitoreo de la calidad del aire. Explica que la responsabilidad de la empresa sobre contaminación se extiende hasta donde el modelo de contaminación del aire, que debe ella implantar para todas sus fuentes, indique una dispersión del contaminante de $5\text{g}/\text{m}^3$, y que en esta área no debe sobrepasarse los niveles de contaminación previstos por el Ministerio de Energía y Minas, que se muestra en Tabla 1.2.4.

Protocolo de monitoreo de la calidad del agua

Este manual representa el cumplimiento del Art. 5to. del Decreto Supremo N° 059-93-EM, de fecha 10 de diciembre de 1993, con relación al Medio Ambiente. Este manual señala a los depósitos de relave como fuentes potenciales de contaminación, por lo que requieren cumplir con las indicaciones que se presentan en este manual.

Es obligación tomar en cuenta la calidad de agua, tanto aguas arriba, en la fuente y aguas debajo de esta. La guía advierte, que la caracterización de la calidad de agua que drena de los depósitos puede ser una de las partes más difíciles de un programa. Por lo que el diseño debe tomar en cuenta que los controles de contaminación pueden dar valores por debajo de los que realmente se están produciendo por lo que los diseños deben tomar en cuenta que el modelo de dispersión de contaminantes debe arrojar mayores valores de contaminación que lo que los controles indican. Además, de diseñar las medidas de alerta que entren en acción para valores de contaminación menores a los que las normas indican.

El diseño debe contemplar:

- Definir el afluente de agua y contaminantes asociados a los relaves.
- Cuantificar la liberación de sólidos en suspensión y metales en el agua de decantación.
- Cuantificar la carga de contaminante a partir de la generación de ácido.
- Establecer medidas de control.

Guía ambiental de manejo de agua en operaciones minero-metalúrgicas

Esta guía ha sido desarrollada para proporcionar al usuario una visión global del manejo de aguas, centrándose en la prevención o reducción de impactos ambientales a las aguas del Perú, como consecuencia de las operaciones mineras y de beneficio. En este documento se identifican y resumen las técnicas de manejo potenciales para lograr este objetivo.

Los depósitos pueden contribuir a la contaminación del agua a través de:

- 1) Generación de drenaje ácido y el transporte subsiguiente de metales a las aguas superficiales y subterráneas a través de escorrentías superficiales y lixiviación
- 2) Descarga de sedimentos en aguas superficiales a través de la erosión y transporte en escorrentías superficiales
- 3) Filtración y derrame de pozas de aguas residuales.
- 4) Transporte de finos a las aguas superficiales por acción del viento.
- 5) Deterioro de las presas de pulpas, de relaves, particularmente durante tormentas.

Guía ambiental para el manejo de drenaje ácido de minas

El documento constituye una guía práctica para la predicción, control y evaluación del drenaje ácido de roca en las minas ubicadas en el Perú, por lo que da las pautas para el diseño de los sistemas de drenaje en los depósitos de relave.

Guía ambiental para el manejo de relaves mineros

Esta guía es fundamental para el diseño de depósitos de relaves ya que trata sobre el manejo de los relaves, aunque no indica una metodología exacta para su análisis y diseño, si da los lineamientos para esto.

Guía ambiental para vegetación de áreas disturbadas por la industria minero metalúrgica

El propósito de este documento es proporcionar lineamientos concisos, prácticos y fácilmente viables para desarrollar un plan de recuperación adecuado para áreas disturbadas por la industria minero-metalúrgica.

Guía ambiental para el cierre y abandono de minas

Esta guía aporta al diseño del cierre del depósito de relaves así como el comportamiento esperado luego del abandono de la mina.

Guía ambiental para el manejo de cianuro

Esta guía será útil si el material de relave llevase consigo cianuro que pusiera en peligro el medio ambiente.

Guía de manejo ambiental de reactivos y productos químicos

Por lo general los relaves no son inertes y, por tanto, debe de emplearse esta guía adicionalmente a las demás expuestas.

Guía de manejo ambiental para minería no metálica

Del conjunto de minerales producidos en el Perú, el volumen de producción de los minerales no metálicos excede largamente la de los minerales metálicos, no obstante su valor unitario es mucho más bajo, situación que es poco conocida en el país. Esta industria también produce relaves. Esta guía sirve para poder delinear el diseño de depósitos de relave en la industria de minería no metálica.

Guía ambiental para la estabilidad de taludes de depósitos de desechos sólidos de mina

El propósito principal de esta Guía es proporcionar una perspectiva general de los asuntos de estabilidad de taludes en el planeamiento, diseño, operación, mantenimiento, y cierre de los depósitos de desechos de mina.

1.3 Metodologías de diseño para depósitos de relave

Entre las metodologías existentes para depósitos de relave o que dentro de sus planes abarcan el diseño de depósito de relaves están:

1.3.1 metodología integrada para rehabilitar rellenos sanitarios y tranques de relave

En Chile se viene implementando una metodología multidisciplinaria, llevada a cabo por la Universidad Católica de Valparaíso, la Universidad de Cantabria, España, la Universidad de Calgary, Canadá y empresas particulares.



Imagen 1.2 Depósitos de relave Chile

En 1999, se inicia un proyecto de investigación denominado “Estudio Integrado para la Generación de Metodologías de Rehabilitación de Áreas Impactadas por el vertido de residuos sólidos”

La metodología que se empleará en el proyecto, está basada principalmente en un trabajo experimental consistente en ensayos de laboratorio y de campo, mas trabajos en prototipos a escala real, con el propósito de validar en terreno los resultados alcanzados preliminarmente. Se emplearán, además, algunas técnicas que se encuentran también en etapa de investigación en países desarrollados, para lo cual se trabajará con la colaboración de las prestigiosas Universidades de Calgary de Canadá y de Cantabria, en España. Con posterioridad al trabajo experimental se propondrán las soluciones encontradas que permiten comprobar la hipótesis, las que abarcarán propuestas del orden geotécnico, agronómico y forestal, y que serán evaluadas desde una perspectiva, social, económica y medioambiental.¹

1.3.2 Tecnología sostenida en la industria minera

“En este trabajo, se propone retornar los relaves y desechos de la producción minera a los espacios vacíos ocasionados por la extracción del mineral en el subsuelo, a un bajo costo y alta productividad”², convirtiendo a los socavones en depósitos mineros, dando a conocer una metodología para el diseño de este depósito.

“Con esta alternativa válida sólo para la explotación subterránea, se pretende iniciar una nueva etapa de la explotación de minas, tratando en lo

Universidad Católica de Valparaíso (2007) <http://icc.ucv.cl/fondef/fondefd00i1101/resena.htm>

² Toledo, Fernando E. (2003) *Tecnología sostenida en la industria minera*

posible de no alterar los espacios geográficos ocupados por la ganadería, la agricultura y la biodiversidad silvestre.”¹

Antecedentes

En 1964 la empresa americana Cerro de Pasco Corporation, indujo a la realización del proyecto de depositar parte del relave deshidratado como relleno de tajeos en la sección Sulfurosa de la mina Morococha. Anteriormente se había probado, sin éxito, la disposición de relaves como material de afirmado de la carretera Morococha a Tucto.

En 1969, después de haberse implantado con satisfacción el relleno hidráulico en la sección cuatro de la Mina Casapalca, la alta dirección de la empresa recomendó depositar los relaves en los antiguos tajeos explotados por el método de Shrinkage. Durante el año 1970, hubo serias dificultades para realizar exitosamente este trabajo, debido a la falta de información técnica de los procedimientos y la carencia de un buen asesoramiento profesional. Sin embargo, al iniciarse el año 1971, se logró rellenar el tajeo 19-M-241-247.

Objetivo

Replantear la alternativa de depositar los relaves en las cavidades dejadas por la extracción de mineral: tajeos, chimeneas y galerías antiguas, a fin de obtener una producción sostenida.

Hipótesis

El total de relave y escombros generado por un volumen de producción dado en unidad de tiempo, dejará un remanente en la cavidad originada por la misma producción y la misma unidad de tiempo, cuya cantidad estará en función de la dilución y las características mecánicas del material. Lograr producir el mineral con la mínima dilución permisible dará la posibilidad de depositar en el interior de la mina todo el relave generado por la producción.

Metodología de diseño y de la investigación

La investigación se efectuará iniciándose con las siguientes premisas para el análisis espacial de las cavidades originadas por la explosión:

¹ Idem.

- El peso del material extraído de las minas, menos el peso del mineral beneficiado, es igual al peso del relave.
- El peso del mineral beneficiado está en el rango del 5% al 10% del material extraído de la mina.
- El esponjamiento del volumen del mineral roto está en el rango del 30% al 50%, y la contracción de mineral reducido por molienda está en el rango del 15% al 20%.

El volumen del material extraído de la mina reducido por molienda, menos el volumen de los concentrados, es igual al volumen del relave que debe caber en las cavidades de la explotación

En el capítulo 4, "Engineering Fundamentals", de su libro "Construction Planning, Equipment and Methods", R. L. Peurifoy propone las siguientes fórmulas para efectuar el análisis espacial y las propiedades físicas de la tierra:

$$S_w = \left(\frac{B}{L} - 1 \right) \times 100 \quad \text{Ecuación 1.3.1}$$

$$S_h = \left(1 - \frac{B}{C} \right) \times 100 \quad \text{Ecuación 1.3.2}$$

Sea:

S_w = % esponjamiento (swell)

S_h = % contracción (Shrinkage)

B = Peso de la tierra inalterada = Mineral in situ

L = Peso de la tierra suelta = Mineral roto

C = Peso de la tierra compactada = Mineral molido

Diferencia entre el relleno hidráulico y el depósito de relaves

Relleno hidráulico

El Relleno Hidráulico es una alternativa para rellenar los tajos explotados por el método de Corte y Relleno; esta alternativa empleada en el Perú desde mediados de la década de los años 60, se introdujo con la finalidad de incrementar la productividad, mas no con fines ecológicos. El Relleno Hidráulico,

que es más eficiente que el Relleno Neumático, el Relleno Hidroneumático y el recientemente introducido Relleno en Pasta, fue el que en muchos casos reemplazó al Relleno Detrítico o Relleno Sólido transportado en carros mineros o en camiones, desde las canteras hasta los tajeos y a un costo mucho más elevado que los otros métodos de relleno que se efectúan transportando los sólidos en medios fluidos por tubería e impulsados por bombas.

El Relleno Hidráulico, así como cualquier método de relleno tiene dos fines primordiales: El primero es servir como piso de trabajo para efectuar la perforación, el disparo y el acarreo de mineral, y el segundo es servir de sostenimiento para que la mina no colapse debido al incremento de áreas abiertas.

La preparación para relleno y el relleno son parte de las etapas de minado, dentro del ciclo de explotación por el método de Corte y Relleno, ya sea ascendente o descendente. Estas actividades de preparación para relleno y el relleno ocupan del 30% al 40% de tiempo empleado dentro del ciclo.

Debido a la premura con que se deben ejecutar las actividades del ciclo de minado, el relleno debe cumplir ciertos requisitos de granulometría y velocidad de percolación o índice de permeabilidad.

El relleno hidráulico podría ser parte del relave desechado por la concentradora o cualquier material rocoso, aluvial o coluvial, sometido al proceso de chancado, tamizado, molienda y cicloneo.

Generalmente, se utiliza el relave desechado por la planta concentradora para ciclonear, a fin de pasar las arenillas del relave (superiores a la malla 200), las que caen a un tanque de agua donde es mezclado mediante un agitador. Esta mezcla de la arenilla del relave con el agua es el relleno hidráulico, el que es lanzado por una bomba de lodo reciprocante, a fin de ser transportado mediante una tubería de alta presión de doble capa, con la pared interior de acero de alta aleación, templado a 600 brinell de dureza. La potencia de la bomba y el diámetro de la tubería son calculados en función de las condiciones y requerimientos que se presenten particularmente en cada mina; asimismo, los costos de inversión y de operación obedecerán a parámetros particulares de cada caso.

Los finos del relave, resultantes del cicloneo, serán enviados a un depósito o cancha de relaves.

Depósito subterráneo de relaves

Los potenciales depósitos subterráneos pueden ser todos los tajeos terminados o vaciados del mineral roto, siempre que previamente hayan sido planificados y preparados con este fin. Los métodos de explotación de tajeos abiertos o de Corte y Reducción ("Shinkage") son ideales para depositar los relaves. También yacimientos explotados por Corte y Relleno se podrían rediseñar a fin de extraer el mineral por tajadas verticales, ya sea arrancando el mineral con rozadora, cizalladora o con voladura controlada, con la finalidad de extraer el mineral sin dañar las rocas encajonantes, dejando las cámaras abiertas y aptas para depositar el relave. Los tajeos siempre quedarían rellenos, de manera que esta etapa esté totalmente desligada del ciclo de minado y el relave sería enviado a la mina, tal como es desechado de la planta concentradora. Si los tajeos por rellenar estuvieran en la misma cota o por encima de la cota de las celdas de flotación, siempre será necesario bombear el relave a los depósitos subterráneos; en caso contrario, el relave bajaría por gravedad. Cada caso de explotación requerirá de un diseño particular para preparar los tajeos terminados como depósitos de relaves.

Criterios para la selección y diseño de los métodos de explotación con visión productiva y ecológica

Obsolescencia de los métodos y sistemas de minado

La explotación superficial a Cielo Abierto ("Open Pitt") a gran escala, con movimiento de decenas de miles de toneladas de escombros debe estar proscrita de la faz de la tierra, por ser el más desequilibrante y contaminador. La revista "National Geographyc" del mes de marzo del año 2000 hace un reportaje sobre el efecto contaminador y el impacto ambiental producido por la explotación de minas a Cielo Abierto en los estados de florecimiento minero de los Estados Unidos de América del Norte. Faltarían páginas y líneas para describir el efecto dañino que están causando las secuelas de explotación de minas que cerraron en la década de los años 50. El sistema de minado subterráneo por rampas sería la alternativa más viable para reemplazar el Open Pitt, siempre que el diseño no mengüe la recuperación, la productividad y el equilibrio ecológico.

Hay métodos subterráneos como el Hundimiento por Bloques ("Block Caving"), Hundimiento por Subniveles ("Sublevel Caving"), inclusive los Cortes y Rellenos, tanto ascendente como descendente, así como el Arche back, que

deben de considerarse obsoletos, por su baja recuperación, baja productividad e incapacidad de depositar los desechos.

Ninguno de los métodos de explotación aplicados en la minería subterránea nacional deben considerarse aptos para aplicarse en una industria minera limpia, de alta productividad y con bajos costos de producción.

Significado de alta productividad y producción limpia

Todas las industrias del mundo están moralmente obligadas a obtener una producción limpia y de alta productividad para ser competitivos en el mundo globalizado.

Las puertas de nuestro país deben abrirse sin restricciones de orden político o tributario, bajo la sola condición del cumplimiento de los postulados de la Declaración de Río de Janeiro.

La industria minera nacional no solo ha quedado estancada en su desarrollo, sino que ha retrocedido. En la actualidad no tenemos ninguna mina que ejecute 120 m al mes en un solo frente de galería; tampoco es común correr de 60 m./mes en chimeneas de un compartimiento, ambos desarrollos con perforadoras manuales y equipo convencional. Asimismo, ya no se obtiene eficiencia de tajeo con 20 t/tarea en yacimientos filoneados y con equipo convencional. Sin embargo, los países desarrollados nos ofrecen equipos de perforación y acarreo operados a control remoto, e insumos con los que podemos alcanzar niveles insospechados de productividad, sin necesidad de contaminar el medio ambiente.

La interpretación que los abogados, los ingenieros sin iniciativa y creatividad, y los gobernantes peruanos han dado a la preocupación mundial sobre el destino de la tierra, es la de remediación del medio ambiente. Se remedia un mal, se cura un enfermo. Si se aplica medicina preventiva y se evita la enfermedad se ahorrará dinero. Si la explotación minera se diseña y se planifica, el minado con mentalidad ecologista y productiva se dejará de gastar en remediación y se ahorrará mucho dinero.

La remediación ambiental es un SOBRE COSTO en cualquier industria. Todo lo que se haga para remediar el medio ambiente en el Perú SERÁ UN FRACASO mientras los sistemas y métodos de trabajo sean obsoletos. Esta afirmación se sustenta en la publicación hecha por National Geographic en marzo del 2000, en su número dedicado a la contaminación ambiental producida

por la minería en los Estados Unidos; dice: "No se ha avanzado mucho en la remediación del medio ambiente, pese a las sumas elevadas de dinero gastadas y la preocupación de los gobiernos federal y estatal. Hay minas cerradas en la década de los cincuenta que actualmente están produciendo secuelas de muerte y destrucción en los espacios geográficos".

La solución al problema de la productividad y del medio ambiente está en el diseño de mina y el planeamiento de minado en que ambos sean creativos y dinámicos, estimulado por la competencia profesional.

Alta productividad significa extraer el mineral (con el mínimo de desmonte), empleando la menor cantidad de insumos (cuidando que no se produzcan desperdicios ni robos), dotando a los trabajadores de óptimas condiciones ambientales de trabajo: con buena ventilación, alumbrado y temperaturas adecuadas para el trabajo eficiente. Aplicando la dirección científica del trabajo, para la motivación y el estímulo laboral.

Obtener una producción minera limpia significa no llenar la superficie de la tierra con los escombros y los relaves ni derramarlos a los ríos y lagos.

Pautas para diseñar métodos de minado

En los libros editados en la década de los sesenta, los autores recomendaban estudiar las características mecánicas, forma y composición, tanto del relleno mineralizado como el de los hastiales; sin embargo, en muchas minas estas condiciones son relativas si no se trabaja con un planeamiento de minado racional, en la que se involucre la ventilación, el drenaje y el relleno de áreas abiertas.

Como antecedente y ejemplos de pésimos diseños y planeamientos de minado deficientes se pudieron observar en la década de los ochenta en Cerro de Pasco y San Juan de Lucanas donde la falta de ventilación producía derrumbes. En Morococha, San Cristóbal, Cerro de Pasco y Cobriza el drenaje deficiente causaba también derrumbes.

En Casapalca y la sección sulfurosa de Morococha se originan explosiones de los hastiales.

La inestabilidad de las rocas es la consecuencia de un planeamiento de minado inadecuado; cualquier estudio de "Geotecnia" no dará resultados, si los operadores no planifican. Casapalca tiene el relleno mineralizado y las rocas encajonantes más duras y tenaces del mundo; Sin embargo, se produjeron

explosiones de los hastiales debido a la extracción desmedida, desordenada e irracional de los bloques de mineral.

Teniendo en cuenta que un buen planeamiento involucra la ventilación, el drenaje y el relleno de labores, para obtener ahorros significativos en sostenimiento, remediación del medio ambiente, seguridad contra accidentes, entrapamiento de mineral (mineral inaccesible) y bajos costos por alta productividad, los métodos deben ser diseñados de manera que en todos los tajeos se viertan los desechos y el relave. Pero el relleno debe estar separado y desligado de los demás pasos del ciclo; o sea, los ciclos deben encerrar sólo la perforación, la voladura y el acarreo del mineral, dejándose para el final de la explotación el relleno de los tajeos terminados. Sin embargo, la preparación para el relleno se debe planificar y ejecutar junto con la preparación para la explotación, a fin de no tener posteriores dificultades y problemas de fuga de agua y del relave.

Parámetros y costos referenciales para depositar los relaves en tajeos terminados por el método de shrinkage

Estos parámetros están referidos a la mina Casapalca (Yauliyacu): producción de mina: 3 270 t/día, generación de relave: 3 022 t/día, 126 t/hora, gravedad específica: 2,40, densidad de relave 123 g/l, contenido de sólidos en el relave: 30%. Granulometría: malla 35 = 1,70%, de malla 48 a + 400 = 84,10%, malla - 400 = 14, 20%. Tablas 1, 2, 3, 4, 5, 6

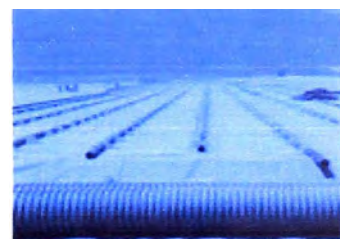
Espacio vacío del tajeo: 1,20 m X 50 m X 110 = 6 600 m³.

Tiempo de rellenado de cada tajeo: 126 horas = 5 días

1.4 Geosintéticos disponibles en el país

En el Perú existe una gran cantidad de geosintéticos disponibles, así como de empresas que las comercializan, entre los geosintéticos que pueden intervenir en el diseño de depósitos de relave se encuentran:

- **Tuberías corrugadas de polietileno de alta densidad:** A través de los años han logrado, ser consideradas como la alternativa más eficiente, desde el punto de vista técnico y económico, por su alto



desempeño demostrado en aplicaciones de conducción de fluidos por gravedad en obras de drenaje en diversas aplicaciones en minería.

- **Geomembranas:** Son geosintéticos de muy baja permeabilidad en relación con los materiales naturales que pueden ser usados para la contención de desechos líquidos o sólidos



Imagen 1.3 Patio de lixiviación, Alto Chicama, Perú

- **Gaviones:** Son elementos modulares, fabricados con malla hexagonal a doble torsión, reforzados en los bordes con alambre más grueso, y divididos en celdas mediante diafragmas colocados a cada metro. Al ser rellenos con piedras, forman estructuras flexibles, monolíticas, permeables y armadas, que encuentran una adecuada aplicación en distintas áreas.



Imagen 1.4 Sistema Terramesh, Cajamarca, Perú.

- **Geocompuestos de drenaje:** Los revestimientos de arcilla geosintética (GCL) son barreras hidráulicas usadas para detener el movimiento de líquidos. Formado por una capa de arcilla bentonítica (del tipo montmorillonita, la de mayor superficie específica, mayor actividad y mayor avidez de agua entre las arcillas naturales) entre dos geotextiles.



- **Geotextiles no tejidos:** formados por fibras o filamentos orientados aleatoriamente, ínter ligados por procesos mecánicos, térmicos o químicos. Pueden cumplir las funciones de drenaje o proteger a la geomembrana del hincado por las imperfecciones de la superficie de asentamiento.



- **Mantas para control de erosión:** Estas mantas han sido diseñadas para una serie específica de aplicaciones de control de erosión y vegetación. Que son problemas a tratar en un proyecto de depósitos de relave.



Imagen 1.5 Revestimiento de taludes, Cajamarca, Perú

Las especificaciones técnicas de los geosintéticos se encuentran normadas, sin embargo, sus valores no son únicos, fluctúan en los rangos establecidos por las normas; sus características exactas dependen de las empresas productoras. Para los diseñadores es necesario conocer exactamente sus características. Estos valores se entregan al usuario a través de especificaciones técnicas del propio material, por intermedio de las empresas que los comercializan, entre las empresas que podemos encontrar en el país están:

- PAVCO-AMANCO
- Maccaferri
- TDM
- Andex

Las especificaciones técnicas para los productos que estas empresas comercializan que son usados en depósitos de relave se adjuntan en el Anexo 4.2.

1.5 Soluciones planteadas en el país

En el Perú existen alrededor de 176 minas metálicas en operación, Siete de ellas se clasifican como minas grandes, las cuales producen mas de 5000 t/día.

Se desconoce el número de componentes de minas inactivos tales como bocaminas, tajos abiertos, botaderos de desmonte, depósitos de relaves, pilas de lixiviación o áreas de procesamiento asociadas con minas activas o inactivas. Pero se asume que el 100 % de las minas arrojan relave, por lo que necesitan un diseño de depósitos de relave.

Usualmente, los concentrados producidos en estas minas se procesan o refinan en una fundición distante nacional o extranjera. Actualmente existen 9 plantas metalúrgicas que operan en el Perú y que producen cobre, plomo, zinc, plata y cantidades menores de otros metales terminados. Además, existen cerca de 100 minas no metálicas, principalmente medianas y pequeñas productoras de caliza, arcilla y Sílice.

Capítulo II

Estudios Básicos

2.1 Topografía

El primer estudio a realizar para toda obra de ingeniería civil como es el caso del diseño de un depósito de relaves es el estudio topográfico.

Los pasos a realizar en este estudio son:

Primero, realizar una visita de campo que de una visión general de todos los demás estudios básicos, principalmente, que permita obtener de manera general las características topográficas de la zona de estudio, lo que permitirá delinear el plan de los estudios básicos, los análisis a realizar y plantear el marco del diseño.

Seguidamente, teniendo un plan general para el estudio topográfico se procede a la ubicación de los puntos geodésicos base, definiendo un elipsoide y un tipo de proyección al plano lo que lleva consigo transformaciones y correcciones en los valores, para a partir de ellos realizar un levantamiento topográfico.

Posteriormente, teniendo el diseño terminado se procede al replanteo de campo ya iniciada la obra, lo que puede llevar a un nuevo análisis y a algún cambio en el diseño.



Imagen 2.1 Trabajos topográficos.

En el ejemplo práctico se llevaron a cabo todos los pasos descritos anteriormente, con la salvedad que se nos proporcionó el levantamiento aerofotogramétrico (gracias al apoyo del departamento de topografía y vías de transportes), al cual se le tuvo que corregir la altitud para llevar de una cota geodésica a una cota topográfica.

Se obtuvo la corrección de las cotas geodésicas a cotas topográficas desde el BM ubicado en el departamento de Topografía, con el uso de un nivel marca Wild, los datos obtenidos y la corrección es la siguiente:

Tabla 2.1.1 Corrección de nivel

PTO	COTA TOPOGRÁFICA	MEDIDA	ΔH	COTA GEODÉSICA	CORRECCIÓN
BM	108.225	1.12			
1	107.793	1.522	0.432	99.88	7.913
BM	108.225	1.114	-0.438		

Esta corrección se muestra como referencia, dado que para los demás trabajos se utilizaron las cotas geodésicas. Las cotas que se muestran en todo el informe, planos, etcétera; se refieren a cotas geodésicas.

La ubicación de la obra puede observarse en el plano de ubicación ([PR-UB-01](#)).

Luego del procesamiento de datos y el diseño, la topografía de la obra fue dibujada en el plano de topografía ([PR-TO-01](#)).

Se tuvo que replantear en campo los puntos de la poza, para lo cual se empleó una estación total. El siguiente cuadro muestra las coordenadas de la poza de Relaves

Tabla 2.1.2 Replanteo de los vértices superiores del depósito de relaves.

PTO	ESTE	NORTE	COTA
1	277 121.34	8 670 519.58	108
2	277 118.24	8 670 514.44	108
3	277 114.49	8 670 523.71	108
4	277 111.39	8 670 518.58	108

Luego de replantear los ejes de la obra se procedió a nivelar las superficies con el uso de un nivel Topográfico.

2.2 Geología

La geología es la ciencia que estudia el comportamiento de la materia sólida de la tierra. La realización de este estudio nos permite conocer el comportamiento general del suelo dentro del cual se está diseñando la obra. El estudio geológico nos proporciona los principales fenómenos físicos y químicos con los que tendrá que interactuar la obra a diseñar.

Dado que consta de muchos puntos a tratar, el estudio geológico se divide en varios estudios para puntos específicos:

Geomorfología: La geomorfología es una ciencia derivada de la geología y la geografía, que estudia el relieve terrestre y su evolución en el tiempo.

Historia Geológica: Refleja los acontecimientos más importantes, que han marcado las características geológicas y son las causas de los fenómenos geológicos más importantes hoy en día.

Estratigrafía y Litología: Estudia las dimensiones, como el material de que se componen los diferentes estratos del suelo.

Estructuras Tectónicas: Estudia el comportamiento mecánico y las características que influyen en este como forma y orientación de los estratos y fallas existentes.

Los fenómenos geológicos pueden tener una influencia regional o local por lo que los estudios se agrupan en estudios de geología regional y los estudios de geología local.

Para la zona en donde se diseñará el depósito de relaves los estudios geológicos describen lo siguiente:

2.2.1 Geología General

Geomorfología General

Chacón (en INGEMMET, 1995) plantea que el rasgo orográfico más prominente del Perú es la Cordillera Occidental conformando la divisoria continental entre las cuencas hidrográficas del Pacífico y Atlántico.

Por otro lado, la Cordillera de los Andes determina en el territorio peruano diferentes unidades geomorfológicas propias del medio continental y marino. En el área de estudio encontramos una unidad geomorfológica en el ámbito continental: la Llanura Preandina, ubicada en la faja costanera, la cual se encuentra ubicada entre la Cordillera de la Costa y la Cordillera Occidental.

Consiste en una estrecha franja costanera entre 20-100 km de ancho, y elevaciones entre los 50-1 500 m. Presenta relieves moderados y un clima desértico. Su formación está ligada al levantamiento de la Cordillera de los Andes durante el Cenozoico, hace 64 millones de años. Esta área estuvo sumergida desde hace 570 millones de años, durante el Paleozoico, hasta 1 millón de años, durante parte del Cuaternario. En su base, se encuentran rocas sedimentarias cretáceas, depositadas en el geosinclinal andino.

El geosinclinal se refiere a cualquier depresión de la corteza terrestre, que durante largos períodos ha sufrido un continuo hundimiento, y ha sido asiento de una importante sedimentación, dando como resultado la formación de rocas sedimentarias. Estas rocas se encuentran cubiertas por depósitos cuaternarios eólicos y aluviales. El material eólico provino del mar y el aluvial de los ríos que drenan la Cordillera Occidental y vierten sus aguas en el Océano Pacífico.

Por otro lado, Palacios et al. (1992) indican que estos rasgos geomorfológicos son el resultado del proceso tectónico (que involucra la deformación de las rocas y las estructuras que se originan) y el proceso plutónico (rocas formadas por la acción de altas temperaturas), además de los procesos de geodinámica, que han modelado el rasgo morfoestructural de la región.

Historia Geológica

La historia geológica del área refleja los acontecimientos más importantes de la orogenia andina en el centro del país, la cual está ligada a la evolución del geosinclinal andino. Se considera que durante casi todo el Mesozoico la región habría constituido parte del geosinclinal andino; que por ese entonces era un fondo marino, en el que se acumulaban gruesas capas de sedimentos intercalados con emisiones volcánicas submarinas. El inicio de la orogenia andina, a finales del Cretácico, eleva a posiciones continentales los volúmenes volcánicos sedimentarios mesozoicos.

Paralelamente, y hasta períodos del Terciario, ocurrió la intrusión del gigantesco batolito costanero. La cuenca baja de los ríos que cruzan el área, está asentada sobre rocas de origen ígneo y sedimentario, cuyas edades corresponden al Jurásico y Cretáceo Inferior. En este período de tiempo ocurrieron intensas actividades volcánicas, con levantamientos y hundimientos

sucesivos del nivel del mar, dando lugar a la deposición de cuerpos lávicos con intercalaciones de lutitas y calizas; Producto de dicha actividad resultó las formaciones Santa Rosa, Puente Inga, Ventanilla, Cerro blanco, entre otros. Consecutivamente, en un ambiente de mar profundo, se depositaron sedimentos calcáreos que dieron origen a las formaciones Marcavilca, Pamplona y Atocongo.

Durante el Cretáceo superior, se inicia el levantamiento de la Cordillera Occidental de los Andes, acompañado de intensa actividad magmática y volcánica, que deformó la secuencia rocosa, formando la estructura conocida como el "anticlinal de Lima".

A fines del Terciario, al retirarse los mares, emergen las áreas continentales, que constituyeron los primitivos suelos de Lima. Durante el Cuaternario, el retiro de los mares y el aporte de sedimentos por los principales ríos, favorecieron a la formación de las terrazas aluviales sobre la cual se funda la ciudad de Lima.

En tiempos presentes se observa una etapa de aparente equilibrio entre los procesos erosivos y acumulativos.

Estratigrafía y Litología General

Rocas Volcánico Sedimentarias

Formación Marcavilca (Ki-m)

Esta formación está constituida por areniscas cuarcíticas de grano fino a medio, con algunas intercalaciones de lutitas arenosas. Los afloramientos ocurren en los alrededores de la Universidad Nacional de Ingeniería y en forma de pequeñas colinas hasta las márgenes orientales.

Depósitos Cuaternarios.

En la zona urbana de Lima-Callao, los depósitos cuaternarios presentan amplia propagación en superficie, presentando diferencias en su origen, edad, composición y espesor; por lo general su espesor tiene grandes variaciones de un sector a otro, en la zona precordillerana está limitado a espesores menores a 1m, mientras que en la zona de planicies costeras y conos de deyección los espesores varían entre 20 y más de 200 m. Estos depósitos son los más importantes del área de estudio, por que en ellos se emplazara el nuevo depósito de relaves para la Planta Piloto UNI. Entre estos depósitos se tiene:

Depósitos aluviales (Q-al)

Estos constituidos por cantos rodados y gravas, de forma heterogénea, con relleno arenoso limoso. Ocupan el cauce actual de los ríos y terrazas anegadizas. También zonas de planicies costeras y antiguos conos de deyección sobre la que se emplaza la gran Lima corresponden a suelos de origen aluvial

Estructuras Tectónicas

Plegamientos

Los macizos volcánico-sedimentarios que constituyen el basamento rocoso del territorio en estudio, están afectados por un gran plegamiento conocido como el "anticlinal de Lima", cuyo eje pasa por la ciudad de Lima, que es de gran extensión extendiéndose desde el Morro Solar en Chorrillos, playas Conchan y La Campiña, hasta el Cerro Ancón.

Los buzamientos o inclinaciones de los estratos a causa de los pliegues varían entre 20° a 50°, en ningún caso fueron observados procesos de desestabilización a causa de la inclinación de los estratos.

Fallas Tectónicas

En los estudios Geológicos que involucran el suelo de la gran Lima, figuran lineamientos de falla que afectan a las rocas intrusivas y Volcano-sedimentarias. Si bien en campo se observan señales de dislocación, estas datan de tiempos geológicos muy antiguos y actualmente son estables, no presentan ningún peligro por lo tanto no son activas.

La inexistencia de fallas activas se corrobora por que el Instituto Geofísico no ha registrado ni documentado los hipocentros sísmicos en estos lugares y tampoco se tienen evidencias de señales de movimientos tectónicos traducidos en la ruptura de pavimentos, rajadura de obras civiles, hundimiento de suelos, rotura de los conductos de agua y desagüe, entre otros desastres.

La literatura técnica especializada también ignora la existencia de las supuestas fallas activas debido a que no se disponen evidencias de su existencia.

Fallas Neotectónicas

Del documento titulado "Observaciones acerca de la Neotectónica del Perú" (1982), elaborado por el Instituto Geofísico del Perú, se desprende que en el ámbito del área de estudio no fueron registradas fallas activas. Durante los recorridos de levantamiento geológico, tampoco fueron identificadas estructuras

de falla que acusen movimientos recientes. Con las evidencias antes señaladas se descarta las influencias de estructuras neotectónicas en las áreas bajo estudio.

2.2.2 Geología Local

Geomorfología Local

En la zona donde se emplazará el depósito de relaves encontramos dos contactos geológicos, uno de ellos formado por material de Relave y material de Relleno, y el otro contacto se da entre material de Relleno y Roca Lutita Pizarrosa. El material de Relave encontrado es seco, debido a la antigüedad en la que fue depositado se encuentra algo compacto; el Material de Relleno compuesto por botonería de roca de formas que van de angulosa a sub-redondeada con material limoso y presencia de paja, y la roca lutita pizarrosa se encuentra fracturada, de baja resistencia, color negrusco y moderadamente meteorizada. (Ver Imagen 2.2 e Imagen 2.3)

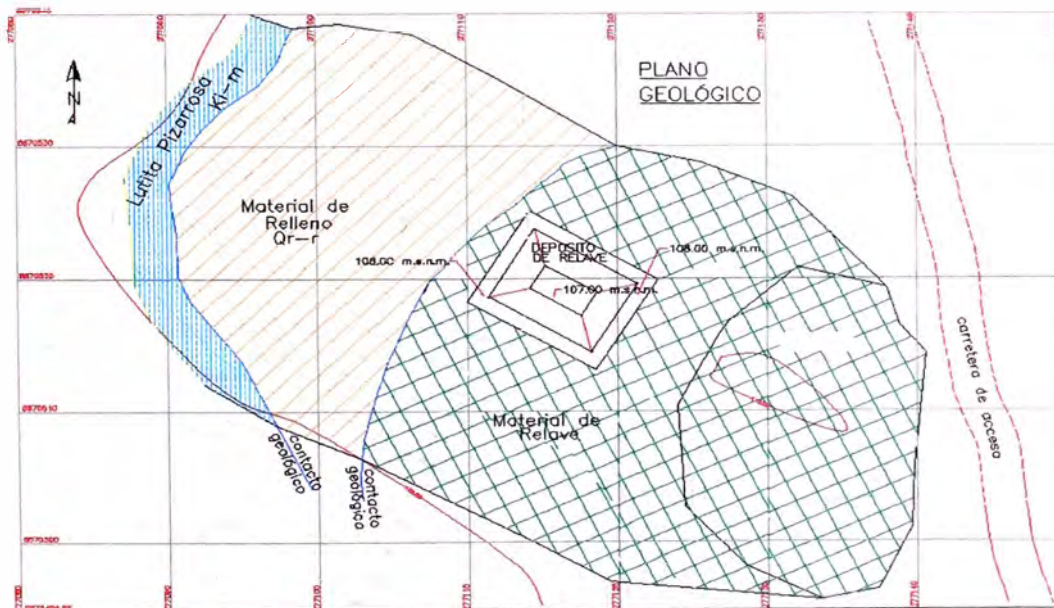


Imagen 2.2 Plano Geológico de la zona donde se ubicará el depósito de relave



Imagen 2.3 Vista de los contactos geológicos en la zona donde se ubicará el depósito de relaves

Estratigrafía y Litología Local

En el área de estudio se ha podido diferenciar unidades lito-estratigráficas representado por el Grupo Morro Solar, y dentro de las Formaciones de este Grupo nos encontramos en la Formación Marcavilca. En los alrededores donde se ubicará el depósito de relaves encontramos contactos geológicos ente rocas intrusivas como la gabro diorita, mostrándose con formas de puntas ubicada en la parte superior del cerro; y seguidamente encontramos rocas sedimentarias como la arenisca, también en las laderas del cerro encontramos material de relleno superficialmente (Ver Figura 4.3)



Imagen 2.4 Estratigrafía local

2.3 Geotecnia

Estudia el comportamiento mecánico de los materiales del terreno donde se sustenta la obra, por lo que se considera un estudio a menor escala y a mayor detalle que el estudio geológico, pero que se complementa para conocer el comportamiento del suelo.

El estudio geotécnico debe incluir investigaciones del subsuelo existente con la finalidad de conocer las condiciones y materiales presentes, calcular los riesgos a que se verán sometidos los depósitos de relave a construir. Además, el estudio geotécnico debe incluir un monitoreo permanente de las condiciones del suelo.



Imagen 2.5 Foto del ensayo DPL-03.

Para el diseño del depósito de relaves que se utiliza como caso práctico se realizaron:

- 3 calicatas, que se hicieron un muestreo y se realizaron las clasificaciones de los respectivos estratos hallados. Además de obtener sus propiedades de densidad natural y seca, granulometría además del ángulo de fricción junto con el coeficiente de cohesión por medio de ensayos de corte directo sobre las muestra obtenidas de las calicatas.
- 3 ensayos de DPL (el tercero de estos ensayos puede observarse en la Imagen 2.5).

- Caracterización al material de relave que se iba a depositar.

El estudio geotécnico del caso práctico se muestra en el Anexo 2.3.1.

“El ensayo penetrómetro dinámico ligero es uno de los ensayos geotécnicos in situ más antiguos y conocidos. El mismo consiste en la determinación de la resistencia que puede ofrecer un terreno a la penetración por golpeo de una punta cónica metálica situada a la extremidad de un asta de acero. Su amplia difusión se debe, fundamentalmente, igual que para el ensayo SPT, a la simplicidad de su realización.

Los resultados obtenidos con el ensayo deben ser analizados con atención, por cuanto pueden resultar muy influenciados por el modo de ejecución. Al ser los modos de ejecución del ensayo tan numerosos como lo son los tipos de equipos existentes, los datos geotécnicos obtenidos a partir de la interpretación del ensayo DPL no son aceptados internacionalmente. Los resultados suelen correlacionarse con los resultados de otros ensayos in situ, y en particular con el ensayo SPT mediante la transformación de los datos de N_{DPL} a N_{SPT} .¹

2.4 Hidrología

Dentro de los análisis y diseños en las obras que conforman un depósito de relaves, se debe tomar en cuenta la variación en el contenido de humedad de los materiales que conforman estructuralmente el depósito de relaves como del relave en sí mismo, el almacenamiento de agua que pueden producirse debido a las precipitaciones, como de los flujos producidos por la escorrentía de las quebradas dentro de la zona donde se plantea construir las obras. Debido a esto es que uno de los estudios principales a realizar es el estudio Hidrológico.

La precipitación pluvial en el país es muy variada. La precipitación pluvial mensual puede oscilar entre 2mm en la región costera hasta 460 mm en las regiones selváticas. En la zona montañosa, las precipitaciones pueden variar entre 0 mm a más de 100 mm en un año. Esta variación produce diseños muy variados en cada zona por lo que los diseños en las diversas partes del país serán muy diferentes entre sí, por esto es importante para cada región realizar un estudio hidrológico y diseñar respecto a este punto, dado que una solución planteada para un depósito de relaves en alguna zona del país no soluciona las

¹ Manual INSITU 32 software

demandas hidrológicas que el diseño de un depósito debe satisfacer en otra zona del país.

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

2.4.1 Climatología

Lima es considerada como la mayor ciudad desértica del mundo después de El Cairo. Los vientos del Sur modelan los cerros áridos de pocas alturas que enmarcan la ciudad. El clima se caracteriza por dos estaciones marcadas: el invierno y el verano. En los meses del invierno, de mayo a noviembre, las temperaturas oscilan entre 14 °C y 18 °C. Aunque el clima invernal parece suave, la alta humedad atmosférica produce una sensación mayor de frío y el litoral de la ciudad metropolitana se caracteriza por una constante nubosidad y por la ocurrencia de lloviznas ligeras (garúas) durante el invierno. A pesar de la alta humedad atmosférica, las lluvias son escasas, teniendo un promedio de 0 a 10 mm al año¹. A diferencia del invierno, el clima de verano, entre los meses de diciembre y abril, es soleado y agradable, con cielos predominantemente despejados: la humedad atmosférica disminuye y las temperaturas oscilan entre 20 °C y 28°C

Son varios los factores que afectan el clima de la ciudad: las aguas frías de la Corriente Peruana impiden la formación de nubes y consecuentemente limitan las precipitaciones; la estabilidad atmosférica de la costa que se manifiesta mediante la configuración de una capa de inversión térmica, que fluctúa entre los 300 y 600 metros en verano y entre los 700 y 1500 metros de altitud en invierno, que limita los movimientos ascendentes de masas de aire; y la Cordillera de los Andes que actúa como una muralla que impide el paso de la humedad y de las nubes a la vertiente oriental de la Cordillera, ver Imagen 2.6.

¹ SENAMHI

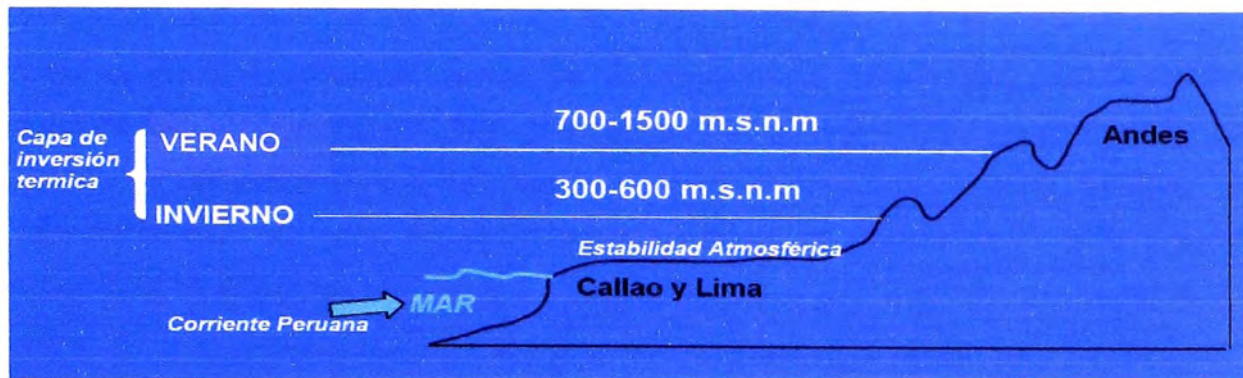


Imagen 2.6 Principales factores que condicionan la ausencia de lluvias en Lima y Callao

2.4.2 Precipitaciones

De la Tabla II.1 del Anexo II: Estudios Básicos, podemos calcular que la precipitación media anual sobre el área de estudio es de 17.8 mm, mientras que la precipitación media mensual para los diferentes meses puede observarse en la Imagen 2.7, variando desde 0.2 mm en abril hasta 2.9 mm en agosto, se observa que en casi todos los meses llueve mas de 0.5 mm y que las precipitaciones están bien definidas en invierno mientras que en verano la ocurrencia de estas es errática.

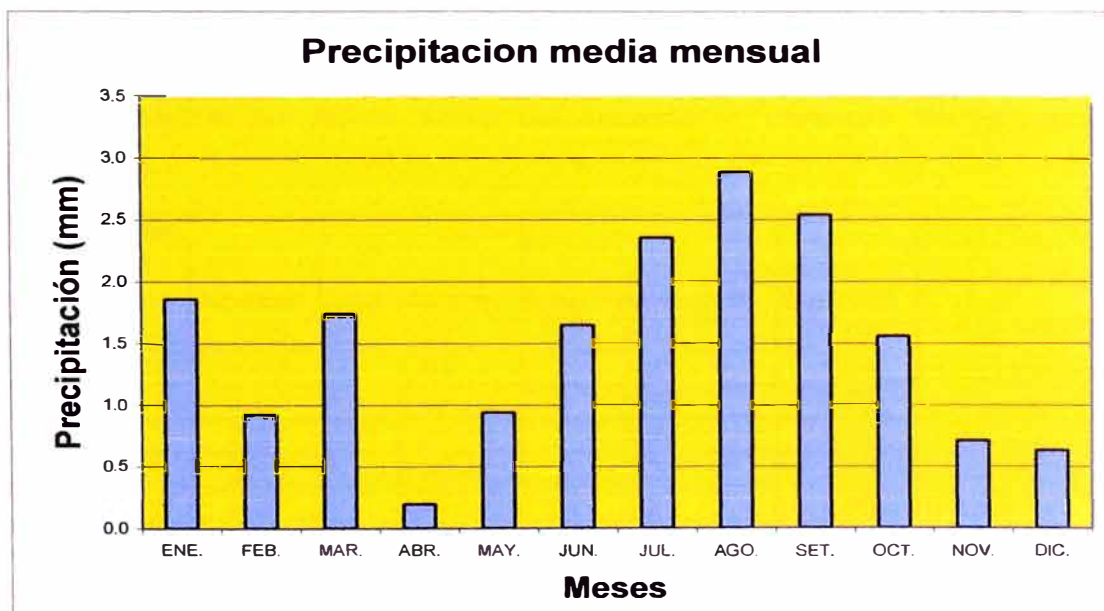


Imagen 2.7 Grafico del promedio de precipitación mensual en Lima

Para el calculo de eventos extremos, la información que deberá usarse es la precipitación pluvial máxima en 24 horas de las estaciones cercanas, que representen las lluvias que pueden producirse en la zona de estudio. Se

entiende como precipitación pluvial máxima en 24 horas, a la precipitación pluvial máxima diaria ocurrida en un día dentro de un año determinado. Para nuestro caso de estudio hemos utilizado la estación climatológica Modelo por ser la más cercana y ser representativa de los posibles eventos en la zona de estudio. Las características de esta estación se presentan en Tabla 2.4.1 y los datos obtenidos se adjuntan en el 0.

Tabla 2.4.1 Características de la estación Modelo

Código de Estación	MODELO / 006617 / DRE-04
Ubicación	LIMA / LIMA / JESUS MARIA
Latitud	12° 04' S
Longitud	77° 02' W
Cota (m.s.n.m.)	120

Con esta información se procede al análisis de frecuencia de avenidas y caudales instantáneos. Las más usuales distribuciones de frecuencia usadas en el tratamiento de la precipitación y caudales son:

- Distribución Normal (N).
- Distribución Gumbel (EV1).
- Distribución Log normal de 2 Parámetros (LN).
- Distribución Log normal de 3 Parámetros (3LN).
- Distribución Log Pearson III (LP3).

Al aplicar las distribuciones anteriores a la muestra de datos de la estación Modelo se obtuvieron los resultados que se muestran en la Tabla 2.4..

Tabla 2.4.2 Precipitación en la zona de acuerdo a diversas distribuciones estadísticas (mm)

Periodo de retorno (años)	Normal	Log-Normal	Log-Pearson III	Gumbel
2	1.16	1.09	1.10	1.07
5	1.63	1.61	1.61	1.64
10	1.87	1.92	1.92	2.02
20	2.07	2.21	2.20	2.38
25	2.13	2.30	2.29	2.50
50	2.30	2.57	2.55	2.85
100	2.45	2.83	2.80	3.20
500	2.76	3.43	3.36	4.01
1000	2.88	3.68	3.59	4.36

Para determinar cuál de las distribuciones estudiadas se adapta mejor a la información histórica, se tienen diferentes métodos:

- Análisis gráfico.
- Método del error cuadrático mínimo.
- Prueba de Kolmogorov – Smirnov.

- Prueba de Chi – Cuadrado χ^2

Utilizando la prueba de Chi-Cuadrado en la distribución Normal y Log-Normal nos da la confiabilidad para usar estas distribuciones en el proyecto. Al aplicar la Prueba de Kolmogrov-Smirnov, nos arroja que distribución se ajusta mas a los eventos producidos que son los datos iniciales que han sido usados para hallar los parámetros de las diferentes distribuciones. Para los datos en la estación modelo, la prueba de Kolmogrov-Smirnov nos indica que la distribución que mejor se ajusta es la Gumbel.

Finalmente es necesario realizar un análisis de Intensidad-Duración-Frecuencia. Para nuestro caso hemos aplicado una distribución de precipitación en el tiempo por el método del NRCS (SCS), se aplico la distribución tipo I que se usa generalmente en climas desérticos como es la zona del depósito de relaves. La duración que se debe usar debe ser mayor a 10 minutos. Los cálculos realizados se hicieron con una duración mínima de tormenta de 15 minutos, duración que será usada dado que es impreciso calcular intensidades para duraciones menores. Para esta duración los resultados se muestran en la Tabla 2.4.3

La información empleada para el estudio de hidrología se encuentra en el 0.

Tabla 2.4.3 Intensidad de precipitación de diseño

Periodo de Retorno (años)	Intensidad de Precipitación (mm/h)
2	0.644
10	1.236
25	1.496
50	1.708
100	1.919

El periodo de retorno de diseño debe de estar entre 50 y 100 años¹, por ser una presa pequeña con poca probabilidad de pérdida de vidas. Con este criterio hemos utilizado el periodo de retorno de 50 años para el diseño de operabilidad de la presa y el periodo de retorno de 100 años para el diseño de seguridad.

¹ Chow, Ven Te (1994) *Hidrología Aplicada*, pagina 430

2.4.3 Caudales

Para la determinación de caudales es necesario realizar un modelo precipitación-escorrentía, existe en la literatura muchos modelos que se acoplan de acuerdo al tipo y cantidad de información disponible, así como al comportamiento de la cuenca en si.

Para todos los modelos precipitación-escorrentía es necesario determinar el área de la cuenca. Como se muestra en el plano [PR-DR-01](#) la cuenca delimitada posee un área de 390 m² y una longitud de cauce máximo de 26 m, esta cuenca varia desde los 110 m.s.n.m. como cota máxima hasta los 108 m.s.n.m. como cota de descarga en el depósito, por lo que la pendiente promedio de la cuenca es de 7.7 %.

En el ejemplo tratado, que es el depósito de relaves que se ha venido construyendo en la universidad, no existen flujos permanentes, la cuenca a considerar es pequeña, por lo que se ha utilizado el método racional (Ecuación 2.4.1) como modelo de la precipitación-escorrentía.

$$Q = C \cdot i \cdot A \qquad \text{Ecuación 2.4.1}$$

En donde:

- C = Coeficiente de escorrentía.
i = Intensidad de lluvia para la duración y periodo de retorno determinado.
A = Área de la cuenca.

El método racional considera la infiltración y el transito de la onda de avenida dentro del coeficiente de escorrentía, para determinar este valor sabiendo que debe representar el fenómeno de infiltración y las características de la cuenca en el modelo precipitación escorrentía, se recomienda usar el método de Texas, que proporciona valores sobre la base de la experiencia para las características de la cuenca referente a su pendiente, infiltración a producirse, cobertura vegetal y geometría de la superficie; Estos valores se suman para producir un valor de coeficiente de escorrentía para la cuenca analizada. Para el caso practico del depósito de relaves construido en la universidad los cálculos se observan en la Tabla II.2 del 0 y el valor de C es 0.44.

Para hallar la intensidad de lluvia es necesario determinar la duración y periodo de retorno de la tormenta de diseño. Como el diseño es para darle la seguridad a la presa se utilizará 100 años como periodo de retorno como se

explico en el párrafo ultimo del Numeral 2.4.2 . Para la determinación de la duración de la tormenta de diseño escogemos la mas critica por ser un diseño por seguridad, lo que nos da una duración igual al tiempo de concentración, así que es necesario el calculo del tiempo de concentración. El tiempo de concentración lo calculamos como la media geométrica de dos métodos usados para este fin que son el método de Kirpich y Hazen y Williams; El calculo del tiempo de concentración varia mucho de dependiendo de la zona y características de la cuenca tratada, el especialista en Hidrología es quien debe determinar el método a usar. El valor obtenido es menor a 10 minutos; por lo que se debe adoptar como tiempo de concentración igual a 10 minutos¹, que será la duración de la tormenta de diseño. La intensidad para una duración de 10 minutos y un periodo de retorno de 100 años es de 1.96 mm/hr.

Con los valores de Área, Intensidad y el Coeficiente de escorrentía calculamos el Caudal, que para el caso practico realizado arrojo un valor de $9.3 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ o 0.093 lt/s. Un valor bastante bajo por ser la costa una zona desértica con bajas precipitaciones y estar el depósito de relaves ubicado en la parte alta de un promontorio por lo que área de cuenca es mínima. Usualmente las características encontradas en los depósitos de relave son muy distintas a la del ejemplo practico por lo que es crucial la determinación de los caudales que interactúan con el depósito y es necesario el diseño de un sistema de drenaje optimo.

2.5 Hidrogeología

Es una parte de la hidrología que estudia la distribución y movimiento del agua subterránea a través del suelo y las rocas de la tierra (comúnmente llamados acuíferos)

Estos estudios son importantes dentro de la proyección de un depósito de relaves al igual forma que los estudios hidrológicos porque pueden variar las características estructurales del suelo de cimentación, pero, además, pueden proporcionar empujes de presión a las estructuras.

Otro aspecto en el que influye la hidrogeología representa la capacidad que tienen el agua de disolver los químicos y trasportarlos, lo que amplía la zona

¹ Norma Técnica de Edificación S.110 "Drenaje pluvial urbano".

de influencia de los contaminantes por o que los valores de seguridad deben aumentar si se presentan ene el estudio flujos subterráneos.

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

Los caudales de explotación de los pozos perforados con fines de abastecimiento de agua potable para uso domestico fluctúan entre 15 y 20 l/s cuya masa de explotación mensual reportan volúmenes de alrededor de 25,000 m³/mes

Tabla 2.5.1 Pozos tubulares dentro de la universidad.

El Pozo P 58 Ingeniería 2		Jul-93	
Nivel Estático	NE	78.2	m
Caudal	Q	15	l/s
Profundidad	H	110.2	m
Cota		100	m.s.n.m.
Producción			

El Pozo P 130 Ingeniería 3		Jul-93	
Nivel Estático	NE	63.1	m
Caudal	Q	20	l/s
Profundidad	H	114.5	m
Cota		102	m.s.n.m.
Producción			

2.6 Peligro Sísmico

“El Perú esta comprendido entre una de las regiones de más alta actividad sísmica que existe en la tierra por lo tanto esta expuesto a este peligro, que trae consigo la perdida de vidas humanas y perdidas materiales. Es necesario efectuar estudios que permitan conocer el comportamiento más probable de estos fenómenos para poder planificar y mitigue los grandes efectos que traen consigo”¹. Esto es más alarmante en los depósitos de relave dado los efectos ambientales que una falla puede causar.

“Una forma de conocer el probable comportamiento sísmico de un lugar es mediante la evaluación del peligro sísmico en términos probabilísticas, es

¹ Castillo, Jorge y Alva, Jorge (1994) *Peligro sísmico en El Perú*.

decir, predecir las posibles aceleraciones que podrían ocurrir en un lugar determinado”.

En las normas de diseño se especifican las cargas sísmicas por lo que no es necesario realizar investigaciones detalladas de la actividad sísmica del área donde se construirán estructuras comunes. El coeficiente de diseño sísmico a ser usado en el diseño sísmico pseudo estático se determina sobre la base de la zona, condición del suelo e importancia de la estructura. Si la estructura es flexible, la carga sísmica se modifica tomando en cuenta su periodo fundamental. Sin embargo, cuando se planifican estructuras importantes, deben evaluarse sus capacidades de resistir terremotos basándose en estudios detallados de peligro sísmico”¹. Tales estructuras incluyen los depósitos de relave.

Así, para el ejemplo, el análisis del peligro sísmico de la zona nos indica que:

La actividad sísmica en el centro del Perú es más compleja debido a la irregularidad de las longitudes de ruptura y localización de sus epicentros.

La historia sísmica, que se tiene no corresponde a registros científicos sino mas bien a relatos:

- El sismo de 1586 tuvo una longitud de ruptura del orden de 175 km y causó un tsunami local de una altura u ola de 5m.
- Un sismo fuerte sacudió Lima en 1664; el tramo de la longitud de la ruptura no fue bien definida, pero no puede ser más de 75 km, no se presentó tsunami.
- El evento de 1678 es muy poco recordado pero fue similar al sismo de 1966.
- El año 1687 se registraron 2 grandes sismos separados por un día, el primero es uno de los más fuertes en el centro del Perú, tuvo una longitud de ruptura de 350 km y un tsunami local de 5 o 10 m, el segundo evento fue diferente, situado en el sur del Perú.
- Otro sismo no muy grande ocurrió en 1725 en la zona central del Perú con una longitud de ruptura que no pudo exceder de 75 km y no estuvo asociado a algún tsunami.
- En 1746 un gran sismo destruyó completamente Lima, tuvo longitud de ruptura de 350 km y produjo un tsunami de una altura de 15 a 20 m. Luego hubo un periodo de quietud de 2 siglos.

- La actividad en 1940 con un sismo de 180 km de longitud de ruptura que produjo un tsunami de una altura de 3m, similar valor fue observado para el sismo de 1942.
- El sismo de 1966 en la zona norte central del Perú tuvo una longitud de ruptura de 100 km y produjo un tsunami de 2.6 m de altura.
- El evento de 1974, enfrente de lima tuvo una longitud de ruptura de 140 km y causo un tsunami de una altura de 16 m.

La distribución espacio tiempo de los sismos históricos muestra el más complejo modelo de todas las zonas de subducción del Perú.¹

Jorge Luis Castillo Aedo, presenta en su tesis planos de curvas de aceleraciones para periodos de retorno de 50 y 100 años con un 10 % de excedencia o 90% de confianza.

Estos planos pueden ser usados para determinar las aceleraciones de diseño en cualquier parte del país, pero debe tenerse en cuenta las siguientes recomendaciones que dan los autores:

“Estos valores de aceleraciones máximas deben considerarse como valores medios esperados en suelo firme donde no se considera la influencia de las condiciones locales del suelo, ni los efectos de la interacción suelo estructura.

Una condición demasiado severa seria considerar que la magnitud del coeficiente sísmico a usar en el diseño sea igual a la máxima aceleración del terreno. Este valor ocurre solo una vez y cambia de dirección repetidas veces, por lo que la deformación resultante debe ser pequeña. En el Japón se sugiere reducir el coeficiente sísmico a un 50% o 70% de la máxima aceleración del terreno.

Por estar el país en una zona altamente sísmica, debe realizarse una evaluación del peligro sísmico mas específico en los emplazamientos de las estructuras tales como grandes presas, puentes autopistas, edificios, etc. El costo de construir cada una de estas estructuras y su importancia para el país es demasiado alto como para permitir apoyarse solamente en mapas generales de peligro sísmico.”²

¹ Castillo, Jorge y Alva, Jorge (1994) *Peligro sísmico en El Perú*.

² Castillo, Jorge y Alva, Jorge (1994) *Peligro sísmico en El Perú*..

Por estas consideraciones se realizó una evaluación de peligro sísmico específico, en el cual se realizó la corrida del programa Risk con los datos de entrada los sismos históricos.

Tabla 2.6.1 Aceleraciones obtenidas con el programa Risk.

Coordenadas	Período de Retorno / Aceleración (g)						
	30	50	100	190	285	475	950
-77,05; -12,02	0.18	0.23	0.31	0.4	0.47	0.56	0.72

Estos valores fueron comprobados con las curvas de isoaceleración que propone Castillo en su tesis para confirmar que los cálculos estuvieran bien efectuados.

Capítulo III

Análisis de depósitos de relaves

En el proceso de diseño que se describe en el Capítulo IV se hará necesario el uso de herramientas de cálculo para determinar el mejor diseño, así se plantearán alternativas de diseño y se harán sus respectivos análisis para obtener parámetros que nos indiquen cual de los diseños es el más eficiente, este capítulo trata de mostrar las herramientas de cálculo que deben usarse al proyectar un depósito de relaves.

3.1 Planteamiento de alternativas

En el diseño se plantean alternativas para cumplir las funciones específicas que se definen a partir de los requerimientos del diseño. ¿Cómo establecer estos requerimientos? Se especifica en el Numeral 4.1 “Requerimientos o demandas del diseño”.

Debe considerarse que estas alternativas pasarán por un proceso de análisis posteriormente, por lo que es recomendable, para realizar un proceso de diseño eficiente, considerar desde ahora los aspectos técnicos del análisis posterior. Por esto la etapa inicial para el planteamiento de alternativas es la realización de estudios básicos que dan al ingeniero criterios de elección de alternativas que asean viables. Estos estudios básicos están dirigidos directamente a los planteamientos de alternativas y por lo tanto indirectamente a las funciones que el diseño debe cumplir.

Así para la función de Almacenamiento es necesario plantear alternativas de Ubicación y Geometría del depósito de relaves, cada una con estudios básico correspondientes para permitir al ingeniero plantear la solución más eficiente.

Para el depósito de relaves que hemos construido y que servirá como ejemplo práctico para esta metodología de diseño, utilizaremos una única alternativa, por ser esto un ejemplo académico y así poder ir directo al punto del diseño que es lo que se quiere mostrar.

3.1.1 Ubicación

Las áreas mineras en el Perú se ubican a lo largo del país, en una variedad de regiones geológicas, topográficas y climatológicas; dentro de ellas es peculiar cada zona donde se puede plantear un depósito de relaves.

Los estudios básicos para las alternativas de ubicación son el estudio topográfico, la geología, el estudio de avenidas, huaycos y derrumbes que en la zona se puedan presentar.

Como ejemplo, para el depósito de relave a construir, se ubico en una zona plana, alta, lejos de cualquier curso de agua o quebrada existente y a la mayor distancia posible de taludes de donde se pudieran producir deslizamientos, fallas, volcaduras o cualquier fenómeno que pudiera afectar la obra.

3.1.2 Geometría

Los estudios básicos para las alternativas geométricas de la presa deben considerar los estudios topográficos, la geotecnia, la hidrología, la hidrogeología, el peligro sísmico.

Las diferentes alternativas geométricas de los depósitos de relave deben definir el tipo de estructura que retendrá el material de relave almacenado.

Como ejemplo, para el depósito de relave a construir, se planteó una geometría en tronco de pirámide invertida con base rectangular, con dimensiones de 8 m x 6 m en la base superior a una cota de 108.00 m.s.n.m. y 4 m x 2 m en la base inferior a una cota de 107.00 m.s.n.m., con taludes de 1 vertical x 2 horizontal. En la parte superior a una cota de 108.00 m.s.n.m. alrededor de la poza se planteo una banquetta de un metro de ancho.

Todos el diseño geométrico se muestra en el plano [PR-OC-01](#).

3.1.3 Sistema de impermeabilización

Los estudios básicos necesarios para los diversos sistemas de impermeabilización que se pudieran plantear son: estudio de topografía, geotecnia, hidrología e hidrogeología.

Como ejemplo, para el depósito de relave a construir, se planteo un sistema de impermeabilización por medio de una Geomembrana, que para efectos del proceso de instalación y asegurar la duración del sistema se colocará un Geotextil no tejido para proteger de daños a la Geomembrana

3.1.4 Sistema de drenaje

La fuente principal de agua que va hacia los embalses de relaves es usualmente el agua del proceso contenida en la pulpa de relaves, Además, puede haber aportes de:

- Cursos naturales de agua, ya que los embalses de relaves normalmente se encuentran ubicados en áreas topográficas bajas;
- Drenaje de pilas de desecho cercanas;
- Agua bombeada desde las labores de la mina, ya que la poza de relaves puede utilizarse como poza de sedimentación;
- Agua residual de poblados aledaños o campamentos.

Los estudios básicos necesarios para los diversos sistemas de drenaje que se pueden plantear son: estudio de topografía, geotecnia, hidrología e hidrogeología.

La mayor parte del agua de los embalses de relaves se descarga desde la superficie, en lugar de hacerlo hacia las aguas freáticas, debido a la permeabilidad relativamente baja de los sólidos que constituyen los relaves.

Como ejemplo, para el depósito de relave a construir, se planteo un sistema de drenaje integral conformado por un geocompuesto de drenaje que posee un geotextil, una geored y una tubería de drenaje.

3.2 Análisis de alternativas

Las alternativas planteadas deben ser analizadas para determinar su eficiencia como soluciones. Los principales análisis que se realizan son de 2 tipos: Un análisis funcional, que se realiza por medio de herramientas de cálculo científico, para determinar si las soluciones cumplen con la función que irán a desempeñar y un análisis de viabilidad, que se realiza por medio de herramientas de calculo económico, para determinar si son financiables.

3.2.1 Análisis funcional

El análisis funcional determina los niveles mínimos en que el diseño final debe trabajar y lo compara con las capacidades de funcionamiento de las diferentes alternativas propuestas. De esta forma el análisis funcional da un limite mínimo para diseñar.

Análisis de la capacidad de almacenamiento.-

El volumen a almacenar se obtiene a través de la cantidad de material procesado diariamente, el tiempo que se desea que este depósito acoja los residuos, el porcentaje de residuos por tonelada de materia prima y el contenido de humedad que se perderá por evaporación, drenaje, infiltración permitida, etcétera, que determinen el volumen que debería tener el depósito.

Para el caso práctico que hemos tomado, que es el depósito de relave a construir haremos el caso inverso, calculando el tiempo de llenado, dado que el volumen estaba especificado por ser un ejemplo académico:

$$t = \frac{V_{dep}}{P_{MP} \cdot (1 - L) \cdot \gamma_{relave}} \quad \text{Ecuación 3.2.1}$$

Para el depósito de relaves, utilizamos los valores de producción de la planta concentradora piloto, que se proyecta a procesar unas 20 toneladas diarias de materia prima con una ley de 60 % como mínimo (especificadas en el proyecto de refacción de la planta piloto concentradora) y habiendo obtenido de los ensayo de laboratorio una densidad del relave de 2.8 g/cm³, así estos valores para la Ecuación 3.2.1 son:

V_{dep}	=	Volumen del depósito	=	25.2 m ³
P_{MP}	=	Cantidad de materia prima procesada	=	20 t/día
	=	196.14 kN/día		
L	=	Ley de la materia prima que se procesa	=	60 %
γ_{relave}	=	Densidad del relave	=	2.8 g/cm ³ = 27.460 kN/m ³
t	=	Tiempo de llenado del depósito		

Lo que nos da un tiempo de almacenaje igual a 2.86 días, que nuestra poza puede servir para almacenar el relave producido por la planta concentradora.

Análisis de estabilidad de taludes.-

Para el depósito de relaves, ha construirse en la Universidad Nacional de Ingeniería, tomado en este informe como caso práctico, se realizó el análisis de estabilidad de taludes considerando el corte B-B que se muestra en el plano [PR-OC-01](#) y en la cual se ha proyectado la estratigrafía obtenida de las calicatas y ensayos geotécnicos.

Dentro de la sección geotécnica se consideraron 3 taludes; El primero correspondiente a la falda del cerro para el análisis de estabilidad global y dos internos para analizar la estabilidad local de los taludes internos de la poza (cabe acotar que estos dos últimos fueron analizados en la condición de que el depósito de relaves estuviera vacío, condición mas crítica), es así como fueron numerados correlativamente.

Con la estratigrafía modelada del estudio básico de geotecnia, que muestra los parámetros del suelo, se procedió a ingresar los datos en los programas de calculo. Para este calculo se utilizo el programa: MacStars. Los datos de entrada y salida se adjuntan en el Anexo II: Estudios Básicos. La sección geotécnica no muestra nivel freático ya que así lo indica el estudio de hidrogeología.

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

Los factores de seguridad obtenidos se muestran a continuación:

Tabla 3.2.1 Factores de seguridad de los cálculos de estabilidad de taludes

	MacStars	
	sin sismo	con sismo
Estabilidad global		
Talud 1	2.481	1.373
Talud interno		
Talud 2	7.32	4.602
Talud interno		
Talud 2	6.929	4.233

Diseño del geotextil de protección.-

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

Con respecto a la geomembrana y al material de protección, el análisis teórico demuestra que la resistencia al punzonamiento de la geomembrana se puede mejorar bajo las siguientes condiciones:

- Al incrementar el espesor de la geomembrana, el análisis realizado por Wilson-Fahmy, Narejo y Koerner muestra que la resistencia al

punzonamiento se incrementa linealmente con relación al espesor. Si se incrementa el espesor de 1.5 a 2.5mm el incremento de la resistencia al punzonamiento puede ser de 1.7 veces. Según esto el incremento de espesor puede ser benéfico para la resistencia al punzonamiento de la geomembrana, si la resistencia de la geomembrana es cercana al valor requerido.

- El uso de un material de protección, en este caso un geotextil No Tejido punzonado por agujas, es una solución para el mejoramiento de la resistencia al punzonamiento de la geomembrana. Por ejemplo, la utilización de un geotextil con una masa unitaria de 270 g/m² generará un incremento en la resistencia al punzonamiento de la geomembrana entre 4 a 10 veces comparadas con 1.7 generado por el incremento del espesor de la geomembrana de 1.5 a 2.5mm.
- El incremento del espesor, o masa unitaria del material de protección, incrementará de 8 a 30 veces la resistencia al punzonamiento de la geomembrana con un geotextil No Tejido de 550g/m². De esta forma a medida que la masa unitaria se ve incrementada por el cambio de geotextil, la resistencia al punzonamiento aumenta considerablemente.

Como se dijo anteriormente, este capítulo 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 del GRI.

Este método usa la ecuación tradicional de factor de seguridad:

$$FS = \frac{P_{adm}}{P_{req}} \quad \text{Ecuación 3.2.2}$$

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.

$$P_{adm} = \left(450 \frac{M}{H^2} \right) \left(\frac{1}{FM_S * FM_{DR} * FM_A} \right) \left(\frac{1}{FR_{FL} * FR_{DQB}} \right) \quad \text{Ecuación 3.2.3}$$

Donde:

P_{adm} = Presión admisible (kPa)

M = Masa por unidad de área (g/m²)

H = Altura Efectiva de la Protuberancia (mm)

FM_S = Factor de Reducción por la forma de la protuberancia

FM_{DR} = Factor de Modificación por Densidad del Relleno

FM_A = Factor de Modificación por efecto de Arco en Sólidos

FR_{FL} = Factor de Reducción por fluencia del material a largo plazo

FR_{DQB} = Factor de Reducción por degradación química y biológica a largo plazo

Además de debe cumplir la siguiente condición:

$$P_{adm} = 450 \times \frac{M}{H^2} \geq 50 \text{ KPa} \quad \text{Ecuación 3.2.4}$$

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

A continuación se muestra el significado de cada factor y los valores típicos que cada uno de estos puede tomar, según las condiciones de cada proyecto.

FACTOR DE SEGURIDAD GLOBAL

El factor de seguridad global debe ser mínimo 3, sin embargo, para cierto tipo de condiciones el factor de seguridad requerido puede ser mayor. Por ejemplo se debe utilizar un factor de seguridad mayor en proyectos en los cuales la subrasante contenga un alto contenido de rocas aisladas de gran tamaño en su superficie. Este factor también se puede ver afectado por el tipo de instalación de la geomembrana.

El objetivo de este factor de seguridad es garantizar un diseño adecuado para la protección de geomembranas, evitando que estas fallen por punzonamiento durante su período de servicio. En proyectos de rellenos sanitarios la falla de la geomembrana puede ocasionar filtración de lixiviados al subsuelo y con posterioridad a las aguas subterráneas, generando un foco de contaminación de difícil detección. Para los reservorios la falla de la geomembrana puede ocasionar pérdida en los niveles de líquido almacenado.

Los factores de seguridad global se encuentran en la Tabla 3.2.2:

Tabla 3.2.2 Factores de seguridad global para el diseño¹

Arreglo de las Piedras	Altura Efectiva de Protuberancia (mm)	Factor De Seguridad Global (Mínimo)
Piedras Aisladas	6	3,0
	12	4,5
	25	7,0
	38	10,0
Piedras Agrupadas	38 o menos	3,0

FACTORES DE MODIFICACIÓN

Este tipo de factores es propuesto con el fin de representar de mejor forma las condiciones de campo del material de protección en el diseño. Los factores de modificación son iguales o menores a 1.0, y deberán ser tomados de las tablas que se muestran a continuación.

Factor de modificación por forma de la protuberancia

Estos factores fueron propuestos de acuerdo con el ensayo hidrostático de presión por punzonamiento de la norma ASTM 5514, según la cual se estableció que el valor de presión resistente más alto es alcanzado cuando las rocas tienen forma redondeada, seguidas de las semiredondeadas y finalmente la menor resistencia a la presión es la generada por rocas de forma angular, en las que su efecto es casi el mismo que el generado por los conos truncados en el ensayo de falla a presión. Debido a que el factor de modificación es

¹ Departamento de Ingeniería. AMANCO (2006) *Manual de diseño* Séptima edición.

inversamente proporcional a la presión admisible, los factores para rocas redondeadas y semiredondeadas son menores a la unidad, es decir, que aumenta la presión admisible a la que puede ser sometido el material de protección y la geomembrana.

Tabla 3.2.3 Factor de Modificación por Forma de la Protuberancia¹

Forma de la Piedra	FM _s
Angular	1,00
Semiredondeada	0,50
Redondeada	0,25

Factor de modificación por densidad del relleno

Según las pruebas realizadas por Wilson-Fahmy, Narejo y Koerner se pudieron demostrar que la presión admisible para protuberancias concentradas es mucho mayor que para protuberancias aisladas. Basados en los resultados, se llegó a un factor de modificación de 0.5 que estima el efecto generado por rocas concentradas con relación a estas mismas pero ubicadas de forma aislada. Para poder hacer una comparación del comportamiento de la geomembrana sobre protuberancias aisladas, en la Tabla 3.2.5 se encuentran los factores según su tamaño y forma de ubicación.

Tabla 3.2.4 Factor de Modificación por Densidad del Relleno²

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

Factor de modificación por efecto de arco en sólidos

Este factor tiene en cuenta el tipo de material o de carga a la que es sometida la geomembrana. La resistencia al punzonamiento de la geomembrana

¹ Ídem.

² Departamento de Ingeniería. AMANCO (2006) *Manual de diseño* Séptima edición.

bajo cargas geostáticas, puede llegar a ser hasta 6 veces mayor que la resistencia de la geomembrana bajo una carga hidrostática, este efecto se atribuye a la capacidad de los suelos para disipar las cargas aplicadas en función de la profundidad y a la compresibilidad del mismo, propiedad que carecen los líquidos, por lo que este efecto tenderá a aliviar el esfuerzo que es transmitido a la geomembrana y a su material de protección.

Tabla 3.2.5 Factor de modificación por efecto de arco sólido¹

Efecto de Arco en Sólidos	FM _A
Hidrostático	1,00
Geoestático, superficial	0,75
Geoestático, moderado	0,50
Geoestático, profundo	0,25

FACTORES DE REDUCCIÓN

Una vez presentados los factores de modificación establecidos según el tipo y tamaño de partículas presentes en el suelo de instalación del sistema, se presentan los factores de reducción los cuales son aplicados para garantizar la integridad de la geomembrana. Se consideran dos factores, el primer factor involucra la fluencia de los materiales a largo plazo, y el segundo factor tiene en cuenta la posible acción de degradación química y biológica debido a la acción de agentes presentes en el lugar del proyecto.

Los factores de reducción son iguales o mayores a 1.0, y deberán ser tomados de las tablas que se muestran a continuación.

Factor de reducción por fluencia a largo plazo

Como se puede ver en la Tabla 3.2.6 los factores de reducción por fluencia a largo plazo son relativamente menores a los encontrados en la literatura para geotextiles sometidos a tensión. Esto se debe a que la geomembrana y el material de protección al estar ambos sometidos a punzonamiento, con el tiempo se verán afectados positivamente por el efecto de fluencia, lo cual hará que la longitud inicial sin apoyo del material contra el suelo

¹ Departamento de Ingeniería. AMANCO (2006) *Manual de diseño* Séptima edición.

disminuya con el pasar del tiempo. De esta forma, los esfuerzos de la geomembrana y del material de protección son reducidos.

De acuerdo con lo anterior el factor por fluencia requerido para la protección de geomembranas es menor comparado con el requerido por el mismo material sometido a esfuerzos de tensión constantes.

Tabla 3.2.6 Factor de Reducción por Fluencia¹

Masa por Unidad de Área (gr/m ²)	FR _R			
	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

Factor de reducción por degradación química y biológica a largo plazo

Para este factor se debe 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, sin embargo, debido al alto peso molecular de los materiales con los cuales se fabrican los geosintéticos el efecto de estos agentes sobre el material es mínimo. Para el caso de degradación por sustancias químicas el efecto que tienen estas sobre el material puede ser más decisivo a la hora del diseño, es el caso de rellenos sanitarios (ver Tabla 3.2.7), donde se debe evaluar el tipo de lixiviado generado por el tipo de desechos que conforman el relleno. Este es el único caso en el cual un factor químico pueda amenazar la integridad del sistema.

¹ Departamento de Ingeniería. AMANCO (2006) *Manual de diseño* Séptima edición.

Tabla 3.2.7 Factor de Reducción por degradación química y biológica a largo plazo¹

Tipo de Lixiviado	FR _{DGB}
Ligero	1,1
Moderado	1,3
Agresivo	1,5

CÁLCULO DE LA MASA UNITARIA DEL GEOTEXTIL DE PROTECCIÓN

- a) Estimar la presión admisible, en función de la masa unitaria del geotextil, M , utilizando la Ecuación 3.2.3, y aplicando los factores de modificación y reducción, según apliquen. Teniendo en cuenta lo siguiente:

H de Piedras Aisladas = Altura real de Protuberancia

H de Piedras Compactadas = Mitad del Tamaño Máximo de Piedras

- b) Estimar la presión actuante sobre la geomembrana, aplicando la siguiente ecuación:

$$P_{req} = h \cdot \gamma \quad \text{Ecuación 3.2.5}$$

Donde:

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

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

P_{req} = Presión actuante sobre la geomembrana (kPa)

- c) Los parámetros de la Ecuación 3.2.5 pueden ser asumidos o especificados según las consideraciones específicas de obra. El peso unitario típico de residuos sólidos puede estimarse como 12.56 kN/m³, en caso de que no se tuvieran datos específicos del proyecto. De la misma manera el peso unitario de la mayoría de los líquidos

¹ Ídem.

puede ser aproximado al peso unitario del agua, es decir, 9.81 KN/m³.

- d) Calcular la masa por unidad de área requerida, para el geotextil de protección, teniendo en cuenta la Ecuación 3.2.3 y la Tabla 1.2.1.
- e) Verificar que se cumpla la condición presentada en la Ecuación 3.2.4 para verificar el aporte del geotextil de protección.
- f) Seleccione el geotextil de protección apropiado, seleccione un geotextil No Tejido punzonado por agujas de línea minera, teniendo en cuenta el valor mínimo promedio por rollo (MARV) de masa unitaria (M) mayor o igual al calculado en el paso anterior.
- g) Debe anotarse que el método presentado se basa en la aplicación de geotextiles No Tejidos punzonados por agujas, hechos de polímeros vírgenes; esta teoría no aplica a otro tipo de geotextil o material de protección.

Diseño de la geomembrana de impermeabilización.-

Espesor.-

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

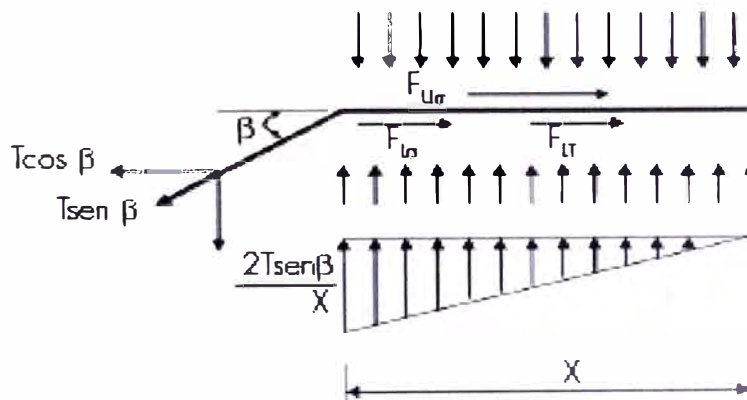


Imagen 3.1 Modelo de diseño utilizado para calcular el espesor de la geomembrana

$$\sum F_x = 0 \quad \text{Ecuación 3.2.6}$$

$$T \cdot \cos \beta = F_{U\sigma} + F_{L\sigma} + F_{LT} \quad \text{Ecuación 3.2.7}$$

$$T \cdot \cos \beta = \sigma_n \cdot \tan \delta_U(x) + \sigma_n \cdot \tan \delta_L(x) + 0.5 \left(\frac{2T \cdot \sin \beta}{x} \right) \cdot x \cdot \tan \delta_L \quad \text{Ecuación 3.2.8}$$

$$T = \frac{\sigma_n (\tan \delta_U + \tan \delta_L)}{\cos \beta - \sin \beta \tan \delta_L} \quad \text{Ecuación 3.2.9}$$

La tensión inducida en la geomembrana es igual al esfuerzo admisible por el espesor.

$$T = \sigma_{adm} \cdot t \quad \text{Ecuación 3.2.10}$$

Donde:

- T = Tensión movilizadora en la geomembrana
 σ_{adm} = Esfuerzo admisible en la geomembrana
t = Espesor de la geomembrana

Entonces reemplazando estos valores en la Ecuación 3.2.9 se tiene que:

$$t = \frac{\sigma_n \cdot (\tan \delta_U + \tan \delta_L)}{\sigma_{adm} (\cos \beta - \sin \beta \tan \delta_L)} \quad \text{Ecuación 3.2.11}$$

Donde:

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

- δ_L = Ángulo de fricción entre la geomembrana y el material inferior (ASTM D 5321)
- x = Distancia de movilización de la deformación de la geomembrana

Tabla 3.2.8 Ángulos de fricción geomembrana - suelo y geomembrana - geotextil Según ensayo ASTM D 5321

Tipo De Geomembrana	Tipo De Geotextil	Tipo De Suelo - Arena		
		$\phi = 30^\circ$	$\phi = 28^\circ$	$\phi = 26^\circ$
Texturizada	No Tejido Punzonado	30° (100%)	26° (92%)	22° (83%)
Lisa	No Tejido Punzonado	18° (56%)	18° (61%)	17° (63%)

ESTABILIDAD DE LA COBERTURA DEL RELLENO

Las geomembranas por lo general deben ser recubiertas debido a que el recubrimiento busca protección contra la oxidación, protección contra la degradación ultra-violeta, protección contra las altas temperaturas que incrementan la alta degradación, protección contra el punzonamiento y el rasgado por materiales angulares, protección generada por daños accidentales o intencionales. Usualmente se suelen cubrir con espesores pequeños de suelo, que generalmente tienen la tendencia a deslizarse sobre los taludes, motivo por el cual este chequeo dentro de la metodología se basa en las condiciones de equilibrio límite entre el subsuelo, la geomembrana y el suelo de recubrimiento asumiendo que estos tienen un espesor uniforme.

Para nuestro caso el relave depositado constituye la cobertura a la Geomembrana colocada, y lo que se espera es que al ir soltando el relave desde la parte alta, este material, proteja a la geomembrana con un espesor mínimo. Con lo expuesto se infiere que esta cobertura se colocará cuando el depósito se encuentre en funcionamiento.

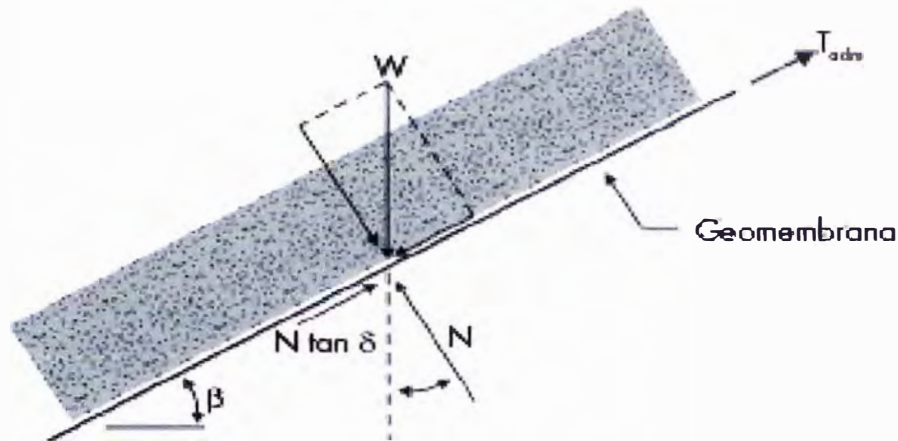


Imagen 3.2 Fuerzas actuantes con suelos de cobertura sobre la geomembrana de recubrimiento, con profundidad del suelo constante

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

$$FS = \frac{\text{Fuerzas Resistentes}}{\text{Fuerzas Actuantes}} \quad \text{Ecuación 3.2.12}$$

$$FS = \frac{N \cdot \tan \delta_u (L) + T_{adm}}{W \sin \beta (L)} \quad \text{Ecuación 3.2.13}$$

$$FS = \frac{(W \cos \beta) \tan \delta_u (L) + T_{adm}}{W \sin \beta (L)} \quad \text{Ecuación 3.2.14}$$

Donde:

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

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

DISEÑO DE LA LONGITUD Y ZANJA DE ANCLAJE

Para este chequeo se tienen en cuenta un estado de esfuerzos dentro de la zanja de anclaje y su mecanismo de resistencia. En la profundidad de la zanja

CAP. III: Análisis de depósitos de relaves

de anclaje se tienen fuerzas laterales actuando sobre la geomembrana, mas específicamente una presión activa de tierras tendiendo a desestabilizar el sistema y una presión pasiva de tierra que lo tiende a soportar.

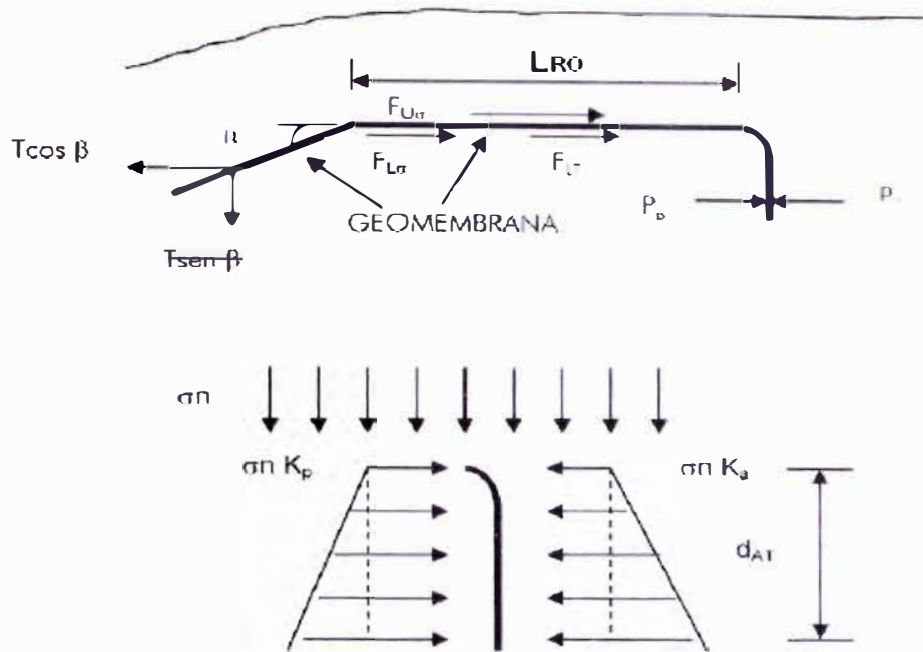


Imagen 3.3 Sección transversal de la longitud de desarrollo de una geomembrana con zanja de anclaje y fuerzas actuantes

$$\sum F_x = 0 \quad \text{Ecuación 3.2.15}$$

$$T_{adm} \cos \beta = F_{U\sigma} + F_{L\sigma} + F_{LT} - P_A + P_P \quad \text{Ecuación 3.2.16}$$

$$T_{adm} \cos \beta = \sigma_n \tan \delta_U (L_{RO}) + \sigma_n \tan \delta_L (L_{RO}) + 0.5(2T_{adm} \sin \beta / L_{RO})(L_{RO}) \tan \delta_L - P_A + P_P \quad \text{Ecuación 3.2.17}$$

$$T_{adm} \cos \beta = \frac{\sigma_n L_{RO} (\tan \delta_U + \tan \delta_L) - P_A + P_P}{\cos \beta - \sin \beta \tan \delta_L} \quad \text{Ecuación 3.2.18}$$

$$P_A = (0.50 \cdot \gamma_{AT} d_{AT} + \sigma_n) K_A d_{AT} \quad \text{Ecuación 3.2.19}$$

$$P_P = (0.50 \cdot \gamma_{AT} d_{AT} + \sigma_n) K_P d_{AT} \quad \text{Ecuación 3.2.20}$$

Donde:

L_{RO} = Longitud de desarrollo.

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

P_P = Presión pasiva de tierras contra el suelo in-situ de la zanja de

		Anclaje.
γ_{AT}	=	Peso Especifico del suelo de la zanja de anclaje.
d_{AT}	=	Profundidad de la zanja de anclaje.
σ_n	=	Esfuerzo normal aplicado por el suelo de cobertura.
K_A	=	Coeficiente de presión de tierra activa = $\tan^2 (45 - \phi/2)$.
K_P	=	Coeficiente de presión de tierra pasiva = $\tan^2 (45 + \phi/2)$.
ϕ	=	Ángulo de fricción del suelo respectivo.

Entonces resolviendo para la Ecuación 3.2.18 se tendrían dos incógnitas, motivo por el cual se asume un dato y se encuentra el otro hasta que se encuentre un dato considerable tanto para la longitud de desarrollo como para la profundidad de la zanja de anclaje.

Chequeo por supervivencia

Después de haber escogido la geomembrana aplicando la metodología de diseño se debe tener en cuenta que es importante ésta sobreviva los procesos de transporte, manejo e instalación, parámetros que están fuera del alcance del diseñador. Únicamente mediante especificaciones estrictas y un aseguramiento de la calidad en la construcción la geomembrana puede sobrevivir la instalación y comenzar con la función para la cual fue instalada.

Mientras una geomembrana es transportada, manejada e instalada ésta es frecuentemente vulnerable al rasgado, punzonamiento e impacto. Estos eventos pueden ocurrir accidentalmente por vandalismos o por la falta de calidad en el trabajo de instalación. Situaciones convencionales son el soltar herramientas sobre el material, transitar automóviles o camiones sobre la geomembrana sin proteger, fuertes vientos que llegan por debajo de la geomembrana en el proceso de colocación.

El espesor es la propiedad física de la geomembrana que esta mas envuelta con la resistencia o con la susceptibilidad al rasgado, punzonamiento y daño por impacto. El incremento presentado del espesor puede ser en algún caso lineal o en algunos otros exponenciales. Es por esta razón que las agencias internacionales requieren un espesor mínimo bajo cualquier circunstancia. Sin embargo, mas allá de un simple valor para todas las condiciones, el espesor mínimo y sus propiedades subsecuentes deben estar relacionadas con las

condiciones específicas del sitio. La Tabla 3.2.9 nos muestra valores a cuatro niveles diferentes de supervivencia.

Tabla 3.2.9 Valores mínimos recomendados para supervivencia de la geomembrana en el proceso de instalación

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

Fuente: Designing With Geosynthetics Esta Edición. Robert Koerner.

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

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

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

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

Diseño del geodrén.-

Una vez conocido que se requiere un geodrén como alternativa al sistema de drenaje se procede a analizar esta alternativa

Estimación de caudal de diseño

Los posibles caudales de aporte, que conforman el caudal final, los cuales pueden afectar la estructura de un pavimento son:

- El caudal generado por la infiltración de agua lluvia.
- El caudal generado por el abatimiento del nivel de agua subterránea.
- El caudal generado por escorrentía superficial.

Caudal por infiltración

$$Q_{inf} = I_R \cdot B \cdot L \cdot F_I \cdot F_R$$

Ecuación 3.2.21

Donde:

- I_R = Precipitación máxima horaria de frecuencia anual, registrada en la zona del proyecto. Dato que se puede extraer de las curvas de intensidad - duración - frecuencia para las diferentes zonas del territorio. Usualmente se toma el intervalo entre 60 y 120 minutos y se escoge la curva de 2 años. Para nuestro caso hemos tomado una duración de 20 minutos y un periodo de retorno de 50 años.
- B = Es el ancho contribuyente.
- L = Longitud del tramo de drenaje.
- F_i = Factor de infiltración.
- F_R = Factor de retención del material, refleja el hecho de que el material, dado su permeabilidad, entrega lentamente el agua al subdrén.

Para nuestro caso:

$$I_R = 6.552 \text{ mm/hr}$$

$$B = 19.5$$

$$L = 20$$

$$F_i = .8$$

$$F_R = .2$$

Lo que da $Q_{inf} = 1.14 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$

Caudal por abatimiento de la napa freática

Considerando que el relave cuando llega al depósito posee un alto contenido de humedad, tal que se encuentra total mente saturado, se calcula el caudal a drenar para retirar el agua del relave.

$$Q_{NF} = k \cdot i \cdot A_a \quad \text{Ecuación 3.2.22}$$

$$i = \frac{(N_d - N_f)}{B} \quad \text{Ecuación 3.2.23}$$

$$A_a = (N_d - N_f)L \quad \text{Ecuación 3.2.24}$$

Donde:

- k = Es el coeficiente de permeabilidad del suelo adyacente.
- i = Es el gradiente hidráulico.
- N_d = Cota inferior del subdrén.
- N_f = Cota superior del nivel freático.
- A_a = Es el área efectiva para el caso de abatimiento del nivel freático.

Para nuestro caso del ensayo de permeabilidad realizado al relave y del diseño geométrico, los valores para ser ingresados son:

$$k = 1 \times 10^{-6} \text{ m/s}$$

$$N_d = 107.8$$

$$N_f = 107$$

Lo que da $Q_{inf} = 6.4 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$

Por lo que el caudal total $1.14 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$

Evaluación del geotextil

Criterio de retención

Dado que el relave es un suelo cohesivo con un índice de plasticidad de $17.61 > 7$, se debe cumplir que $TAA < 0.30 \text{ mm}$, dado que TAA del geotextil es 0.15 , entonces cumple.

Criterio de permeabilidad

Dado que el porcentaje de finos es mayor al 50%, Se debe cumplir $k_g > 10 * k_s$, siendo $k_s = k = 1 \times 10^{-6} \text{ m/s}$ y $k_g = \text{permeabilidad del geotextil} = 3.6 \times 10^{-3} \text{ m/s}$, es mucho mayor a 10 veces k , por lo que cumple.

Criterio de colmatación

También cumple este criterio dado que posee una porosidad $> 80\%$.

Criterio de durabilidad

Al ser fabricado de polipropileno, no son biodegradables y altamente resistentes al ataque químico.

Calculo hidráulico para el geodrén

Evaluación según la permitividad del sistema

Cuando se use este geocompuesto como medio filtrante para grandes caudales, se debe revisar la cantidad de flujo volumétrico que puede pasar por unidad de área (tasa de flujo), en el plano normal al geodrén, frente a la cantidad de flujo volumétrico a evacuar por metro lineal. Para lo cual se realiza el siguiente procedimiento:

Teniendo el caudal que se requiere pasar por el filtro, el cual es el caudal calculado por metro lineal de subdrén, se calcula la permitividad requerida del geotextil, haciendo uso de la ecuación de D'arcy.

$$\psi_{req} = \frac{Q}{\Delta h \cdot H \cdot L} \quad \text{Ecuación 3.2.25}$$

Donde:

- ψ_{req} = Permitividad requerida del geotextil, k/t.
- Q = Caudal total a evacuar calculado.
- Δh = Cabeza hidráulica, que es igual a la altura del geodrén.
- A = Área conformada por la cara perpendicular a la entrada del caudal.
- H = Altura del geodrén.
- L = Longitud del tramo de drenaje en consideración.

Siendo para nuestro caso:

- Δh = 0.8 m
- H = 2 m

Lo que nos da un $\psi_{req}=3.57 \times 10^{-6}$ 1/s

$$\psi_{adm} = \frac{\psi_{ult}}{FR_{SCB} \cdot FR_{CR} \cdot FR_{IN} \cdot FR_{CC} \cdot FR_{BC}} \quad \text{Ecuación 3.2.26}$$

Donde:

- ψ_{adm} = Permitividad admisible.
- ψ_{ult} = Permitividad última, entregada por el fabricante.
- FR_{SCB} = Factor de reducción por colmatación y taponamiento.
- FR_{CR} = Factor de reducción por creep o fluencia.
- FR_{IN} = Factor de reducción por intrusión.
- FR_{CC} = Factor de reducción por colmatación química.
- FR_{BC} = Factor de reducción por colmatación biológica.

Para nuestro caso:

- ψ_{ult} = 1.8 1/s
- FR_{SCB} = 10
- FR_{CR} = 3
- FR_{IN} = 1.2
- FR_{CC} = 1.5
- FR_{BC} = 5

Lo que da un $\psi_{adm} = 6.67 \times 10^{-3}$ 1/s

Siendo el factor de seguridad:

$$FS_g = \frac{\text{Permitividad Admisible}}{\text{Permitividad Requerida}} \quad \text{Ecuación 3.2.27}$$

Entonces el factor de seguridad es igual a: 1867 mayor a 1

Evaluación de la conducción del agua en el plano del geodrén

Una vez se ha verificado que el geotextil permite la entrada del caudal total al sistema, se debe revisar la capacidad del geodrén para transportar una cantidad de flujo volumétrico en su plano, conduciéndolo de esta manera a un sistema de evacuación. Esta capacidad del geodrén se conoce como tasa de flujo.

La tasa de flujo requerida es igual a:

$$q_w = \frac{Q}{L} \quad \text{Ecuación 3.2.28}$$

Lo que da una tasa de flujo requerida de $5.71 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

Al estar inclinado el geodrén un talud de 1:2 se utiliza una gradiente hidráulico de 0.1 y el esfuerzo normal sobre el relave se calcula multiplicando su peso específico (2.8 g/cm^3) por la altura de almacenamiento que es igual a 0.8 m, lo que es igual a 21.97 kPa. Con estos datos entramos al gráfico de la Imagen 3.4 para obtener la tasa de flujo última del geodrén, que es igual a $2.1 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ con lo cual obtenemos la tasa de flujo admisible por la

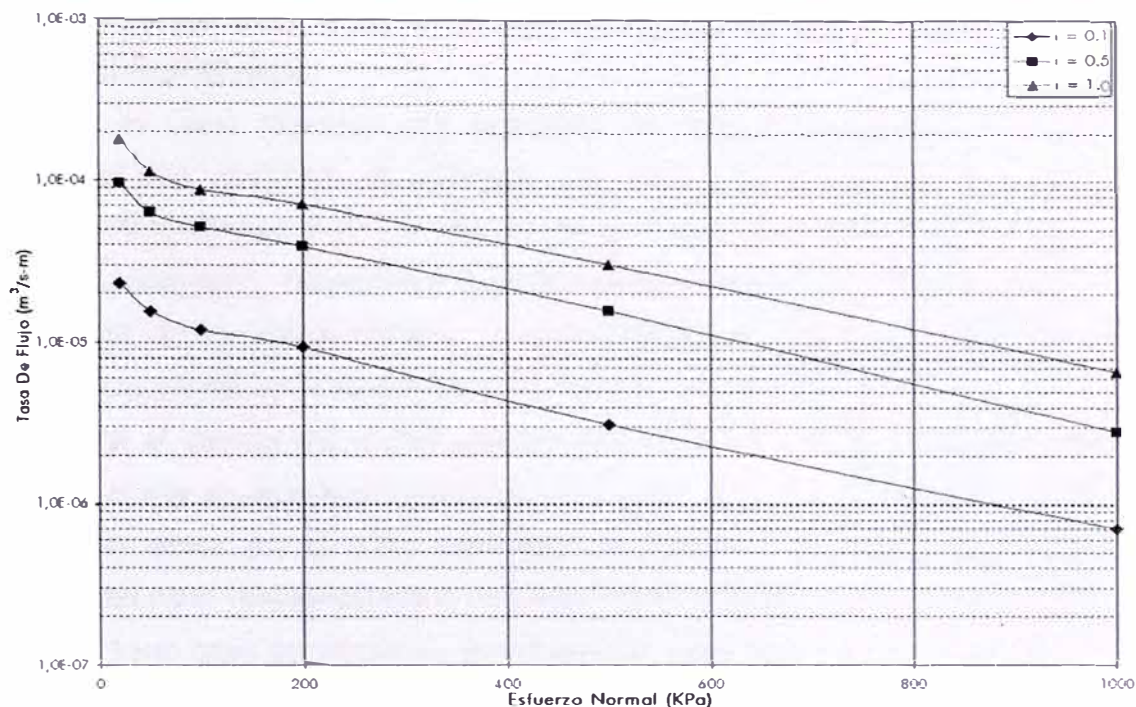


Imagen 3.4 Tasa de flujo en función del gradiente hidráulico y el esfuerzo normal para el geodrén 1600/1600/4 mm.

$$q_{adm} = \frac{q_{ult}}{FR_{CR} \cdot FR_{IN} \cdot FR_{CC} \cdot FR_{BC}} \quad \text{Ecuación 3.2.29}$$

Para nuestro caso:

$$q_{ult} = 2.1 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$FR_{CR} = 1.5$$

$$FR_{IN} = 1.4$$

$$FR_{CC} = 1.5$$

$$FR_{BC} = 1.5$$

Lo que da un $q_{adm} = 6.67 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

Siendo el factor de seguridad igual a 1.167, lo que significa que el geodrén cumple.

Sistema de evacuación de líquidos captados por el geodrén

El caudal drenado en un depósito de relaves si se piensa entregar a los cauces naturales debe ser tratado, de otro modo no puede dejarse discurrir ni evaporar porque los contaminantes disueltos son arrastrados con ella causando un alto impacto ambiental, otra solución es recircular el agua por un sistema diseñado, tomando en cuenta la agresividad de esta agua en los elementos

componentes del sistema de recirculación y en el proceso final para el que se esta destinando el agua.

En el caso practico del depósito de relave construido, el caudal de evacuación del sistema de drenaje es de $1.14 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$, que debe ser transportado hasta la tubería existente de la planta chancadora que lleva el agua para la recirculación, Esta tubería se encuentra tendida en el talud de acceso a la parte alta de la concentradora, siendo esta de 4". Dado que la magnitud del caudal es pequeña, este se comporta como un canal circular.

Para el diseño del canal circular se calcula el mínimo diámetro requerido y se selecciona el siguiente diámetro comercial. Una vez conocido el caudal de diseño que entra en el tubo utilizando la formula racional, se determina el diámetro del tubo requerido para conducir dicho caudal. Es usual suponer que el tubo fluye lleno bajo condiciones gravitatorias, pero que no se presuriza, luego la capacidad del tubo puede calcularse utilizando las ecuaciones de Manning o de Darcy-Weisbach para el flujo de canales abiertos.

Para el caso practico hemos usado la ecuación de Manning, que se muestra en la **Ecuación 3.2.30**.

$$Q = \frac{S_f^{1/2} \cdot A \cdot R^{2/3}}{n} \quad \text{Ecuación 3.2.30}$$

En donde:

- Q: Caudal (m^3/s)
- S_f : Pendiente (m/m)
- A: Área hidráulica (m^2)
- n: Coeficiente de Manning

De donde derivamos la siguiente ecuación:

$$D = \left(\frac{3.21 \cdot Q \cdot n}{\sqrt{S_o}} \right)^{3/8} \quad \text{Ecuación 3.2.31}$$

En planta para conseguir un diseño acorde con la topografía hemos usado 3 tramos horizontales, este diseño tomando en cuenta la topografía nos permitió un diseño en perfil de 2 tramos, un primero con 5% de pendiente y un segundo de 1% de pendiente, en la Tabla 3.2.10 se diseñan los diámetros por medio de la

Tabla 3.2.10 Diseño del diámetro de la tubería de descarga.

Tramo	Q (m ³ /s)	n	S (m/m)	D (m)
1	0.000114	0.014	0.05	0.018
2	0.000114	0.014	0.01	0.025

El diseño nos indica que la tubería a usar debe tener un diámetro mayor a 2.5 cm o 1", por no contar con diámetro menor usamos un diámetro de 3".

Tanto el eje horizontal como el perfil de la tubería de 3" diseñada para conectarse con la tubería de recirculación, se muestra en el plano [PR-DR-01](#).

3.2.2 Análisis de viabilidad

El análisis de viabilidad determina los niveles máximos en que el diseño final puede llevarse a cabo y lo compara con los procesos constructivos de las diferentes alternativas de diseño. Este análisis es económico y el cuantificador es el concepto de dinero. El análisis de viabilidad da un límite máximo para diseñar.

Capítulo IV

Diseño de depósitos de relaves

Propondremos una metodología que ayude al ingeniero a diseñar depósitos de relave. Se diseñará para que el producto final cumpla una función determinada de acuerdo a los requerimientos establecidos. Todo diseño posee una metodología general similar que se muestra en la Imagen 4.1.

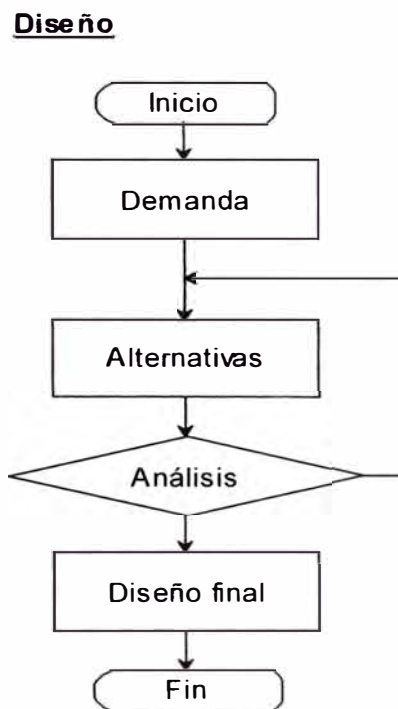


Imagen 4.1 Diagrama de flujo general del diseño.

Al iniciar el diseño el ingeniero requiere de establecer cuales son los requerimientos o demandas que el producto final debe satisfacer, estas son finalmente las funciones que debe cumplir el producto final, ¿cómo lograr establecer estos requerimientos para un depósito de relaves? Este punto se trata con detalle en el Numeral 4.1 : "Requerimientos o demandas del diseño". Después de establecer una lista de funciones que el diseño debe cumplir, se desarrollan alternativas para cada función y de acuerdo a un orden como se establece en el Numeral 3.1 : "Planteamiento de alternativas". Estas

alternativas son analizadas científica y económicamente para ver cuales son realizables, este punto se trata en detalle en el Numeral 3.2 : Análisis de alternativas. Finalmente entre las alternativas consideradas realizables, se determina cual posee un mejor desempeño y es más eficiente, para ser considerada el diseño final, al cual aun hay que realizar ajustes para tener un producto terminado, como se explica en detalle en el Numeral 4.2 : Diseño Definitivo.

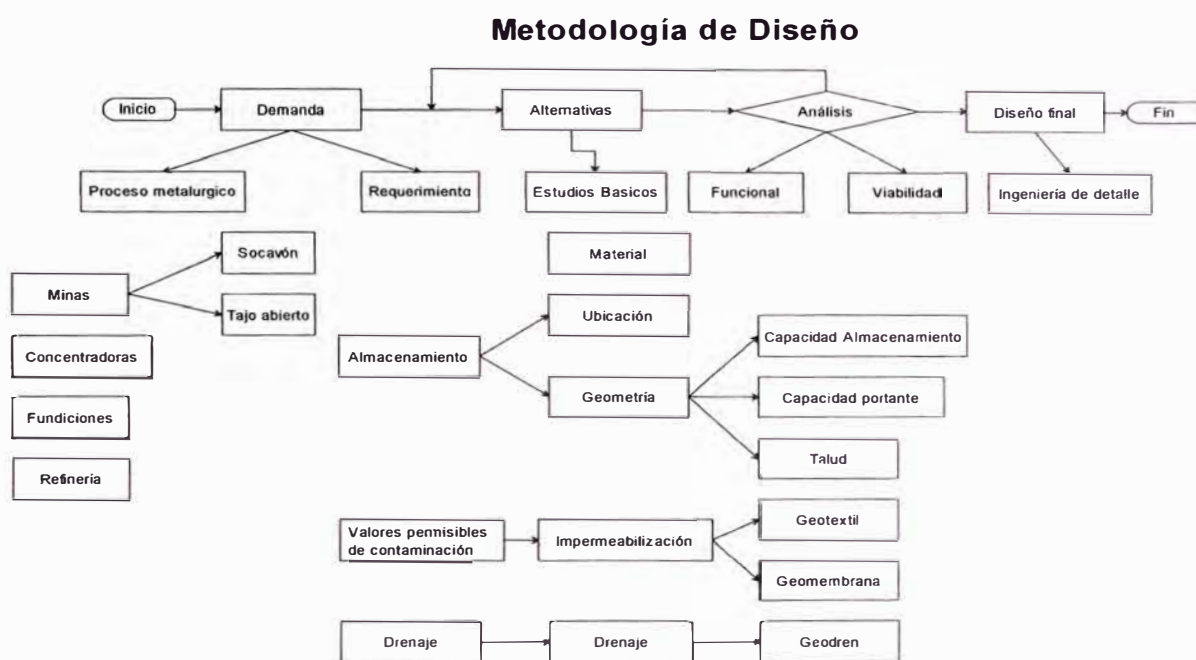


Imagen 4.2 Flujo detallado del diseño

4.1 Requerimientos o demandas del diseño

Para iniciar el diseño el ingeniero debe de tener claro que requerimientos tiene que cumplir el depósito de relaves, Se desarrolla a continuación el listado de requerimientos.

4.1.1 Almacenamiento

Es necesario conocer que volumen de relave se va a almacenar, para esto se debe conocer el proceso productivo que tiene como excedente este material de relave.

CAP. IV: Diseño de depósitos de relaves

Los métodos de explotación de producción masiva, como el Cielo Abierto ("Open pit"), Hundimiento por Bloques y Hundimiento por Subniveles, son los que producen mayor impacto ambiental. Por cada tonelada metálica extraída, se dejan 600 t o mayor volumen de escombros en los espacios geográficos; por lo tanto, tendrían los días contados en la faz de la tierra, si los estados y los gobiernos desearan realmente frenar la contaminación ambiental.

Como ejemplo de esto desarrollamos para el depósito de relaves construido el proceso de la planta piloto de la Universidad Nacional de Ingeniería:

La planta concentradora piloto ubicada en la Universidad Nacional de Ingeniería se proyecta a tener una producción máxima diaria de 20 TN (En la actualidad se están produciendo 1 TN diaria) de mineral con una alta ley de cabeza, con un porcentaje de excedente en relave entre 40 % a 35 % lo que equivale a 8 TN.

4.1.2 Valores permisibles de contaminación

Los valores permisibles de acuerdo a ley están dados en las tablas que se muestran en el Numeral 1.2 : "Normas para el diseño de depósito de relaves", mientras que los valores de emisión del proceso metalúrgico deben darse por conocimiento del mismo proceso en si y por un estudio medio ambiental que realice un control permanente de los factores medio ambientales.

Como ejemplo practico mostramos los objetivos de producción, los productos y desechos que la planta concentradora, tomada como ejemplo practico, realiza.

La planta concentradora piloto de la Universidad Nacional de Ingeniería apoya al estudiantado con practicas, mostrando todos los procesos que una planta concentradora debe tener y a los pequeños mineros formales en el procesamiento de los minerales que extraen, La planta busca dar valor agregado a la materia prima así como esta en la búsqueda de algún producto en el cual pudiera ser utilizado el relave, mientras tanto se planifica encapsular la zona de relaves.

Entre los principales minerales que produce la planta están el plomo, la plata y el zinc

Entre los principales componentes químicos que componen los relaves de la planta se encuentran la cal, el sulfato de cobre y el sulfato de zinc.

4.1.3 Drenaje

Para asegurar la capacidad de almacenamiento y la estabilidad de los depósitos, los proyectos requerirán de un sistema de drenaje, que evite la obstrucción de los drenes y consolide rápidamente el relave, asegurando e incrementando al máximo la capacidad de almacenamiento.

Para este objetivo es necesario conocer la cantidad de agua que acompaña a los sólidos en el material del relave, esto se logra principalmente conociendo el proceso productivo.

A continuación se da como ejemplo la descripción de la cantidad de agua que utiliza la planta piloto que concierne a nuestro trabajo de campo:

La cantidad de agua que se acompaña al excedente en el relave en la planta concentradora piloto ubicada en la Universidad Nacional de Ingeniería llega a ser mas del doble en peso, por lo que se estaría usando entre unos 20 m³ a 30 m³. La planta busca optimar sus recursos por lo que el uso del agua diaria para el relave se establece en unos 20 m³.

4.2 Diseño Definitivo

El diseño definitivo se expresa finalmente en planos , en los cuales se muestran primero los estudios básicos realizados y posteriormente las soluciones planteadas para cada requerimiento, por lo general cada una de estas soluciones se plantean en planos diferentes, con lo que se pueden ver como se soluciona cada requerimiento independientemente.

Los planos elaborados en el estudio definitivo son los siguientes:

1. Plano de ubicación
2. Topografía de la zona de proyecto
3. Planta del depósito de relaves
4. Secciones transversales
5. Distribución de paneles de geomembrana
6. Distribución de paneles de geotextil
7. Distribución de paneles de geodrén planar.
8. Detalles de instalación de geosintéticos
9. Plano de Cuencas y obras de drenaje.

Los cuales se incluyen en el 0.

Capítulo V

Expediente Técnico

El producto final del diseño se debe resumir en documentos que sean útiles para la revisión por las autoridades competentes, pero sobre todo útiles para el proceso constructivo.



Imagen 5.1 Depósito de relaves terminado.

5.1 Memoria descriptiva

5.1.1 Objetivo

La función de la poza será la de contener los relaves, los cuales son el resultado de la planta de procesamiento que tiene la Facultad de Ingeniería de Minas de la UNI.

5.1.2 Ubicación

La poza de relaves se ubicará en el Departamento de Lima, Provincia de Lima, Distrito del Rímac, dentro de la Universidad Nacional de Ingeniería, cercana a la cancha de Fútbol de la Facultad de Ingeniería de Minas.

5.1.3 Descripción de obras

La poza tendrá forma trapezoidal, siendo el largo de 8m y el ancho de 6m, en la parte superior, y en la base con medidas de 4m de largo por 2m de ancho.

5.2 Especificaciones técnicas

5.2.1 Trabajos preliminares y complementarios

Los trabajos preliminares y complementarios tienen por objetivo preparar el terreno de obra para los trabajos de movilización y herramientas necesarias para el desarrollo de los trabajos.

También se considera la instalación del cartel de seguridad de dimensiones 0.70m x 0.30m, en el cual se indica "ZONA DE TRABAJO"

Movilización y Desmovilización

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

Para el transporte del equipo a la obra se utilizarán los caminos existentes, con las adecuaciones necesarias que se efectúen durante el período de construcción. Durante esta actividad se evitará causar daños a terceros y propiedades de terceros, los que en caso de ocurrir serán de cargo y costo del Grupo 2.

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

Se presentará la siguiente información:

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

Carteles de Obra y Seguridad

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

Las dimensiones del letrero de obra serán de 0.6m de largo por 0.2m de alto y estará en la zona de la poza.

Trazo y Replanteo

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

El Grupo 2 realizará todos los trabajos de control topográfico requeridos para la ejecución de la obra de acuerdo a los planos de levantamiento topográfico y de obras proyectadas.

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

En los trabajos topográficos se utilizará el número suficiente de aparatos precisos, como estación total, niveles, teodolitos, etc., debidamente calibrados y en buenas condiciones para lo cual el Grupo 2 deberá presentar a la Supervisión los certificados de calibración o documentos similares que acrediten la calibración correspondiente. Antes del inicio de cada trabajo con estos equipos, el Grupo 2 deberá asegurarse de que los equipos se encuentren debidamente calibrados, cualquier error topográfico debido al mal estado y a la incorrecta calibración de los equipos, será de completa responsabilidad del Grupo 2.

Medición y Pago

Las obras preliminares y temporales se pagarán de acuerdo a las unidades indicadas en las partidas correspondientes y/o a los precios globales.

Para el caso de movilización y desmovilización, la medición para el pago correspondiente considerará las distancias de los traslados, el peso y volumen de los equipos transportables lo que influirá en el tonelaje y capacidad de los vehículos de transporte, así como la instalación y desmantelamiento de estas. Se considerará 60% cuando se haya cumplido con la movilización de equipo y maquinaria y 40% cuando se efectúe la desmovilización.

Los letreros de obra se medirán por unidad, ejecutados de acuerdo a las presentes Especificaciones.

Trazo y replanteo se pagará de acuerdo a las unidades indicadas en las partidas correspondientes (m²).

5.2.2 Movimiento de tierras

Excavaciones

De acuerdo con las especificaciones contenidas en esta sección y según se muestra en los planos o como se ordene, se deberá efectuar todas las excavaciones a cielo abierto y cualquier otra excavación requerida para la cabal ejecución de la obra, así como la eliminación del material excedente.

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

Clasificación de las Excavaciones

Para los fines de medición, las excavaciones serán clasificadas según el tipo de material excavado.

a. Excavación en Material de Relave

La excavación consiste en el levantamiento de todos los materiales que pueden ser removidos a mano, con excavadora, o con equipos de movimiento de tierra sin escarificar.

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

Método de Excavación

La excavación se ejecutará con el equipo de excavación y transporte que sea adecuado para este tipo de trabajo y debe ser concordante con lo indicado en los respectivos análisis de precios unitarios.

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

El plan de excavación podrá sufrir variación, previa aprobación de la Supervisión.

Disposición (eliminación) del Material de Excavación

Cuando el material proveniente de las excavaciones vaya a ser utilizado para la ejecución de rellenos, éste podrá ser descargado y almacenado temporalmente

CAP. V: Expediente Técnico

a un costado de las excavaciones o en otro sitio, siempre y cuando no se debilite la estabilidad de los taludes o haya peligro de caída de material. El material excedente será dejado a un costado de la obra debido a que se reutilizará parte de éste.

Medición y Pago

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

Se comunicará a la Supervisión cada vez que encuentre roca fracturada o roca fija en la excavación. Si se dejara de avisar a la Supervisión sobre la presencia de roca en las excavaciones, ésta será medida y pagada como material suelto.

Corresponde a la Supervisión la labor de clasificación y valorización de los metrados ejecutados.

Rellenos

Descripción de los Trabajos

Los rellenos deberán ser construidos según el trazo, alineamientos y secciones transversales indicados en los planos.

Compactación de la Superficie de Apoyo

La preparación de la superficie será hecha humedeciéndola con agua y compactándola con pasadas de rodillo o vibradores manuales, según sea el caso. La compactación requerida será del 95% del Próctor Standard para suelos cohesivos y del 80% de densidad relativa para suelos granulares. En el caso de materiales especiales como en el caso de material de relave se hará la consulta respectiva a la Supervisión.

Medición y Pago

Los rellenos se medirán y pagarán por m³ según los metrados de acuerdo al volumen teórico, siguiendo las indicaciones de los planos respectivos y clasificando el material excavado.

Perfilados

Descripción de los Trabajos

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

Métodos de Perfilados

Los trabajos de perfilados serán realizados según la extensión de la zona a trabajarse, para secciones pequeñas se realizará de forma manual, en caso de áreas mayores el trabajo se realizará con equipo.

Medición y Pago

Los trabajos de perfilado serán medidos y pagados por m² según los metrados de acuerdo al área trabajada, siguiendo las indicaciones de los planos respectivos y las indicaciones del supervisor.

5.2.3 Suministro y Colocación de Geotextil 200 gr/m² de protección

Una vez excavado se colocará en el terreno un geotextil de protección de 200gr/m² el cual evitará los posibles punzonamientos de la geomembrana.

Alcances

Comprende el suministro de la mano de obra, material y equipo para la ejecución de las obras necesarias para la colocación del geotextil. Este se ubicará y tendrá las dimensiones especificadas en los planos y el proceso de instalación y control de calidad serán las que se especifiquen.

Generalidades

Este tipo de Geotextil No tejido debe estar compuesto de fibras de polipropileno, agujado y estabilizado frente a los rayos UV. Cumplirán las siguientes funciones: Separación (anticontaminante), Drenaje (el fluido pasa a través, sin ninguna dificultad), filtro (abertura de poros controlada), refuerzo (redistribuye las cargas) y principalmente protección de la geomembrana (colchón protector).

Debe tener excelentes propiedades mecánicas tales como: resistencia a la tensión y punzonamiento.

Certificación ISO

El geotextil suministrado a la obra debe contar con el Certificado ISO 9001:2000 y el laboratorio de control de calidad del fabricante debe tener una certificación nacional o internacional que garantice la frecuencia de ensayos.

Procedimiento de Instalación

El sentido de su instalación debe tomar en cuenta el sentido de la Geomembrana de PVC.

El siguiente panel debe ser colocado sobre el panel anterior instalado con un traslape mínimo de 0.30m. Con la colocación de varios paneles, las uniones y sobre posiciones deben estar alternadas.

En los trechos en curva el geotextil será colocado formando traslapes no paralelos in céntricos por sobre posición.

La colocación del geotextil quedará lo suficientemente suelto sobre la superficie, evitando así el exceso de esfuerzos.

En las esquinas vivas se colocara una faja adicional de geotextil o creando una sobre posición.

Se debe tomar todo el cuidado para que las partículas y objetos punzo cortantes no vayan a intercalarse entre ellos.

En los taludes los paneles deben ser desenrollados de preferencia en el sentido de la inclinación del talud y sólidamente anclado en la cresta.

La unión transversal del geotextil será realizada por un simple traslape, costura o sellado por fusión.

Antes de la cobertura, el geotextil debe ser inspeccionado por un inspector certificado o por el Ingeniero para asegurar que el geotextil no haya sido dañado durante la instalación (p.e., Agujeros, Rasgaduras, Uniones, Descosidas, etc.).

Los geotextiles muy dañados(1.00m de rotura), como lo haya identificado el Ingeniero, deben ser eliminados.

Para garantizar que no se mueva el sistema de geosintéticos estos deben ser anclados en forma conjunta.

Para colocar la geomembrana sobre el geotextil asegurarse de que el anclaje preliminar sea efectuado. Este anclaje será mediante bolsas de arena o material del lugar de 2/kg aprox. Distanciados 1.00m entre ellos.

Trincheras de Anclaje

En lo que refiere las trincheras de anclaje, el Contratista tendrá especial cuidado en la colocación y compactación del relleno, de forma tal que; ésta no ocasione

ningún daño al geotextil y que el relleno de las zanjas se ajuste a las especificaciones dadas para la compactación.

Trabajos Previos

Excavación y preparación del terreno

Perfilado de taludes

Excavación y Relleno de las zanjas de anclaje

Suministro

Transporte del personal técnico y equipos

Transporte de los materiales (Geotextil, etc.)

Personal no calificado (cuadrilla básica de 8 peones)

Movilidad interna en obra: de personal, materiales y equipos.

Reparaciones

En referencia, a todo otro defecto que pudiera presentarse en el transcurso de los trabajos de instalación, como son punzonados, rasgaduras, huecos, etc., serán debidamente marcados, identificados, reparados, y documentados totalmente.

Las reparaciones de agujeros serán mediante el recubrimiento del área afectada, con un pedazo ovalado de geotextil (parche con 30cm mayor que el defecto) y sellado por fusión o costura continua.

Todas las reparaciones serán documentadas y reportadas al Ingeniero Supervisor como parte integral del procedimiento de control de calidad, con la siguiente información:

- Fecha y hora
- Identificación del proyecto
- Identificación de la reparación
- Identificación del técnico.

Control de Calidad

El etiquetado, envío y almacenaje deben seguir la norma ASTM D 4873. Las etiquetas de los productos deben mostrar claramente el nombre del fabricante o del proveedor, nombre del estilo y el número del rollo.

Cada documento de envío debe incluir una nota certificando que el material cumple con el certificado del fabricante.

Para garantizar el buen desempeño del geotextil, es necesario un control de ejecución tomando en cuenta:

Antes de la instalación del geotextil:

Verificar si las condiciones de preparación del terreno corresponden a las especificaciones del proyecto y a aquellas que condujeron a la elección del geotextil.

Durante la instalación del geotextil:

La orientación y distribución de los paneles.

La buena ejecución de las uniones, en particular, el sentido y tamaño de las sobre posiciones de los paneles.

El cuidado con relación al levantamiento de los paneles por la acción del viento

El impedimento de la circulación de vehículos y equipos sobre el geotextil.

Tamaño de anclajes

El estado del geotextil (rasgos agujeros, etc.)

Durante la colocación de la Geomembrana de PVC

Verificar que las partículas de piedra u otro material corto punzante no vaya a intercalarse entre ellos.

Certificación e Informe Final de obra

Una vez finalizados todos los trabajos de instalación del geotextil, el Contratista, presentará un informe final de obra certificando todos los resultados obtenidos y trabajos realizados según los requerimientos técnicos de diseño y el presente procedimiento de control de calidad. El informe será presentado al Ingeniero Supervisor.

El informe final contendrá la información siguiente:

Listados de todos los documentos concernientes al proyecto

Listado de todo el personal que participó a la ejecución del proyecto

Descripción de todos los trabajos ejecutados

Descripción de los métodos de instalación utilizados

Certificación completa del trabajo

Plano a escala "como construido", donde se indicará la posición de paneles de geotextiles y su numeración.

Medición y Pago

Esta se medirá en metros cuadrados de geotextil colocado e instalado, debiéndose cumplir con las normas y criterios expuestos

5.2.4 Suministro y Colocación de Geomembrana HDPE

Sobre el geotextil de protección se colocará la geomembrana la cual cumple la función de impermeabilizar el terreno de las sustancias contaminantes del relave. La geomembrana que se colocará será de 0.75mm.

ALCANCE DE TRABAJO

Estas Especificaciones incluyen los requerimientos para ejecutar y completar el trabajo pertinente a la impermeabilización de la obra "Poza de Relaves de la UNI".

El trabajo incluye, sin limitarse sólo a ello, abastecimiento e instalación de geomembranas.

Una vez que el Instalador de Geosintéticos (Instalador) encargado de la impermeabilización empiece a trabajar o empiece a colocar los materiales en un área determinada, se asumirá que éste acepta las condiciones de los aspectos de la Obra previamente completada por el Grupo de movimiento de tierras en esa área. Todo trabajo deberá completarse según el documento del informe de ingeniería, los planos de construcción y estas especificaciones técnicas.

Generalidades

Todo el suministro e instalación de Geosintéticos será realizado por el Instalador. El revestimiento de HDPE a ser entregado e instalado bajo este contrato deberá ser conforme a los requerimientos indicados aquí y en los planos de diseño. El revestimiento deberá ser fabricado en el máximo ancho y largo posible para minimizar el número de costuras en campo.

El Instalador deberá proporcionar al Propietario un certificado de cumplimiento firmado por un representante autorizado del Fabricante en el que se establezca lo siguiente:

- (1) que el material que será provisto cumple con las propiedades aquí especificadas;
- (2) que el instalador es aprobado por el Fabricante y cumple con las normas del Fabricante referentes a la calidad de instalación;
- (3) que toda la geomembrana será fabricada por el Fabricante en sus propias instalaciones y no será comprada a otros fabricantes o proveedores;

(4) que toda la resina usada para este proyecto será comprada a un solo proveedor y fabricada por un solo fabricante de resina, y que la elección de ese proveedor y ese fabricante deberá ser comunicada al Ingeniero.

Estos requerimientos se aplican al Instalador y al Fabricante incluso si no se proporciona tal certificado, a menos que el Ingeniero anule estas disposiciones por escrito.

Las Calificaciones del Fabricante:

El fabricante de la geomembrana del tipo especificado del producto similar tendrá por lo menos cinco años de experiencia en la fabricación de la geomembrana especificada. Además, el fabricante de la geomembrana habrá fabricado por lo menos 10 millones de m² del tipo de geomembrana especificado durante los últimos cinco años.

Experiencia del Instalador

El Instalador del material de revestimiento deberá haber demostrado anteriormente la capacidad de instalar la geomembrana al haber completado con éxito al menos diez proyectos con una combinación total de por lo menos 01 millón de metros cuadrados de material de revestimiento similar para instalaciones de contención de soluciones, bajo las mismas condiciones de terreno y de clima y para propósitos similares. Se deberá remitir una lista de proyectos de contención de líquidos similares completados en los que el material fabricado haya sido usado con satisfactoriamente, la cual será aprobada por el Ingeniero.

Presentación de Información de Ingeniería

El Instalador es responsable de proporcionar la información de ingeniería y de los resultados de los ensayos de control de calidad de los materiales de geomembrana antes de su embarque. Los resultados de todos los ensayos requeridos serán proporcionados por lo menos siete días antes del envío de los materiales al sitio del proyecto. Los materiales no deberán ser embarcados sin la aprobación previa del Ingeniero. El Instalador proporcionará la siguiente información de ingeniería antes de la construcción:

Planos con la distribución de los paneles con un detalle apropiado y un cronograma de la instalación de los Geosintéticos;

Un manual de instrucción donde incluya el apropiado almacenamiento, manejo, tendido, sellado, ensayos e inspección de la geomembrana. Este manual deberá estar en conformidad con estas especificaciones y cualquier condición de la garantía;

Certificados de control de calidad de la resina usada para la fabricación de la geomembrana.

La información a entregar de la resina deberá incluir fechas de producción y los resultados de los ensayos de control de calidad. Esta información de la resina deberá también incluir una declaración acerca de la no-utilización de polímeros reciclados. Todas las resinas deberán ser iguales de la misma calidad y tener certificación ISO 9001-2000.

Certificados de control de calidad de la geomembrana fabricada.

La información a entregar de la geomembrana deberá incluir fechas de producción, lote, número de lote y los resultados de los ensayos de control de calidad; El manual de control de calidad del Fabricante o Instalador; y, Los certificados ISO 9001-2000 requeridos del material y del fabricante. Para garantizar la calidad de la Geomembrana una muestra del material entregado en obra será enviada a un laboratorio para verificar que cumple con las propiedades especificadas.

Si los resultados de los ensayos del material no son proporcionados en un tiempo prudencial ó en un formato que permita su revisión adecuada, el Instalador pagará al Propietario (pago de penalidades) por el tiempo adicional y gastos (más 20%) que haya efectuado como resultado de la falta de cumplimiento de los requerimientos por parte del Instalador.

Las penalidades también serán establecidas por la revisión de nuevos informes que sean proporcionados sí los materiales ó informes originales no cumplieron con lo requerido en las especificaciones.

Entrega, Almacenamiento y Manejo de la Geomembrana

El Propietario será responsable por transportar, descargar y almacenar la geomembrana. Al momento de la entrega, el Propietario deberá inspeccionar la geomembrana para verificar que no haya daños antes de descargarlos en lugar de almacenamiento. Si se detectan materiales defectuosos, éstos deberán ser reemplazados por el Fabricante, sin ningún costo adicional para el Propietario.

CAP. V: Expediente Técnico

El Instalador será responsable de la geomembrana y de cualquier daño ocasionado a la misma, una vez que el material sea entregado por el Propietario en el área de almacenaje en la mina. Todos los rollos dañados serán separados del material no dañado. La disposición final de los rollos dañados será determinada por el Ingeniero.

El Instalador será responsable por reemplazar cualquier Geomembrana considerada inaceptable debido a daños ocasionados en el sitio, sin que esto represente costo alguno para el Propietario.

Una vez que los rollos de geomembrana hayan sido trasladados, serán colocados en pilas de no más de tres rollos sobre una superficie previamente preparada. La superficie será preparada de tal manera que el revestimiento no esté expuesto a rocas u objetos punzo-cortantes, agua, aceite, petróleo u otras condiciones nocivas. Los rollos de geomembrana no deberán ser colocados sobre paletas.

Material

Los materiales descritos en esta Sección incluyen la resina de geomembrana, especificaciones, rollos de geomembrana y cordones o elementos granulares de extrusión de polietileno, usados en el proceso de soldadura. La geomembrana HDPE deberá ser fabricada en una planta debidamente certificada que será aprobada previamente por el Ingeniero, además, deberá ser elaborada por un mismo Fabricante. El Instalador deberá entregar la información apropiada de la geomembrana según se describe en estas especificaciones.

El proyecto considera la utilización de Geomembrana de HDPE de 0.75mm.

MEDICIÓN Y PAGO

La geomembrana deberá ser medida en metros cuadrados contabilizados de las secciones indicadas en los planos y/o de las indicadas por escrito por la Supervisión. Este metrado incluye los traslapes.

Las cantidades aceptadas de geomembrana deberán ser pagadas al precio unitario por metro cuadrado indicado en las partidas.

5.2.5 Suministro y Colocación de Geodrén

Se instalará un geodrén en los 4 lados de la poza para drenar el agua hacia la tubería HDPE de 2" que se colocará en la zanja excavada en la base de la poza,

para que finalmente se conecte a una tubería que tiene instalada la Facultad de Ingeniería de Minas.

Descripción

Este trabajo consistirá en la provisión y colocación de un geocompuesto como subdrén en el talud de la poza de relaves, el cual conducirá el agua a través de la geomanta, y la conducirá a la tubería que se encuentra en la base de la poza.

Materiales

El geocompuesto de drenaje deberá estar compuesto por un núcleo drenante envuelto por dos geotextiles no tejidos. El núcleo drenante deberá ser una geomanta tridimensional fabricada con filamentos de polipropileno fundidos en los puntos de contacto. Los geotextiles deberán ser no-tejidos termoligados, de filamentos de poliéster, capaces de realizar la función de filtración. Los geotextiles deberán estar unidos al núcleo por termo soldado en toda el área de contacto. El geocompuesto deberá cumplir con las siguientes propiedades:

Propiedades	Unidades	Valores Requeridos
Espesor	mm	10
Peso	gr/m ²	750
Capacidad de Descarga a una presión de 20 Kpa en Drenaje Vertical	l/s.m	1,51

Método de Instalación

En el período de almacenaje, el geocompuesto deberá ser mantenido en su embalaje original para protegerlo de la intemperie. Si los rollos permanecieran por mucho tiempo en un lugar abierto, éstos deberán ser cubiertos.

Antes de colocar el geocompuesto y el tubo se deberá hacer un colchón de arena de 10 centímetros de espesor en el fondo de la zanja. El geocompuesto deberá colocarse en la zanja preparada para el drenaje desplazado hacia un costado sin contacto con las paredes del suelo natural, procurando que el tubo de drenaje quede al centro de la zanja. Luego se deberá rellenar la zanja con arena limpia compactándola debidamente.

Los traslapes al final de cada rollo serán de 20 centímetros en que se despegarán los geotextiles de la geomanta tridimensional de ambos rollos y se colocarán los núcleos drenantes en íntimo contacto para garantizar la perfecta continuidad del drén.

Método de Medición

El geocompuesto deberá ser medido en metros cuadrados contabilizados de las secciones indicadas en los planos y/o de las indicadas por escrito por la Supervisión. Este metrado excluye los traslapes.

Bases de Pago

Las cantidades aceptadas de geocompuesto deberán ser pagadas al precio unitario por metro cuadrado indicado en el contrato.

5.3 Cronograma

Tabla 5.3.1 Cronograma de avance de obra.

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

5.4 Metrado

Tabla 5.4.1 Resumen de metrados.

MATERIAL	Unidad	Longitud
Geotextil No Tejido (Rollo de 4m)	ml.	0
Geomembrana HDPE e = 1mm. (Rollo de 7m)	ml.	0
Geodren Planar (Rollo de 1.5m)	ml.	86
Tubería de HDPE , $\Phi = 2''$ (En Poza)	ml.	12
Tubería de HDPE , $\Phi = 2''$ (para Evacuar)	ml.	15
Tubería de HDPE , $\Phi = 2''$ (para relave)	ml.	30
Accesorio : Codos de HDPE , $\Phi = 2''$	und.	3
Accesorios : Y , de HDPE , $\Phi = 2''$	und.	1

5.5 Presupuesto

Tabla 5.5.1 Presupuesto de obra.

ITEM	DESCRIPCION	UND.	METRADO	P. U. US \$	PARCIAL US \$	SUBTOTAL US\$
01	TRABAJOS PRELIMINARES Y COMPLEMENTARIOS					90.00
01.01	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION	GBL	1.00	35.00	35.00	
01.02	CARTEL DE OBRA	Und	1.00	10.00	10.00	
01.03	TRAZO Y REPLANTEO PARA CANAL	GBL	1.00	45.00	45.00	
02	POZA DE RELAVES					1,407.30
02.01	EXCAVACION MANUAL EN MATERIAL DE RELAVE	m3	19.00	7.30	138.70	
02.02	ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE EN ZONA ALEDAÑA	m3	19.00	4.80	91.20	
02.03	SUMINISTRO Y COLOCACION DE GEOMEMBRANA DE HDPE 0.75 mm	m2	150.00	2.50	375.00	
02.04	SUMINISTRO Y COLOCACION DE GEOTEXTIL 200 GR/M2 DE PROTECCION	m2	150.00	0.90	135.00	
02.05	SUMINISTRO Y COLOCACION DE GEODRÉN	m2	94.00	7.10	667.40	
03	TUBERÍA DE CONDUCCIÓN					3,320.04
03.01	EXCAVACION EN MATERIAL SUELTO EN ZANJA	m3	4.80	7.30	35.04	
03.02	SUMINISTRO Y COLOCACION DE TUBERÍA DE HDPE 2"	ml	450.00	7.30	3,285.00	
	COSTO DIRECTO				US \$	4,817.34
	GASTOS GENERALES + UTILIDADES(20% C.D.)				US \$	0.00
	SUBTOTAL				US \$	4,817.34
	TOTAL SIN IGV				US \$	4,817.34

Conclusiones

1. Las metodologías de diseño son todas similares, aquí se presenta una que está especialmente desarrollada para ofrecer una respuesta a los requerimientos de depósitos de relave a proyectarse, aplicando principios técnicos con herramientas de cálculo simples como puede observarse en este informe.
2. Sólo un diseño creativo, que guarde armonía con los adelantos en la fabricación de equipo e insumos y el planeamiento de minado que involucre a la óptima ventilación, drenaje, alumbrado y relleno de áreas abiertas inhábiles, dará acceso a la obtención de los objetivos deseados.
3. Cada yacimiento, mina o industria presenta características peculiares respecto a altitud, clima, condiciones litológicas y mineralógicas, las cuales darán los parámetros específicos para el desarrollo de la ingeniería y el diseño de depósitos de relaves adaptados a cada caso particular, orientado al desarrollo sostenido y los postulados de la Cumbre de Río de Janeiro, la metodología de diseño puede adaptarse a cada una de estas circunstancias.
4. Con el uso de geosintéticos como material en el diseño se obtiene un mayor control de las dimensiones aplicadas, lo cual es más difícil con el uso de materiales granulares.
5. Los geosintéticos tienen aún muchas ventajas a explorar para el diseño de depósitos de relave, así como en las diversas obras de ingeniería, dado que es un material que recién se está utilizando.
6. El depósito de relaves construido es útil y está dispuesto para ser usado como modelo físico para el estudio del almacenamiento de relaves, el estudio de los procesos de secado, compactación, consolidación, propiedades físicas y químicas a lo largo del tiempo. Objetivo alcanzado que se planteó desde el principio.
7. En el diseño se consideró al material geosintético como un todo uniforme, sin analizar o diseñar las juntas por construcción, por lo que el proceso constructivo debe asegurar que las juntas trabajen igual o mejor que el geosintético colocado. El proceso constructivo usualmente asegura este requerimiento por medio de normas.

Recomendaciones

1. El Colegio de Ingenieros del Perú debería alcanzar al Congreso de la Republica un proyecto para la promulgación de una norma para el diseño y construcción de depósitos de relave, dada la cantidad de unidades mineras en el país y la masificación en la construcción de estas obras, cuya importancia y peligro al medio ambiente es elevado.
2. Es importante y traería mayores ventajas a las actividades mineras seguir investigando en geosintéticos, plantear nuevas alternativas de ellos y con ello es posible mejorar la metodología de diseño planteada en este informe.
3. Todas las empresas mineras de explotación subterránea, como las de cielo abierto, deben prestar atención a tener una metodología de diseño para depósitos de relave, para seguir operando en el futuro, si los estados y los gobiernos deciden proscribir la contaminación de los espacios geográficos frente a la grave amenaza de depredación del medio ambiente.
4. Es necesario un mayor estudio del comportamiento reológico del material de relave para permitir un mejor diseño del drenaje de este material, permitiendo así una mayor cantidad de material sólido almacenado, aumentando la eficiencia del diseño.
5. Es necesario promover mas el uso de geosintéticos, para contar así con una mayor cantidad de alternativas en forma y tipo de estos, dado que se cuentan con pocas opciones para el diseño, casi utilizando solamente soluciones ya planteadas por las empresas comercializadoras, que no necesariamente termina siendo el diseño tan eficiente como se desea.
6. La Universidad Nacional de Ingeniería debe tomar el liderazgo en cuanto a dar iniciativa de educación ambiental y diseñar alternativas de solución a los problemas ambientales, fomentando e incentivando los proyectos de investigación en este campo.

Bibliografía

- Castillo, Jorge Luis y Alba, Jorge (1994) *Peligro sísmico en El Perú* Tesis, Facultad de Ingenieros Civil, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú, 1994
- Chow, Ven T.; Maidment, D.R.; Mays, L.W. (1999). *Hidrología Aplicada* Mc Graw Hill Book Co. Santafé de Bogotá, Colombia.
- Congreso de la Republica (1993) *Constitución Política del Perú* (Promulgada el 29.dic.1993 y Ratificada en el Referéndum del 31.dic.1993)
- Departamento de Ingeniería – Geosintéticos (2006) *Manual de diseño* Séptima edición. PAVCO – AMANCO. Bogotá D. C., Colombia.
- Grupo 2 (2007) Trabajo Grupal: *Depósito de relaves*. Curso de Titulación: *Aplicación de los Geosintéticos en la Ingeniería Civil* - Lima, Lima, El Perú 2007. Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería
- Koerner, Robert M. (1998) *Designing with Geosynthetics*. Cuarta Edición, Pearson Education Inc.
- Manual del Software INSITU 32 (2007) <http://www.geoandsoft.com/manuali/espanol/insitu.pdf>
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2001) *Norma Técnica de Edificación S.110 Drenaje Pluvial Urbano*. R.M. 338-2001-MTC/15-04 del 25-07-2001, Lima, Lima , El Perú.
- Toledo, Fernando E. (2003) *Tecnología sostenida en la industria minera* Revista del Instituto de Investigación. Facultad Minas, Metalurgia y Ciencias geográficas; 6 (11): 32-39, Universidad Mayor de San Marcos. Lima, Lima, El Perú.
- Universidad Católica de Valparaíso (2007) *Metodología integrada para rehabilitar rellenos sanitarios y tranques de relave*. <http://icc.ucv.cl/fondef/fondefd00i1101/index.htm>.
- Vertematti, José Carlos (2004) *Manual Brasileiro de Geosintéticos*. Edgard Blücher Ltda. Sao Paulo, Brasil.
- Wikipedia (2007) <http://www.wikipedia.org/>

Anexos

Anexo I: Fotos



Imagen A.0.1 Fotografía satelital del área del proyecto.



Imagen A.0.2 Trazo y Replanteo en campo.



Imagen A.0.3 Excavación.

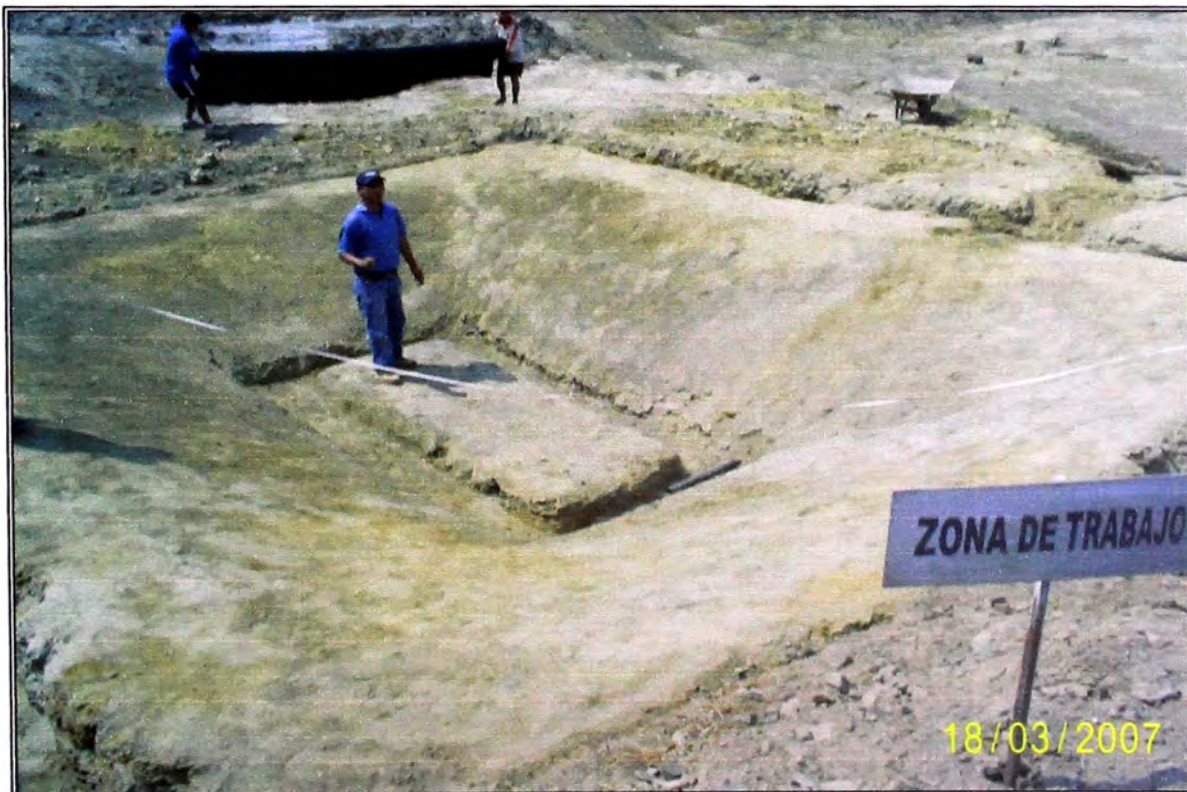


Imagen A.0.4 Perfilado.



Imagen A.0.5 Instalación de geotextiles.



Imagen A.0.6 Instalación de geomembrana.

Anexo II: Estudios Básicos

Registro de precipitaciones máximas en 24 horas

SENAMHI

OFICINA GENERAL DE ESTADISTICA E INFORMATICA

ESTACION MODELO /006617/DRE-01
PARAMETRO : PRECIPITACION MAXIMA EN 24 HORAS (mm)

LONG. 77° 02' "W"
LAT 12° 04' "S"
ALT 120 metros

DPTO LIMA
PROV LIMA
DIST EL SUS MARIÁ

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1995	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	0.9	0.6	0.0	0.0	0.0
1996	S/D	0.0	0.0	0.0	0.0	S/D	0.4	0.3	0.3	S/D	0.9	0.6
1997	0.0	1.2	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	1.0	2.1	0.1	0.7	0.8
1998	1.8	1.8	0.0	0.6	0.4	0.5	0.3	0.8	0.3	0.5	0.2	0.0
1999	0.0	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0
2000	0.5	0.1	0.0	0.0	0.0	0.8	0.8	0.6	0.4	0.0	0.0	0.2
2001	0.3	1.2	0.0	0.2	0.0	0.6	1.7	0.7	0.4	0.0	0.0	0.4
2002	0.0	1.7	0.0	0.0	0.0	0.3	0.8	0.8	0.2	0.1	0.7	0.0
2003	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.7	0.3	0.0	0.0	0.2
2004	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.3	0.0	0.2	S/D	0.0	0.2	0.0
2005	0.4	0.0	0.8	0.0	0.5	0.0	0.3	0.1	0.5	0.0	0.1	0.0
2006	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.8	0.1	0.2	0.2	0.3

S/D = Sin Dato

INFORMACION PREPARADA PARA EL SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGIA
LIMA 22 DE MAYO DE 2007



PROHIBIDA SU REPRODUCCION
PARCIAL O TOTAL

Registro de precipitaciones mensuales

Tabla II.1 Precipitación mensual de Lima (A. J. Chavez), periodo: 1993-1950

AÑO	TOTAL	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
1998	55.5	37.2	3.3	3.0	0.9	1.2	3.0	3.6	3.0	0.0	0.0	0.3	0.0
1997	75.0		15.0	54.0	1.2	1.2	0.0		3.6				
1993	8.8	0.0	0.0	0.1	0.0	1.2	0.0	3.3	1.2	2.3	0.5	0.0	0.2
1992	18.6	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	3.3	4.7	6.7	2.9	0.0	0.0
1991	13.9	0.1	0.0	0.1	0.1	3.2	2.6	1.0	1.2	1.8	1.4	0.6	1.8
1990	6.8	0.2	0.0	0.0	0.0	1.3	1.8	0.6	0.7	0.7	0.4	0.6	0.5
1989	3.8	0.0	0.5	0.6	0.0	0.0	0.1	0.2	1.5	0.6	0.0	0.1	0.2
1988	2.9	0.0	0.7	0.0	0.0	0.0	0.3	0.2	1.0	0.2	0.0	0.0	0.5
1987	0.8	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.4	0.1	0.0	0.0	0.0
1986	4.8	0.0	1.3	0.9	0.0	0.0	0.3	0.0	1.1	1.0	0.1	0.1	0.0
1985	5.1	0.0	2.5	0.3	0.1	0.1	0.1	0.9	0.1	0.7	0.1	0.1	0.1
1984	2.2	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.3	0.1	0.4	0.1	0.1	0.4	0.4
1983	8.1	0.6	0.1	0.7	0.2	0.9	1.5	2.0	0.8	1.0	0.1	0.1	0.1
1982	3.1	0.0	0.6	0.1	0.1	0.1	0.6	0.1	0.4	0.3	0.1	0.6	0.1
1981	9.9	3.8	0.1	0.1	0.6	0.1	0.1	1.1	3.6	0.1	0.2	0.1	0.0
1980	5.8	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	1.7	1.9	0.5	0.9	0.2	0.1	0.1
1979	7.3	0.0	0.0	1.4	0.0	0.8	0.9	1.1	1.1	0.8	0.1	0.1	1.0
1978	3.1	0.1	0.1	0.9	0.1	0.1	0.1	0.1	0.4	0.9	0.1	0.1	0.1
1977	3.9	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.4	0.9	0.6	0.4	0.3	0.1	0.6
1976	2.3	0.1	0.7	0.1	0.1	0.3	0.0	0.1	0.6	0.1	0.1	0.0	0.1
1975	2.6	0.1	0.1	0.1	0.1	0.5	0.1	0.4	0.8	0.1	0.1	0.1	0.1
1974	6.3	0.1	0.2	0.1	0.1	0.3	4.8	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
1973	2.0	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.3	0.1	0.2	0.5	0.1	0.1	0.1
1972	6.1	3.0	0.1	0.6	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	1.6	0.1	0.1	0.1
1971	10.7	2.6	0.3	0.0	0.0	0.1	0.9	0.3	6.0	0.2	0.1	0.1	0.1
1970	20.2	10.5	0.9	1.8	0.0	0.0	1.5	2.9	1.0	0.6	0.2	0.1	0.7
1969	8.7	0.1	0.1	0.1	0.5	0.2	2.8	0.4	3.2	0.1	0.9	0.1	0.2
1968	8.2	0.1	0.1	0.1	0.1	1.7	0.3	2.2	0.9	0.8	1.4	0.1	0.4
1967	13.4	0.4	2.4	3.4	0.1	0.1	0.5	1.7	1.6	2.8	0.1	0.1	0.2
1966	6.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.2	0.9	0.1	1.9	0.9	0.2	0.1	1.5
1965	7.5	0.1	0.2	0.5	0.1	1.1	0.2	0.1	1.1	3.7	0.2	0.1	0.1
1964	20.4	0.3	0.3	0.1	0.1	0.4	1.1	8.1	9.6	0.1	0.1	0.1	0.1
1963	3.5	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.3	0.1	1.0	0.8	0.4	0.2	0.1
1962	7.5	0.1	0.1	0.2	0.1	0.5	0.6	1.0	2.0	1.0	0.4	0.3	1.2
1961	8.4	0.4	0.2	0.4	0.1	0.1	0.1	3.6	1.1	1.9	0.3	0.1	0.1
1960	35.6	0.1	0.1	0.1	0.1	2.8	4.7	3.5	9.5	6.0	6.3	2.1	0.3
1959	38.8	0.1	1.0	0.4	2.4	2.9	1.6	8.6	9.9	4.0	1.6	3.8	2.5
1958	28.9	4.6	0.4	0.5	0.1	1.0	7.3	3.7	2.1	4.9	3.5	0.6	0.2
1957	36.1	0.1	1.6	1.0	0.1	3.2	0.3	3.3	3.8	11.8	5.4	1.5	4.0
1956	32.1	0.2	4.7	1.0	0.1	3.0	1.6	5.5	3.7	6.6	4.8	0.8	0.1
1955	60.1	8.3	2.0	0.8	0.1	0.8	4.2	10.5	7.5	11.1	12.3	1.3	1.2
1954	40.4	0.2	0.1	0.1	0.1	6.5	4.8	5.3	5.6	8.7	2.9	3.2	2.9
1953	69.9	0.2	1.1	4.3	0.3	6.5	6.2	12.2	13.4	10.2	4.2	6.3	5.0
1952	64.4	9.0	0.1	1.1	0.0	0.0	11.7	7.6	10.8	10.3	9.3	3.9	0.6
1951	18.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	4.6	2.5	6.9	3.1	0.1
1950	19.3	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	4.1	3.8	4.3	4.4	1.4	0.1	0.6

Fuente: CORPAC S.A. - Departamento de Climatología.

Elaboración: MINISTERIO DE AGRICULTURA - Oficina de Estadística Agraria.

Tabla II.2 Calculo de caudales mediante el método racional

Cálculo de Coeficiente C (Método Texas)

Pendiente	0.20
Infiltración	0.04
Cob. vegetal	0.12
Superficie	0.08
Total	0.44

Cuenca 01

Z1 (m.s.n.m.)	110
Z2 (m.s.n.m.)	108
L1 (m)	26
S	0.07692308

Kirpich

A (km ²)	0.00039
L (km)	0.026
S	0.07692308
tc (min)	0.64148747

Hazen y Williams

A (km ²)	0.00039
L (km)	0.026
S	0.07692308
tc (min)	1.38997956

tc_prom (min)	0.94427457
tc nom (min)	10

Racional

C	0.44
I100 (mm/hr)	1.96
A (km ²)	0.00039
Q (m³/s)	0.000093

Análisis

Análisis de estabilidad del talud 1

Propiedades del suelo

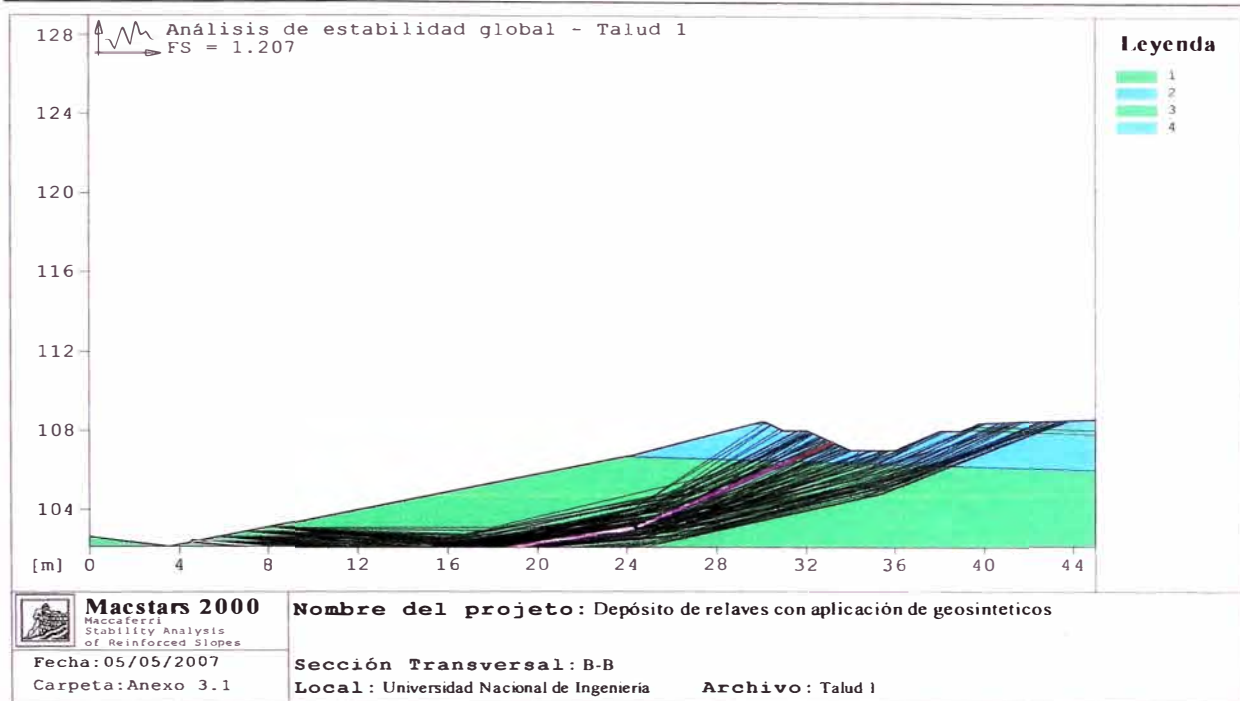
Suelo: 1	Descripción: SM
Cohesión	[kN/m ²]: 5.79
Ángulo de Fricción	[°] 15.01
Valor de Ru	0.00
Peso unitario – arriba del nivel del agua	[kN/m ³]: 16.00
Peso unitario – abajo del nivel del agua	[kN/m ³]: 15.01
Suelo: 2	Descripción: ML
Cohesión	[kN/m ²]: 5.79
Ángulo de Fricción	[°] 30.56
Valor de Ru	0.00
Peso unitario – arriba del nivel del agua	[kN/m ³]: 14.00
Peso unitario – abajo del nivel del agua	[kN/m ³]: 13.56
Suelo: 3	Descripción: SM
Cohesión	[kN/m ²]: 5.79
Ángulo de Fricción	[°] 25.00
Valor de Ru	0.00
Peso unitario – arriba del nivel del agua	[kN/m ³]: 15.00
Peso unitario – abajo del nivel del agua	[kN/m ³]: 14.32
Suelo: 4	Descripción: ML
Cohesión	[kN/m ²]: 5.79
Ángulo de Fricción	[°] 24.03
Valor de Ru	0.00
Peso unitario – arriba del nivel del agua	[kN/m ³]: 17.00
Peso unitario – abajo del nivel del agua	[kN/m ³]: 16.19

Sobrecargas

Efectos Sísmicos:

Aceleración [m/s²] : Horizontal = 1.67 Vertical = 0.49

Verificación de los resultados



Verificación de la estabilidad Global:

Talud 1

Fuerza actuante en los Refuerzos de acuerdo con el Método Rígido. Análisis de estabilidad con superficies circulares de acuerdo con el Método de Bishop

Factor de Seguridad Calculado : 1.207

Análisis de estabilidad del talud 2

Propiedades del suelo

Suelo: 1	Descripción: SM
Cohesión	[kN/m ²): 5.79
Ángulo de Fricción	[°] : 30.50
Valor de Ru	: 0.00
Peso unitario – arriba del nivel del agua	[kN/m ³): 16.00
Peso unitario – abajo del nivel del agua	[kN/m ³): 15.01
Suelo: 2	Descripción: ML
Cohesión	[kN/m ²): 5.79
Ángulo de Fricción	[°] : 30.56
Valor de Ru	: 0.00
Peso unitario – arriba del nivel del agua	[kN/m ³): 14.00
Peso unitario – abajo del nivel del agua	[kN/m ³): 13.56
Suelo: 3	Descripción: SM

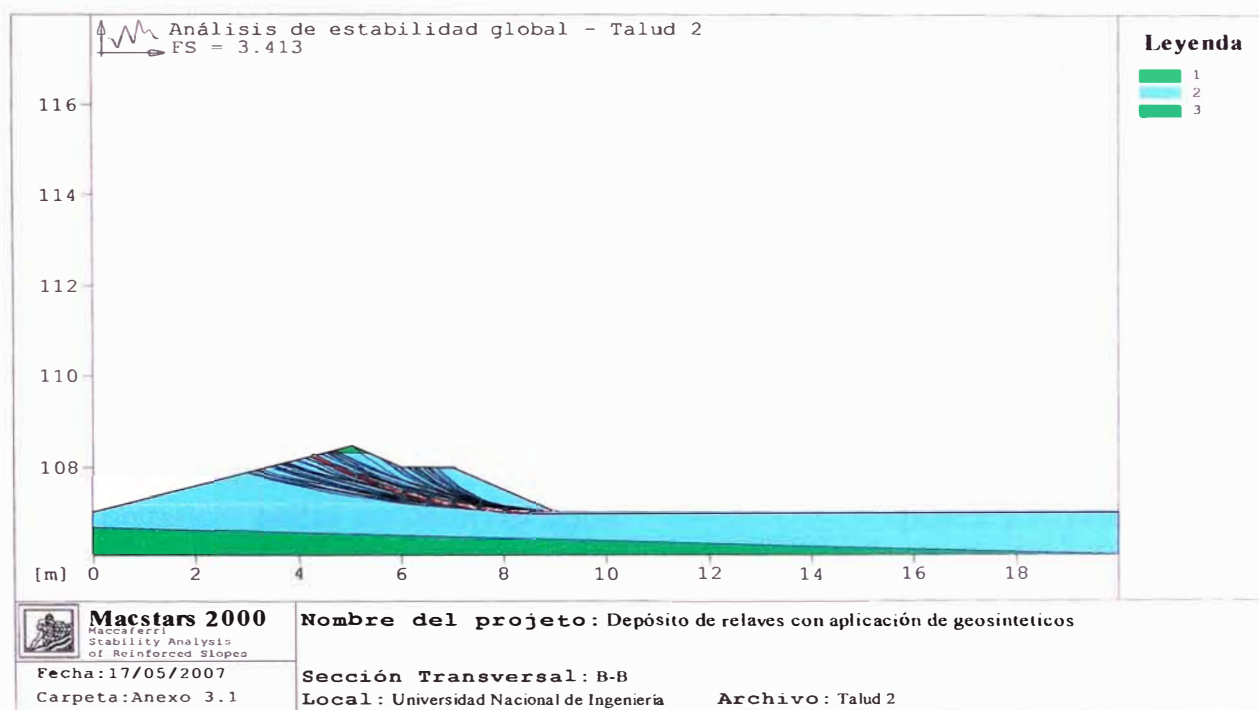
Cohesión	[kN/m ²]:	5.79
Ángulo de Fricción	[°]	25.00
Valor de Ru	:	0.00
Peso unitario – arriba del nivel del agua	[kN/m ³]:	15.00
Peso unitario – abajo del nivel del agua	[kN/m ³]:	14.32

Sobrecargas

Efectos Sísmicos:

Aceleración [m/s²] : Horizontal = 1.67 Vertical = 0.49

Verificación de los resultados



Verificación de la estabilidad Global:

Talud 2

Fuerza actuante en los Refuerzos de acuerdo con el Método Rígido. Análisis de estabilidad con superficies circulares de acuerdo con el Método de Bishop.

Factor de Seguridad Calculado : 3.413

Análisis de estabilidad del talud 3

Propiedades del suelo

Suelo: 1	Descripción: SM
Cohesión	[kN/m ²]: 5.79

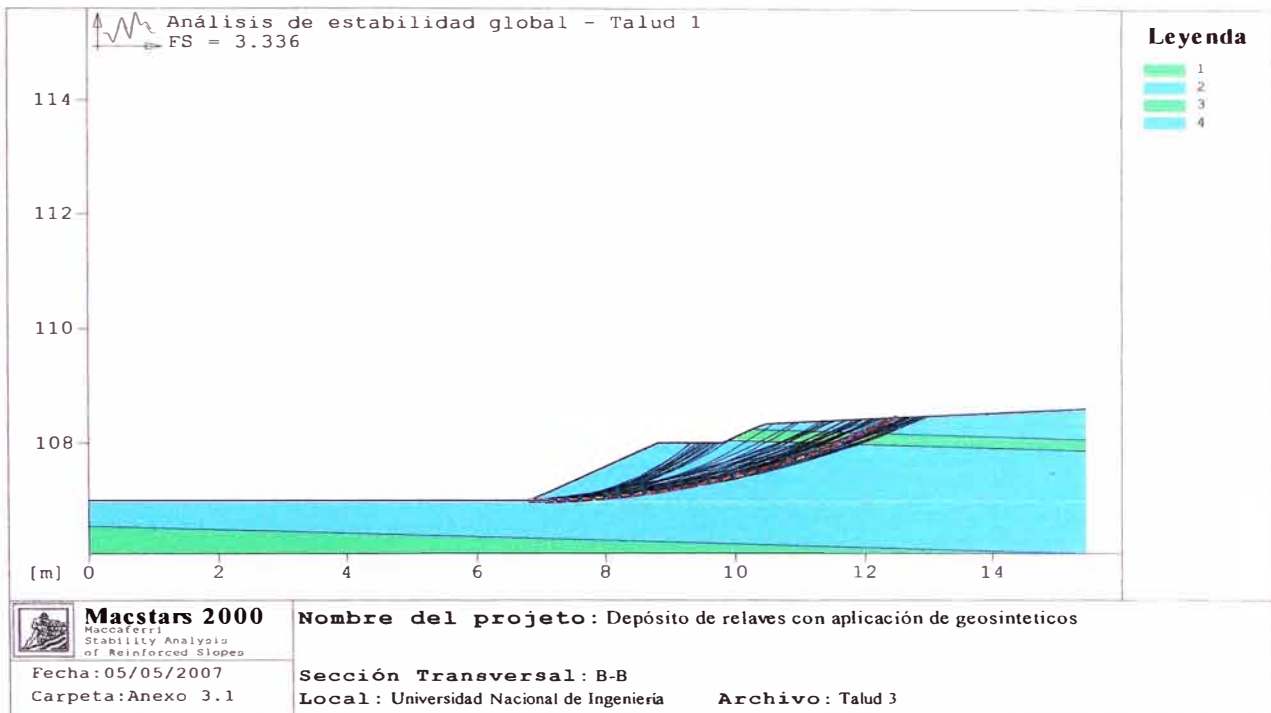
Ángulo de Fricción	[°]	:	15.01
Valor de Ru	:		0.00
Peso unitario – arriba del nivel del agua	[kN/m ³]:		16.00
Peso unitario – abajo del nivel del agua	[kN/m ³]:		15.01
Suelo: 2			Descripción: ML
Cohesión	[kN/m ²]:		5.79
Ángulo de Fricción	[°]	:	30.56
Valor de Ru	:		0.00
Peso unitario – arriba del nivel del agua	[kN/m ³]:		14.00
Peso unitario – abajo del nivel del agua	[kN/m ³]:		13.56
Suelo: 3			Descripción: SM
Cohesión	[kN/m ²]:		5.79
Ángulo de Fricción	[°]	:	25.00
Valor de Ru	:		0.00
Peso unitario – arriba del nivel del agua	[kN/m ³]:		15.00
Peso unitario – abajo del nivel del agua	[kN/m ³]:		14.32
Suelo: 4			Descripción: ML
Cohesión	[kN/m ²]:		5.79
Ángulo de Fricción	[°]	:	24.03
Valor de Ru	:		0.00
Peso unitario – arriba del nivel del agua	[kN/m ³]:		17.00
Peso unitario – abajo del nivel del agua	[kN/m ³]:		16.19

Sobrecargas

Efectos Sísmicos:

Aceleración [m/s²] : Horizontal = 1.67 Vertical = 0.49

Verificación de resultados



Verificación de la estabilidad Global:

Talud 3

Fuerza actuante en los Refuerzos de acuerdo con el Método Rígido. Análisis de estabilidad con superficies circulares de acuerdo con el Método de Janbu.

Factor de Seguridad Calculado : 3.336

Anexo III: Geosintéticos Especificaciones Técnicas

A) Geotextiles

Proveedor: Amanco

GEOTEXTILES NO TEJIDOS

Geosintéticos
PAVCO

SEPTIEMBRE 2005

PROPIEDADES		NORMA	UNIDAD	NT 1800	NT 1800	NT 2000	NT 2300	NT 3000	NT 4000	NT 5000	NT 6000	NT 7000	REPAV 450	REPAV 450
PROPIEDADES MECÁNICAS	Resistencia a la Tensión Elongación	ASTM D-4632	N (lb) %	<50(107) >30	535(120) >50	615(138) >50	730(164) >50	780(174) >50	1040(234) >50	1230(277) >50	1430(322) >50	1720(387) >50	510(115) >50	580(131) >50
	Resistencia al Puncionamiento	ASTM D-4833	N (lb)	250(56)	270(61)	350(79)	390(88)	430(97)	590(133)	680(153)	790(176)	950(214)	290(65)	340(76)
	Resistencia al Rasgado (Fragilidad)	ASTM D-4533	N (lb)	190(43)	220(49)	250(57)	300(68)	320(72)	390(88)	430(97)	520(117)	570(128)	210(47)	230(52)
	Método de Fuerza Burst Resistencia al Estallido Resistencia al Estallido	ASTM D-3785 ASTM D-4355	kPa (psi) %	1310(199) >70	1517(220) >70	1785(255) >70	2000(290) >70	2206(320) >70	2627(410) >70	3172(460) >70	3861(560) >70	4551(660) >70	1449(210) >70	1689(245) >70
PROPIEDADES HIDRÁULICAS	Tamaño de Abertura Aparente	ASTM D-4751	mm (No. Tercel)	0.18(80)	0.150(100)	0.150(100)	0.150(100)	0.125(100)	0.106(90)	0.106(90)	0.106(90)	0.09(70)	N.A.	N.A.
	Permeabilidad	ASTM D-4491	cm/s	62 x 10 ⁻⁷	36 x 10 ⁻⁷	37 x 10 ⁻⁷	35 x 10 ⁻⁷	36 x 10 ⁻⁷	31 x 10 ⁻⁷	35 x 10 ⁻⁷	30 x 10 ⁻⁷	27 x 10 ⁻⁷	N.A.	N.A.
	Permeabilidad	ASTM D-4491	s ⁻¹	3.0	2.4	2.2	2.0	1.8	1.3	1.4	1.0	0.8	N.A.	N.A.
	Porosidad	ASTM D-5199	mm	1.4	1.5	1.7	1.8	2.0	2.4	2.5	3.0	3.3	1.3	1.5
Retención de Asfalto	ASTM D-6140	l/m ²	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	1.0	1.1	
PRESENTACIÓN	Tipo de Polímero	Fabricante		PP	PP	PP	PP	PP	PP	PP	PP	PP	PP	PP
	Ratio Ancho	Medida	m	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.8	3.8
	Ratio Largo	Medida	m	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	180	150
	Ratio Área	Calculado	m ²	560	525	455	420	420	455	420	420	280	684	570
FUNCIÓN DEL GEOTEXTIL	Filtración			==	==	==	==	==	==	==	==	==		
	Drenaje			==	==	==	==	==	==	==	==	==		
	Protección			==	==	==	==	==	==	==	==	==		
	Separación			==	==	==	==	==	==	==	==	==		
Estabilización					==	==	==	==	==	==	==			
Refuerzo								==	==	==	==			
Reparación												==	==	

Oficina Principal: Autopista Sur No. 21 - 75 Bogotá D.C., Colombia. Tels: (57 1) 782 5281 / 62 Fax: (57 1) 782 5613
Medellín: (57 4) 352 1117 / 2122 Cali: (57 2) 642 3442 / 44 Barranquilla: (57 3) 359 0369
Servicio al Cliente Bogotá: (57 1) 777 2286 - 782 5111. Todo el país: 01 800 09 12286 ó 01 800 09 PAVCO
E-mail: servicio_geosistemas@pavco.com.co www.pavco.com.co



Proveedor: Maccaferri

MacTex MT300®

Geotextil No Tejido de Polipropileno

Características técnicas

El geotextil no tejido MacTex MT300® para uso técnico, está elaborado con fibras de polipropileno 100% virgen, mediante un proceso de punzonado por agujas. El geotextil es resistente a la degradación debido a la luz ultravioleta y a ataques químicos y biológicos, producidos dentro de los suelos.



Propiedades	Unidad	Método de Ensayo	MARV ⁽¹⁾
Mecánicas			
Resistencia a la tracción "Grab Test"	N	ASTM D 4632	850
Elongación a la tracción "Grab Test"	%	ASTM D 4632	>50
Resistencia al punzonamiento	N	ASTM D 4833	730
Resistencia al estallido "Mullen Burst Test"	KPa	ASTM D 3786	3265
Resistencia al desgarre trapezoidal	N	ASTM D 4533	480
Hidráulicas			
Permeabilidad	cm/s	ASTM D 4491	0.42
Permisividad	s ⁻¹	ASTM D 4491	1.70
Tamaño de Abertura Aparente (AOS)	mm	ASTM D 4751	0.15
Durabilidad			
Resistencia a los rayos UV	%	ASTM D 4355	50 ⁽²⁾

Observaciones:

⁽¹⁾ Los valores presentados corresponden a la dirección más débil. MARV indica los Valores Mínimos Promedios por ratio. Están calculados como el resultado de restar dos veces el valor de la desviación estándar al de la media estadística o promedio de la población.

⁽²⁾ Después de 500 horas de exposición.

MacTex MT400®

Geotextil No Tejido de Polipropileno



Características técnicas

El geotextil no tejido MacTex MT400® para uso técnico, está elaborado con fibras de polipropileno 100% virgen, mediante un proceso de punzonado por agujas. El geotextil es resistente a la degradación debido a la luz ultravioleta y a ataques químicos y biológicos, producidos dentro de los suelos.

Propiedades	Unidad	Método de Ensayo	MARV ⁽¹⁾
Mecánicas			
Resistencia a la tracción "Grab Test"	N	ASTM D 4632	1300
Elongación a la tracción "Grab Test"	%	ASTM D 4632	>50
Resistencia al punzonamiento	N	ASTM D 4833	1010
Resistencia al estallido "Mullen Burst Test"	KPa	ASTM D 3786	4635
Resistencia al desgarre trapezoidal	N	ASTM D 4533	670
Hidráulicas			
Permeabilidad	cm/s	ASTM D 4491	0.46
Permisividad	s ⁻¹	ASTM D 4491	1.30
Tamaño de Abertura Aparente (AOS)	mm	ASTM D 4751	0.15
Durabilidad			
Resistencia a los rayos UV	%	ASTM D 4355	50 ⁽²⁾

Observaciones:

⁽¹⁾ Los valores presentados corresponden a la dirección más débil. MARV indica los Valores Mínimos Promedios por rollo. Están calculados como el resultado de restar dos veces el valor de la desviación estándar al de la media estadística o promedio de la población.

⁽²⁾ Después de 500 horas de exposición.

MacTex MT500®

Geotextil No Tejido de Polipropileno



Características técnicas

El geotextil no tejido MacTex MT500® para uso técnico, está elaborado con fibras de polipropileno 100% virgen, mediante un proceso de punzonado por agujas. El geotextil es resistente a la degradación debido a la luz ultravioleta y a ataques químicos y biológicos, producidos dentro de los suelos.

Propiedades	Unidad	Método de Ensayo	MARV ⁽¹⁾
Mecánicas			
Resistencia a la tracción "Grab Test"	N	ASTM D 4832	1565
Elongación a la tracción "Grab Test"	%	ASTM D 4832	>50
Resistencia al punzonamiento	N	ASTM D 4833	1215
Resistencia al estallido "Mullen Burst Test"	KPa	ASTM D 3786	5660
Resistencia al desgarre trapezoidal	N	ASTM D 4533	810
Hidráulicas			
Permeabilidad	cm/s	ASTM D 4491	0.46
Permisividad	s ⁻¹	ASTM D 4491	1.15
Tamaño de Abertura Aparente (AOS)	mm	ASTM D 4751	0.15
Durabilidad			
Resistencia a los rayos UV	%	ASTM D 4355	50 ⁽²⁾

Observaciones:

⁽¹⁾ Los valores presentados corresponden a la dirección más débil. MARV indica los Valores Mínimos Promedios por rollo. Están calculados como el resultado de restar dos veces el valor de la desviación estándar al de la media estadística o promedio de la población.

⁽²⁾ Después de 500 horas de exposición.

MacTex MT600®

Geotextil No Tejido de Polipropileno



Características técnicas

El geotextil no tejido MacTex MT600® para uso técnico, está elaborado con fibras de polipropileno 100% virgen, mediante un proceso de punzonado por agujas. El geotextil es resistente a la degradación debido a la luz ultravioleta y a ataques químicos y biológicos, producidos dentro de los suelos.

Propiedades	Unidad	Método de Ensayo	MARV ⁽¹⁾
Mecánicas			
Resistencia a la tracción "Grab Test"	N	ASTM D 4832	1900
Elongación a la tracción "Grab Test"	%	ASTM D 4632	>50
Resistencia al punzonamiento	N	ASTM D 4833	1375
Resistencia al estallido "Mullen Burst Test"	KPa	ASTM D 3786	6555
Resistencia al desgarre trapezoidal	N	ASTM D 4533	950
Hidráulicas			
Permeabilidad	cm/s	ASTM D 4491	0.46
Permisividad	s ⁻¹	ASTM D 4491	1.00
Tamaño de Abertura Aparente (AOS)	mm	ASTM D 4751	0.07
Durabilidad			
Resistencia a los rayos UV	%	ASTM D 4355	50 ⁽²⁾

Observaciones:

⁽¹⁾ Los valores presentados corresponden a la dirección más débil. MARV indica los Valores Mínimos Promedios por rollo. Están calculados como el resultado de restar dos veces el valor de la desviación estándar al de la media estadística o promedio de la población.

⁽²⁾ Después de 500 horas de exposición.

MacTex MT1000®

Geotextil No Tejido de Polipropileno



Características técnicas

El geotextil no tejido MacTex MT1000® para uso técnico, está elaborado con fibras de polipropileno 100% virgen, mediante un proceso de punzonado por agujas. El geotextil es resistente a la degradación debido a la luz ultravioleta y a ataques químicos y biológicos, producidos dentro de los suelos.

Propiedades	Unidad	Método de Ensayo	MARV ⁽¹⁾
Mecánicas			
Resistencia a la tracción "Grab Test"	N	ASTM D 4832	2950
Elongación a la tracción "Grab Test"	%	ASTM D 4832	>50
Resistencia al punzonamiento	N	ASTM D 4833	1605
Resistencia al estallido "Mullen Burst Test"	KPa	ASTM D 3786	7500
Resistencia al desgarre trapezoidal	N	ASTM D 4533	1200
Hidráulicas			
Permeabilidad	cm/s	ASTM D 4491	0.14
Permisividad	s ⁻¹	ASTM D 4491	0.20
Tamaño de Abertura Aparente (AOS)	mm	ASTM D 4751	0.10
Durabilidad			
Resistencia a los rayos UV	%	ASTM D 4355	50 ⁽²⁾

Observaciones:

⁽¹⁾ Los valores presentados corresponden a la dirección más débil. MARV indica los Valores Mínimos Promedios por rollo. Están calculados como el resultado de restar dos veces el valor de la desviación estándar al de la media estadística o promedio de la población.

⁽²⁾ Después de 500 horas de exposición.

Gaviones

Maccaferri

La malla hexagonal a doble torsión es obtenida entrecruzando dos alambres por tres medios giros, de esta manera se impedirá que la malla se desteje por rotura accidental de los alambres que la conforman.

La malla está adherida al alambre de borde de tal manera que aproximadamente media cocada de ésta se entrelace, en forma mecánica, alrededor del alambre de borde.

Las aberturas de las mallas son diversas pudiendo ser de 6 x 8 cm., 10 x 12 cm., 5 x 7 cm., y 8 x 10 cm., siendo las 2 primeras las más usadas en el Perú.

El alambre usado en la fabricación de las mallas y para las operaciones de amarre y atirantamiento durante la colocación en obra, es de acero dulce recocido de acuerdo con las especificaciones BS (British Standard) 1052/1980 "Mild Steel Wire", con una carga de rotura media superior a 3,800 Kg/cm² y un estiramiento no inferior al 12%.

El alambre tiene un recubrimiento de zinc + 5% aluminio (GALMAC), de acuerdo a la Norma ASTM A 856 "Zinc/5% Aluminum Mismatch Alloy Coated Carbon Steel Wire", cuyo espesor y adherencia garantice la durabilidad del revestimiento, y la cantidad de zinc está de acuerdo a las especificaciones BS (British Standard) 443 /1982 "Zinc Coating on Steel Wire", y ASTM A641 "Zinc-Coated (Galvanized) Carbon Steel Wire" para revestimiento Clase 3. Adicionalmente al recubrimiento GALMAC, el alambre puede tener un revestimiento por extrusión con PVC (polivinil cloruro), de un espesor mayor o igual a 0.50 mm., De acuerdo con las siguientes especificaciones:

- Peso específico entre 1,300 y 1,350 kg/m³, de acuerdo con la ASTM D 792-66 (79).
- Dureza entre 50 y 60 shore D, de acuerdo con la ASTM D 2240-75 (ISO 868-1978).
- Pérdida de peso por volatilidad a 105°C por 24 horas no mayor a 2% y a 105°C por 240 horas no mayor a 6%, de acuerdo con la ASTM D 1203-67 (74) (ISO 176-1976) y la ASTM D 2287-78.
- Carga de rotura mayor a 210 kg/cm² de acuerdo con la ASTM D 412-75

- Estiramiento mayor que 200% y menor que 280%, de acuerdo con la ASTM D 412-75.
- Módulo de elasticidad al 100% de estiramiento mayor que 190 kg/cm², de acuerdo con la ASTM D 412-75.
- Pérdida de peso por abrasión menor que 190 mg, según la ASTM D 1242-56 (75).
- Temperatura de fragilidad, Cold Bend Temperature, menor que -30°C, de acuerdo con la BS 2782-104 A (1970), y Cold Flex Temperature menor que +15°C, de acuerdo con la BS 2782-150 B (1976).
- La máxima penetración de la corrosión desde una extremidad del hilo cortado, deberá ser menor de 25 mm cuando la muestra fuera sumergida por 2,000 horas en una solución con 50% de HCl (ácido clorhídrico 12 Be).

El alambre para amarre y atirantamiento tendrá las mismas especificaciones que el utilizado en la fabricación de la malla, y se proveerá en cantidad suficiente para asegurar la correcta vinculación entre los gaviones, el cierre de las mallas y la colocación del número adecuado de tensores.

Geomembrana

Amanco

GEOMEMBRANA LISA POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD

SEPTIEMBRE 2005

Geosintéticos
PAVCO

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

ASTM: (American Society for Testing and Materials)

HDPE: (Poliétileno de Alta Densidad)

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

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 Cal: (57-2) 412 3442 / 44 Bannangilia: (57-5) 349 0399
Servicio al Cliente Bogotá: (57-1) 777 2289 - 782 5111. Todo el país: 01 800 09 12286 o 01 800 09 PAVCO/CA
E-mail: servicio_geosintetico@pavco.com.co - www.pavco.com.co



GEOMEMBRANA TEXTURIZADA POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD

SEPTIEMBRE 2005

Geosintéticos
PAVCO

PROPIEDADES		NORMA	UNIDAD	30 mil	40 mil	60 mil	80 mil	100 mil
PROPIEDADES MECÁNICAS	Resistencia en Fluencia	ASTM-D 6693 Tipo IV	kN/m	11.0	15.0	23.0	30.0	38.0
	Resistencia en Rotura	ASTM-D 6693 Tipo IV	kN/m	9.0	12.0	18.0	24.0	30.0
	Elongación en Fluencia	ASTM-D 6693 Tipo IV	%	13.0	13.0	13.0	13.0	13.0
	Elongación en Rotura	ASTM-D 6693 Tipo IV	%	150.0	150.0	150.0	150.0	150.0
	Resistencia al Rasgado	ASTM-D 1004	kN	101.0	135.0	203.0	270.0	338.0
	Resistencia al Punzonamiento	ASTM-D 4833	kN	214.0	285.0	428.0	570.0	713.0
PROPIEDADES FÍSICAS	Espesor Nominal	ASTM D 5199	mm	0.75	1.00	1.50	2.00	2.50
	Mínimo Valor Individual 10 Testigos	ASTM-D 5199	mm	0.64	0.85	1.28	1.70	2.13
	Densidad	ASTM-D 1505 ASTM-D 792	g/cm ³	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94
	Contenido de Negro de Humo	ASTM-D 4218 ASTM-D 1603	%	2.0 - 3.0	2.0 - 3.0	2.0 - 3.0	2.0 - 3.0	2.0 - 3.0
PRESENTACIÓN	Tipo de Polímero	Fabricante		HDPE	HDPE	HDPE	HDPE	HDPE
	Color Estándar			Negro	Negro	Negro	Negro	Negro
	Ancho del Rollo	Medido	m	7.01	7.01	7.01	7.01	7.01
	Largo del Rollo	Medido	m	280	240	160	125	100
	Área	Medido	m ²	1963	1682	1122	876	701

ASTM: (American Society for Testing and Materials)

HDPE: (Poliétileno de Alta Densidad)

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

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 Cal: (57-2) 412 3442 / 44 Bannangilia: (57-5) 349 0399
Servicio al Cliente Bogotá: (57-1) 777 2289 - 782 5111. Todo el país: 01 800 09 12286 o 01 800 09 PAVCO/CA
E-mail: servicio_geosintetico@pavco.com.co - www.pavco.com.co



TDM

GEOMEMBRANA HDPE LISA 1.00mm

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

PROPIEDADES	NORMA	UND	FRECUENCIA	VALOR MARV
Espesor Promedio Mínimo (-10%)	ASTM D 5199	Mm	Por Rollo	1.000
	ASTM D-5199	Mm	Por Rollo	0.900
Densidad	ASTM D-792	gr/cc	Por Lote	0.941
Propiedades Tensiles :	ASTM D-6693 Tipo IV	KN/m KN/m % %	9.000 kg	
Tensión de Fluencia				15
Tensión de Rotura				27
Elongación de Fluencia				12
Elongación de Rotura				700
Resistencia al Rasgado	ASTM D 1004	N	20.000 kg	125
Resistencia al Punzonado	ASTM D 4833	N	20.000 kg	320
Resistencia al Agrietamiento	ASTM D-5397	Hr	Por Lote	300
Contenido de Carbón	ASTM D 1603	%	9.000 kg	2.0 – 3.0
Dispersión de Carbón	ASTM D 5596	Categoría	20.000 kg	1.0 – 2.0
Tiempo de Inducción Oxidativa(OIT)	ASTM D 3895	Min.	Por Lote	100
Envejecimiento en Horno a 85°C Standard OIT (90 días)	ASTM D-5721		Por Lote	
	ASTM D-3895	%		55
Resistencia UV (Alta Presión OIT)	ASTM D 5885	%	Por Lote	50

GEOMEMBRANA HDPE LISA 1.50mm

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

PROPIEDADES	NORMA	UND	FRECUENCIA	VALOR MARV
Espesor Promedio Mínimo (-10%)	ASTM D 5199	Mm	Por Rollo	1.500
	ASTM D-5199	Mm	Por Rollo	1.350
Densidad	ASTM D-792	gr/cc	Por Lote	0.941
Propiedades Tensiles:	ASTM D-6693 Tipo IV		9.000 kg	
Tensión de Fluencia		KN/m		22
Tensión de Rotura		KN/m		40
Elongación de Fluencia		%		12
Elongación de Rotura		%		700
Resistencia al Rasgado	ASTM D 1004	N	20.000 kg	187
Resistencia al Punzonado	ASTM D 4833	N	20.000 kg	480
Resistencia al Agrietamiento	ASTM D-5397	Hr	Por Lote	300
Contenido de Carbón	ASTM D 1603	%	9.000 kg	2.0 – 3.0
Dispersión de Carbón	ASTM D 5596	Categoría	20.000 kg	1.0 – 2.0
Tiempo de Inducción Oxidativa(OIT)	ASTM D 3895	Min.	Por Lote	100
Envejecimiento en Homo a 85°C Standard OIT (90 días)	ASTM D-5721		Por Lote	
	ASTM D-3895	%		55
Resistencia UV (Alta Presión OIT)	ASTM D 5885	%	Por Lote	50

Geocompuesto

Amanco

GEODRÉN PLANAR CON TUBERÍA DE DRENAJE

Geosintéticos
PAVCO


SEPTIEMBRE 2005

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

GEODRÉN PLANAR

SEPTIEMBRE 2005

Geosintéticos
PAVCO

	PROPIEDADES	NORMA	UNIDAD	GEODRÉN PLANAR	CONVENCIONES
GEO-TEXTIL NO TEJIDO 3000	Método Grab				ASTM: American Society for Testing and Materials NOTAS: Valores Típicos. Accesorios para tubería circular de drenaje, para diámetros de 65 mm, 100 mm, 160 mm y 200 mm. • Uniones • Sierras laterales • Descargas frontales con rabillos • Tapones PRESENTACIONES GEODRÉN CON TUBERÍA: Geodrén TB 65 mm Longitud rollo = 100 m en 2 Tramos de 50 m + 2 uniones Geodrén TB 100 mm Longitud rollo = 50 m en 2 Tramos de 25 m + 2 uniones Geodrén TB 160 mm Longitud rollo = 50 m en 2 Tramos de 25 m + 2 uniones Geodrén TB 200 mm Longitud rollo = 35 m en 1 Tramo Miembro Corporativo  INTERNATIONAL GEOSYNTHETICS SOCIETY
	Resistencia a la Tensión	ASTM D-4632	N (lb)	780 (176)	
	Elongación		%	>50	
	Resistencia al Punzonamiento	ASTM D-4833	N (lb)	430 (97)	
	Resistencia al Rasgado Trapezoidal	ASTM D-4533	N (lb)	350 (79)	
	Método Mullen Burst				
	Resistencia al Estallido	ASTM D-3786	kPa (psi)	2208 (320)	
	Tamaño de Abertura Aparente	ASTM D-4751	mm (No. Tamiz)	0.150 (100)	
	Permeabilidad	ASTM D-4491	cm/s	36×10^{-2}	
	Permitividad	ASTM D-4491	s ⁻¹	1.8	
Espesor	ASTM D-5199	mm	2.0		
	Tasa de Flujo	ASTM D-4491	l/min/m ²	5271	
Porosidad	Calculada	%	>80		
GEO-RED	Densidad del Polímero (HDPE)	ASTM D-1505	g/cm ³	0.94	
	Resistencia a la Compresión	ASTM D-1777	mm	5.0	
GEODRÉN PLANAR	Transmisividad				
	i = 0.1 Presión 10 kPa	ASTM D-4716	m ³ /s/m	5.3×10^{-4}	
	i = 0.1 Presión 100 kPa			4.5×10^{-4}	
	Resistencia a la Compresión	ASTM D-1621	kPa (psi)	1250 (181)	
PRESENTACIONES GEODRÉN	Transmisividad				
	i = 0.1 Presión 10 kPa	ASTM D-4716	m ³ /s/m	3.0×10^{-4}	
	i = 0.1 Presión 100 kPa			1.9×10^{-4}	
	Resistencia a la Delaminación	ASTM D-413	lb/ft ² /pulg	1.4	
Rollo Ancho	Medido	m	1.0		
Rollo Largo	Medido	m	2.0		
			m	50	



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) 842 3447 / 44 Barranquilla: (57-5) 309 0309
Servicio al Cliente Bogotá: (57-1) 777 2286 / 782 9111 Todo el país: 01 800 09 12296 o 01 800 09 PAVCO
E-mail: servicio_geosistemas@pavco.com.co / www.pavco.com.co



TDM

TUBOS CORRUGADOS DE POLIETILENO DE INTERIOR LISO
N – 12 DE 4”(TIPO S)

ESPECIFICACIONES TECNICAS

Esta especificación se aplica a tubería corrugada de polietileno de alta densidad con interior liso. Los tubos designados como AASHTO tipo "S" (N-12) deberán tener una sección transversal completamente circular, con una pared exterior corrugada y una pared interior esencialmente lisa. Las corrugaciones para los tubos tipo "S" deberán ser anulares (N-12).

La tubería fabricada para esta especificación deberá cumplir con los procedimientos de pruebas, dimensiones y marcas indicados en las designaciones AASHTO M252 y M294. La tubería y sus accesorios deberán ser fabricados a partir de compuestos de polietileno puro que cumplan a su vez con la última edición de las especificaciones de materiales de AASHTO definidas y descritas en la norma ASTM D3350.

Los valores mínimos de la rigidez de placas paralelas, cuando se determinen por pruebas de acuerdo a la norma ASTM D2412, son los siguientes:

PROPIEDADES	UNIDAD	VALOR
Diámetro Nominal	mm (Plg)	100 (4)
Diámetro interior promedio	mm (Plg)	104 (4.1)
Diámetro exterior promedio	mm (Plg)	120 (4.78)
Espesor de la pared interna (mínimo)	mm (Plg)	0.5 (0.020)
Rigidez mínima del tubo al 5% de Deflexión	KN/m ² (psi)	340 (50)
Peso Kg /6m (lbs/20ft)	Kg (lbs)	4.08 (9.00)
Área	mm ² /mm	1.59
Momento de Inercia (I)	cm ⁴ /cm	0.010
C	mm (plg)	3.06 (0.12)

TUBOS CORRUGADOS DE POLIETILENO DE INTERIOR LISO
N – 12 DE 12” (TIPO S)

ESPECIFICACIONES TECNICAS

Esta especificación se aplica a tubería corrugada de polietileno de alta densidad con interior liso. Los tubos designados como AASHTO tipo "S" (N-12) deberán tener una sección transversal completamente circular, con una pared exterior corrugada y una pared interior esencialmente lisa. Las corrugaciones para los tubos tipo "S" deberán ser anulares (N-12).

La tubería fabricada para esta especificación deberá cumplir con los procedimientos de pruebas, dimensiones y marcas indicados en las designaciones AASHTO M252, y M294. La tubería y sus accesorios deberán ser fabricados a partir de compuestos de polietileno puro que cumplan a su vez con la última edición de las especificaciones de materiales de AASHTO definidas y descritas en la norma ASTM D3350.

Los valores mínimos de la rigidez de placas paralelas, cuando se determinen por pruebas de acuerdo a la norma ASTM D2412, son los siguientes:

PROPIEDADES	UNIDAD	VALOR
Diámetro Nominal	mm (Plg)	300 (12)
Diámetro interior promedio	mm (Plg)	308 (12.15)
Diámetro exterior promedio	mm (Plg)	367 (14.45)
Espesor de la pared interna (mínimo)	mm (Plg)	0.9 (0.035)
Rigidez mínima del tubo al 5% de Deflexión	KN/m ² (psi)	345 (50)
Peso Kg /6m (lbs/20ft)	Kg (lbs)	29.60 (65.20)
Área	mm ² /mm	5.50
Momento de Inercia (I)	cm ⁴ /cm	0.574
C	mm (plg)	10.92 (0.43)

BENTOMAT DN CERTIFIED PROPERTIES

PROPERTY	METHOD	TEST FREQUENCY	VALUE
Bentonite Swell Index ¹	ASTM D 5890	1 per 50 tonnes	24 mL/2g min.
Bentonite Fluid Loss ¹	ASTM D 5891	1 per 50 tonnes	18 mL max.
Bentonite Mass/Area ²	ASTM D 5993	40,000 ft ² (4,000 m ²)	0.75 lb/ft ² (3.6 kg/m ²) min.
GCL Grab Strength ³	ASTM D 4632 ASTM D 6768	200,000 ft ² (20,000m ²)	150 lbs (660 N) MARV 37.5 lbs/in(66N/cm)MARV
GCL Peel Strength ³	ASTM D 4632 ASTM D 6496	40,000 ft ² (4,000 m ²)	15 lbs (65 N) min. 2.5 lbs/in (4.4 N/cm) min
GCL Index Flux ⁴	ASTM D 5887	Weekly	1 x 10 ⁻⁸ m ³ /m ² /sec max.
GCL Hydraulic Conductivity ⁴	ASTM D 5887	Weekly	5 x 10 ⁻⁹ cm/sec max.
GCL Hydrated Internal Shear Strength ⁵	ASTM D 5321 ASTM D 6243	Periodic	500psf (24kPa)typical@200psf 6,500psf (311kPa) typical @ 10,800psf

Bentomat "DN" is a reinforced GCL consisting of a layer of sodium bentonite between two nonwoven geotextiles, which are needlepunched together.

Notes:

- ¹ Bentonite property tests performed at a bentonite processing facility before shipment to CETCO's GCL production facilities.
- ² Bentonite mass/area reported at 0 percent moisture content.
- ³ All tensile strength and peel strength testing is performed in the machine direction using 4 inch grips per modified ASTM D 4632. Results are reported as minimum average roll values unless otherwise indicated. Upon request, tensile strength can be reported per ASTM D 6768 and peel strength can be reported per ASTM D 6496.
- ⁴ Index flux and permeability testing with deaired distilled/delozorized water at 80-psi (551 kPa) cell pressure, 77 psi (531 kPa) headwater pressure and 75 psi (517 kPa) tailwater pressure. Reported value is equivalent to 925 gal/acre/day. This Flux value is equivalent to a permeability of 5 x 10⁻⁹ cm/sec for typical GCL thickness. Actual Flux values vary with field condition pressures. The last 20 weekly values prior the end of the production date of the supplied GCL may be provided.
- ⁵ Peak value measured at 200-psi (10 kPa) and 10,800 psi (517 kPa) normal stress for a specimen hydrated for 48 hours. Site-specific materials, GCL products, and test conditions must be used to verify internal and interface strength of the proposed design.
- ⁶ Para la revisión de las Normas mencionadas, visitar: <http://www.astm.org/standards/>

BENTOMAT ST CERTIFIED PROPERTIES

PROPERTY	METHOD	TEST FREQUENCY	VALUE
Bentonite Swell Index ¹	ASTM D 5890	1 per 50 tonnes	24 mL/2g min.
Bentonite Fluid Loss ¹	ASTM D 5891	1 per 50 tonnes	18 mL max.
Bentonite Mass/Area ²	ASTM D 5993	40,000 ft ² (4,000 m ²)	0.75 lb/ft ² (3.6 kg/m ²) min.
GCL Grab Strength ³	ASTM D 4632 ASTM D 6768	200,000 ft ² (20,000 m ²)	90 lbs (400 N) MARV 22.5lbs/in(40N/cm) MARV
GCL Peel Strength ³	ASTM D 4632 ASTM D 6496	40,000 ft ² (4,000 m ²)	15 lbs (65 N) min. 2.5 lbs/in (4.4N/cm) min
GCL Index Flux ⁴	ASTM D 5887	Weekly	1 x 10 ⁻⁸ m ³ /m ² /sec max.
GCL Hydraulic Conductivity ⁴	ASTM D 5887	Weekly	5 x 10 ⁻⁹ cm/sec max.
GCL Hydrated Internal Shear Strength ⁵	ASTM D 5321 ASTM D 6243	Periodic	500psf (24kPa)typ@200 psf 6,500psf (311kPa) typ @ 10,800 psf

Bentomat "ST" is a reinforced GCL consisting of a layer of sodium bentonite between a woven and a nonwoven geotextiles, which are needlepunched together.

Notes:

¹ Bentonite properly test% performed at a bentonite processing facility before shipment to CETCO's GCL production facilities.

² Bentonite mass/area reported at 0 percent moisture content.

³ All tensile strength and peel strength testing is performed in the machine direction using 4 inch grips per modified ASTM D 4632. Results are reported as minimum average roll values unless otherwise indicated. Upon request, tensile strength can be reported per ASTM D 6768 and peel strength can be reported per ASTM D 6496.

⁴ Index flux and permeability testing with deaired distilled/deionized water at 60-psf (531 kPa) cell pressure, 77 psf (531 kPa) headwater pressure and 75 psf (517 kPa) tailwater pressure. Reported value is equivalent to 925 gal/acre/day. This Flux value is equivalent to a permeability of 5 x 10⁻⁹ cm/sec for typical GCL thickness. Actual Flux values vary with field condition pressures. The last 20 weekly values prior the end of the production date of the supplied GCL may be provided

⁵ Peak value measured at 200-psf (10 kPa) and 10,600 psf (517 kPa) normal stress for a specimen hydrated for 48 hours. Site-specific materials, GCL products, and test conditions must be used to verify internal and interface strength of the proposed design.

⁶ Para la revisión de las Normas mencionadas, visitar: <http://www.astm.org/astm/>

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

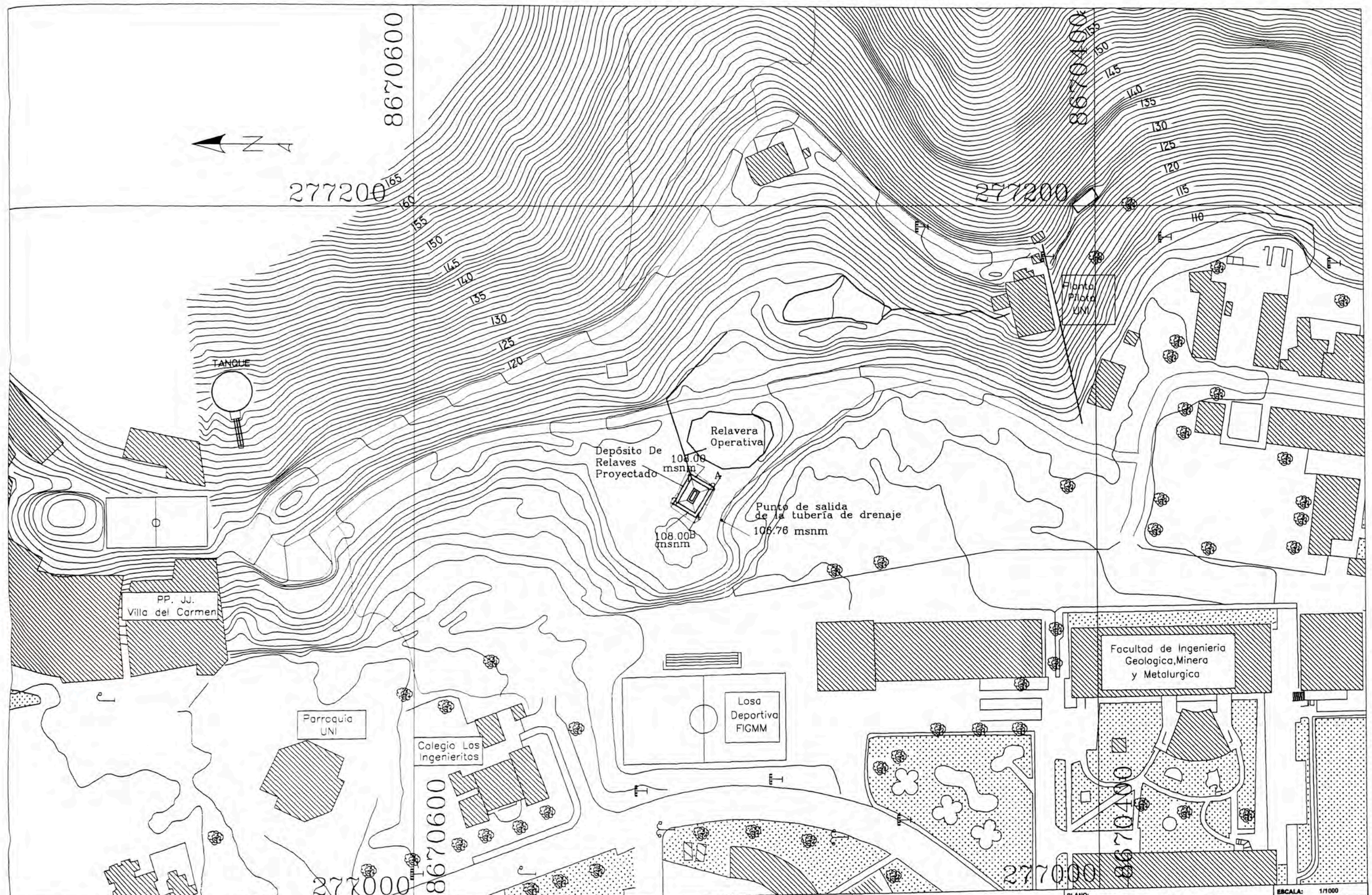
GEONET DE DRENAJE 5mm

TECHNICAL SPECIFICATIONS
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Polimer		HDPE
Polimero		PEAD
Mesh Shape		Diamond
Forma de la malla		Diamante
Presentation		Rolls
Presentación		Rollos
MD	inch	0.79
Dirección Longitudinal a la máquina	mm	20.00
TD	inch	0.51
Dirección Transversal a la máquina	mm	13.00
Carbon black content	ASTM D 4218	2% (MIN.)
Contenido de negro de humo		2% (MIN.)

PRODUCTS PRODUCTOS	TEST METHOD METODO DE ENSAYO	UNIT UNIDAD	VALOR	TOLERANCIAS
Unit Weight	ASTM D 5261	lbs/1000 sq.ft	149.87	+/- 5%
Peso Unitario		g/m ²	733.00	
Roll Width	GDC-III	Ft	7.15	+/- 3%
Ancho del Rollo		m	2.18	
Thickness	ASTM D 5199	inch	0.20	+/- 5%
Espesor		mm	5.00	
Roll Length	GDC-III	Ft	295.28	
Largo del Rollo		m	90.00	
Roll Diameter	GDC-III	inch	30.70	
Diámetro del Rollo		m	0.78	
Hydraulic Transmissivity	ASTM D 4716	m ² /s	1.7% 10 ⁻⁸	
Transmisividad hidráulica	14.5psi, l=grad:0.25b			
Tensile strength	ASTM D5035	N/mm	9	
Resistencia a la tracción				
Density of the polymer	ASTM D1505	g/cm ³	0.94 (MIN.)	
Densidad del polímero				
Melt Index	ASTM D1238	g/10mm	0.45	
Índice de fluidez				
Color			Black	
Color			Negro	

Anexo IV: Planos



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

PROYECTISTA:
 GRUPO GEOMEMBRANAS

Disenó: Bach. Patty Barry SH
 Dibujó: Bach. Patty Barry
 Verificó:
 Presentó:

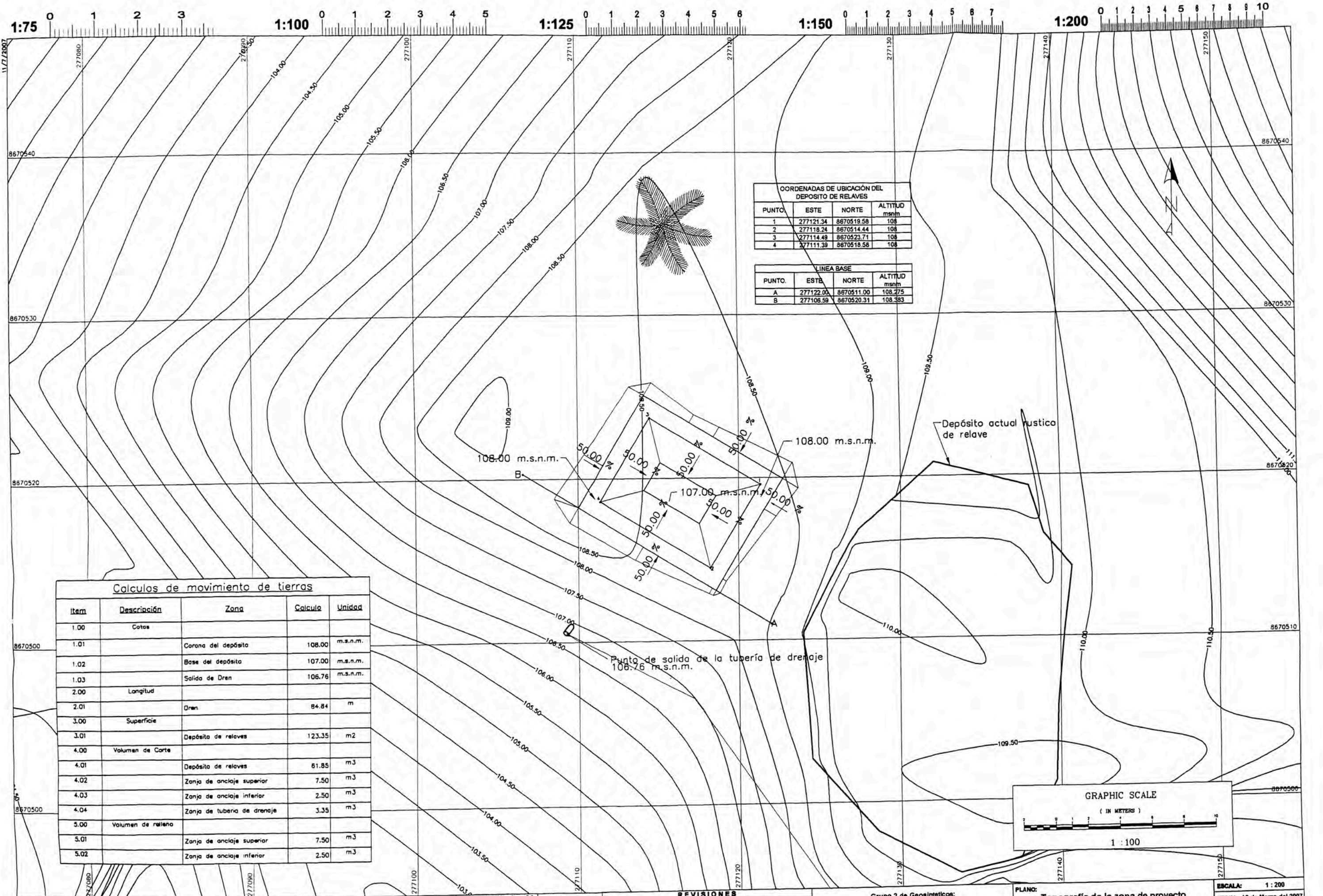
Aprobó:

REVISIONES	
Nº	FECHA DESCRIPCIÓN

Grupo 2 de Geosintéticos
 Depósito de Relaves
 Con Aplicación de Geosintéticos
 Universidad Nacional de Ingeniería

PLANO: **Plano de Ubicación**
 UBICACION:
 Campus de la Universidad Nacional de Ingeniería
 Dist. Rimac Prov. Lima - Departamento Lima

ESCALA: 1/1000
 FECHA: 10 de Marzo del 2007
PR-UB-01



COORDENADAS DE UBICACIÓN DEL DEPOSITO DE RELAVES

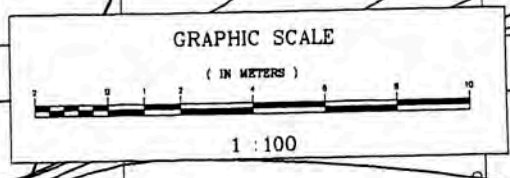
PUNTO	ESTE	NORTE	ALTITUD msnm
1	277121.34	8670519.58	108
2	277118.24	8670514.44	108
3	277114.49	8670523.71	108
4	277111.39	8670518.58	108

LINEA BASE

PUNTO	ESTE	NORTE	ALTITUD msnm
A	277122.00	8670511.00	108.275
B	277106.59	8670520.31	108.383

Calculos de movimiento de tierras

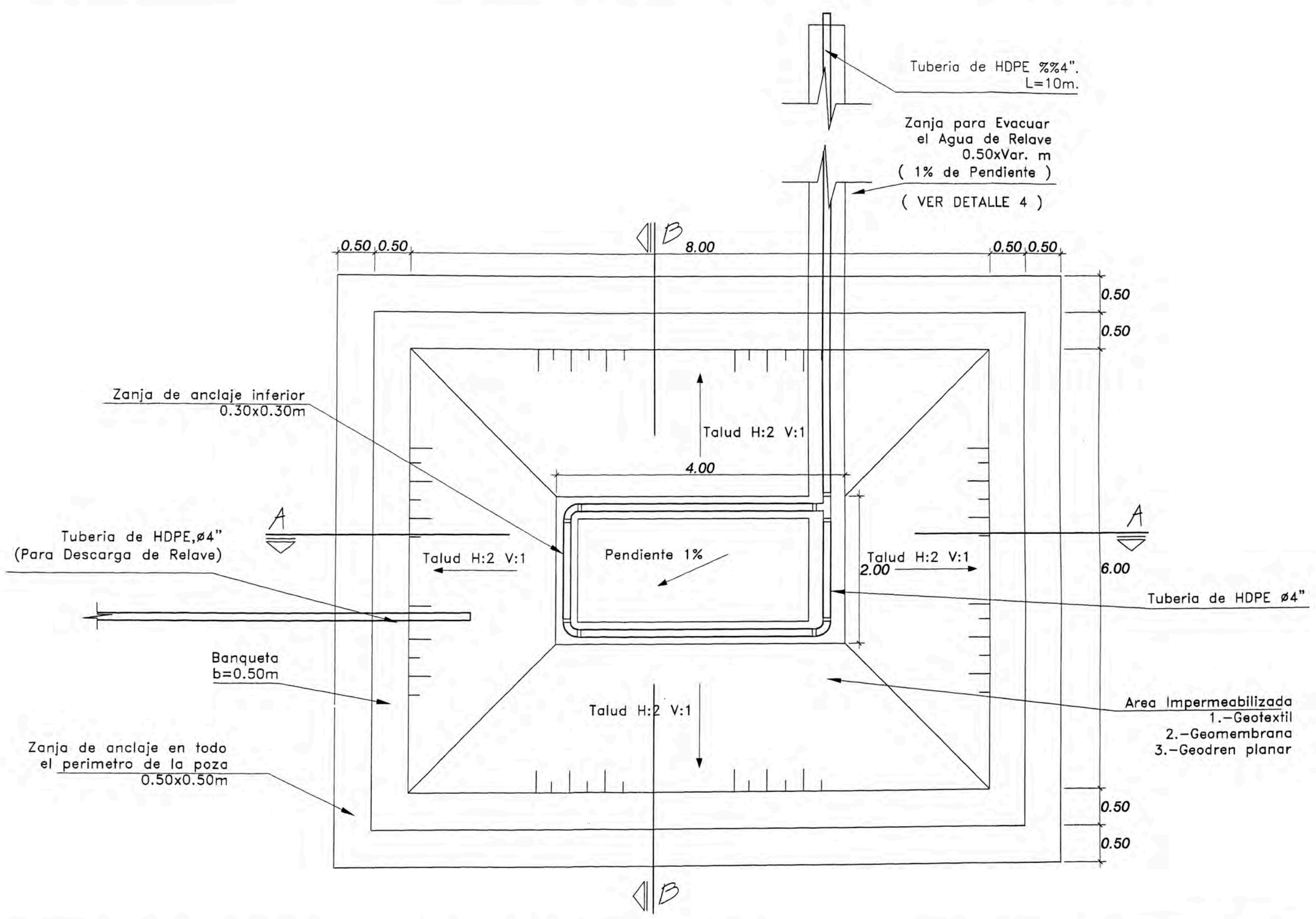
Item	Descripción	Zona	Calculo	Unidad
1.00	Cotas			
1.01	Corona del depósito		108.00	m.s.n.m.
1.02	Base del depósito		107.00	m.s.n.m.
1.03	Salida de Dren		106.76	m.s.n.m.
2.00	Longitud			
2.01	Dren		84.84	m
3.00	Superficie			
3.01	Depósito de relaves		123.35	m ²
4.00	Volumen de Corte			
4.01	Depósito de relaves		61.85	m ³
4.02	Zanja de anclaje superior		7.50	m ³
4.03	Zanja de anclaje inferior		2.50	m ³
4.04	Zanja de tubería de drenaje		3.35	m ³
5.00	Volumen de relleno			
5.01	Zanja de anclaje superior		7.50	m ³
5.02	Zanja de anclaje inferior		2.50	m ³



REVISIONES

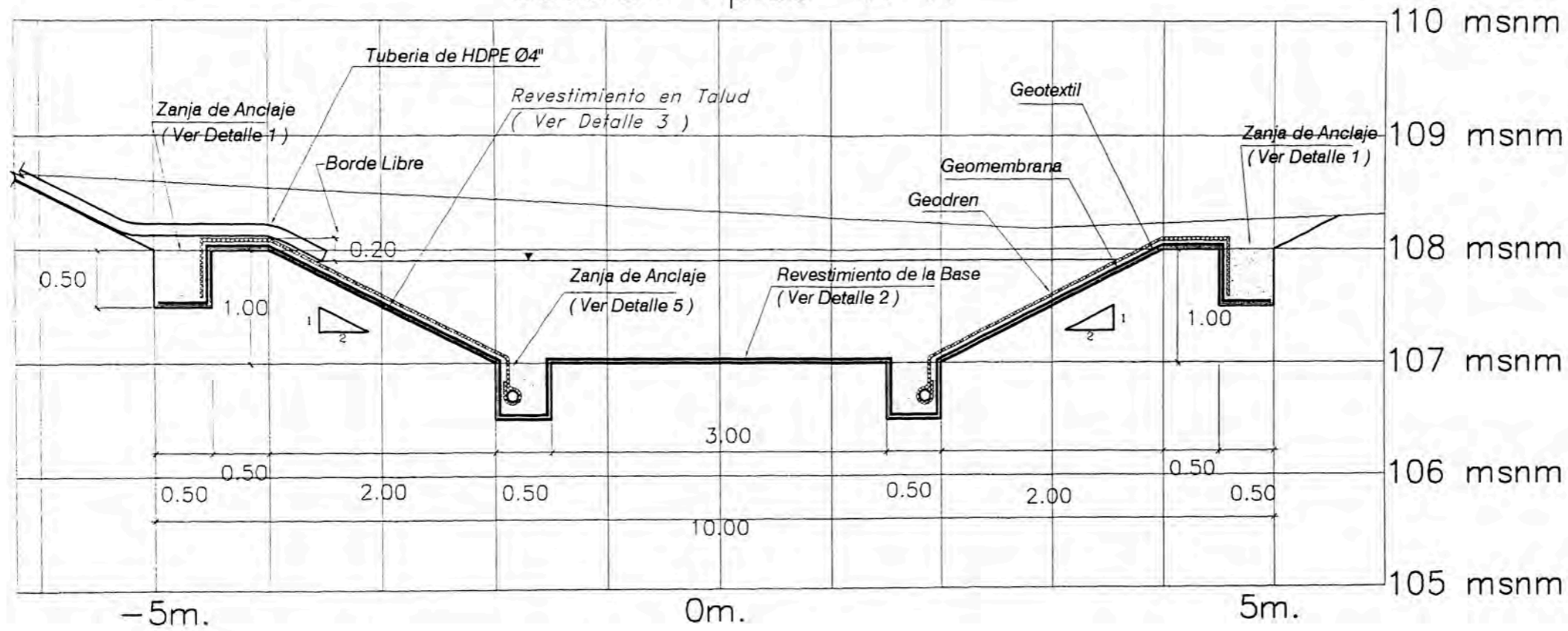
Nº	FECHA	DESCRIPCIÓN

11/7/2007



REVISIONES	
Nº	FECHA

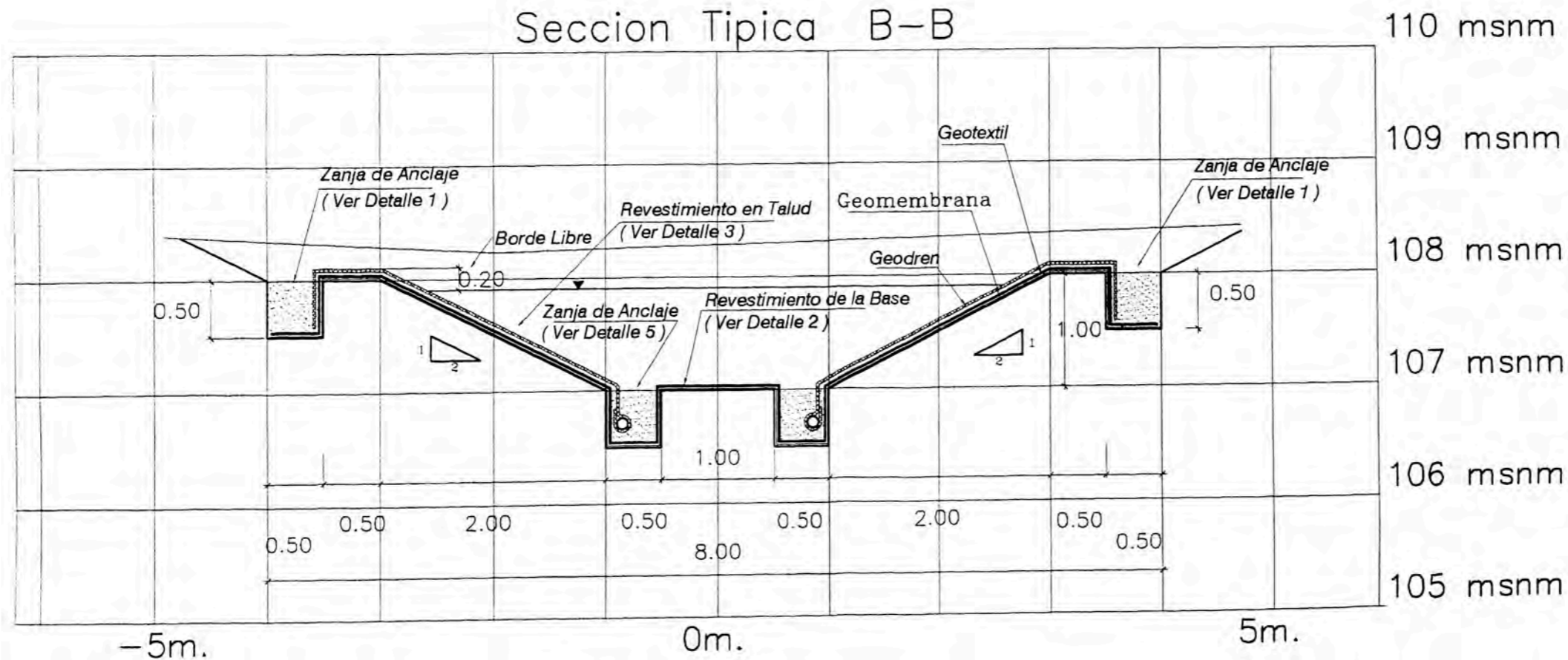
Seccion Tipica A-A



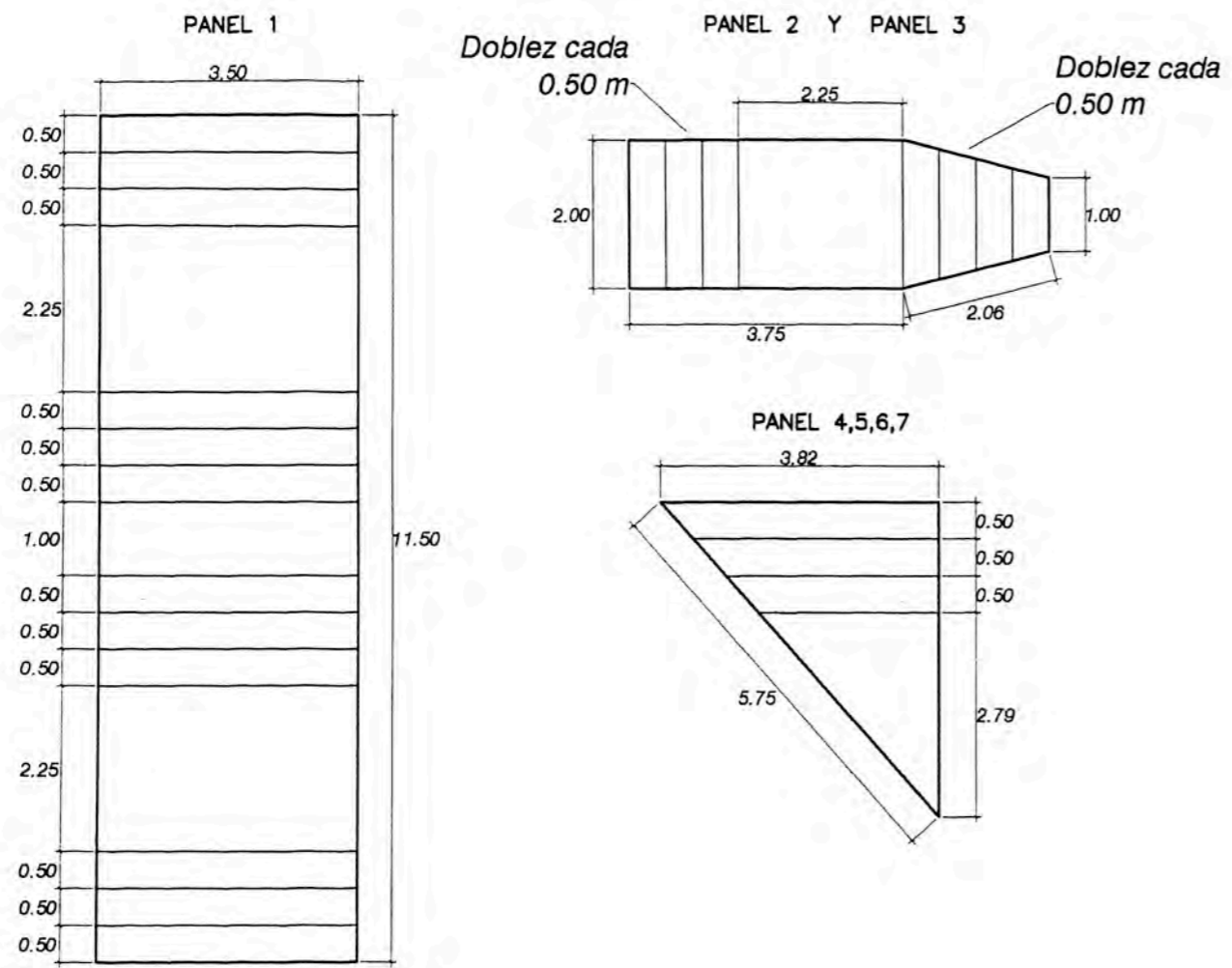
LEYENDA

- Terreno Natural
- Deposito de Relaves
- Geotextil No Tejido
- Geodren Planar
- Tuberia de HDPE
- Nivel Maximo del Relave

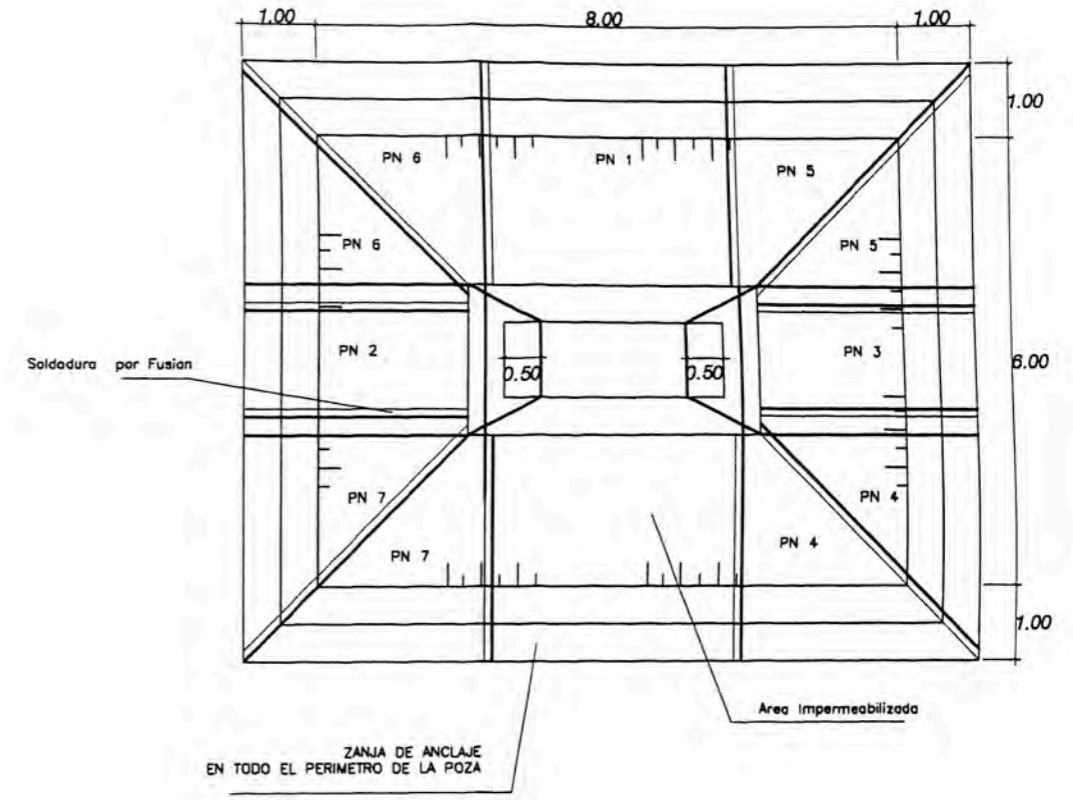
Seccion Tipica B-B



PANELES



DISTRIBUCION DE PANELES

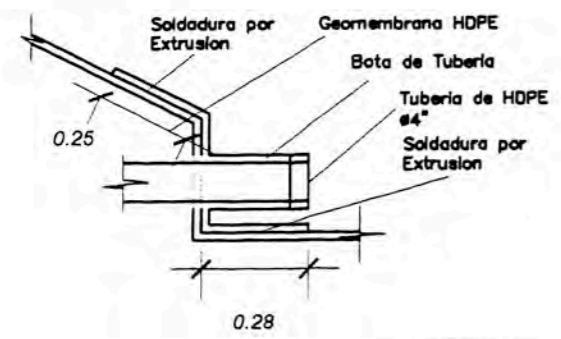


Especificaciones

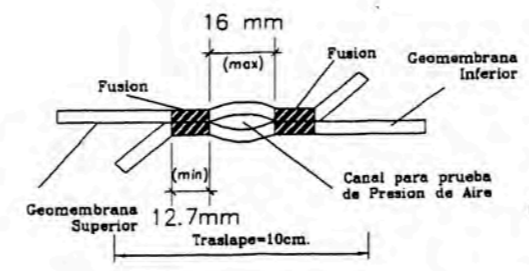
Geomembrana Lisa HDPE
e=1.0mm

Detalle de Soldaduras

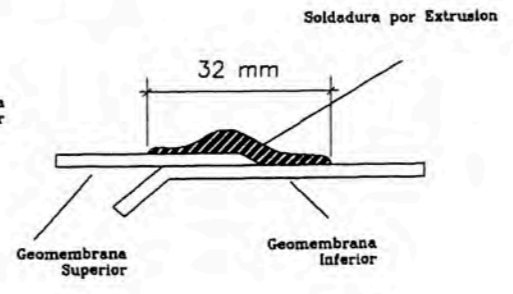
Detalle de Revestimiento de Tuberia



ESC:1/20



Detalle Tipico de Soldadura por Fusion con Cuña



Detalle Tipico de Soldadura por Extrusion

Sin Escala

Soldadura por Extrusion en Parches ,lugares inaccesibles para la fusion y bota.

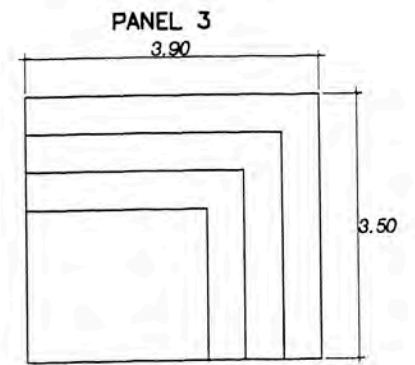
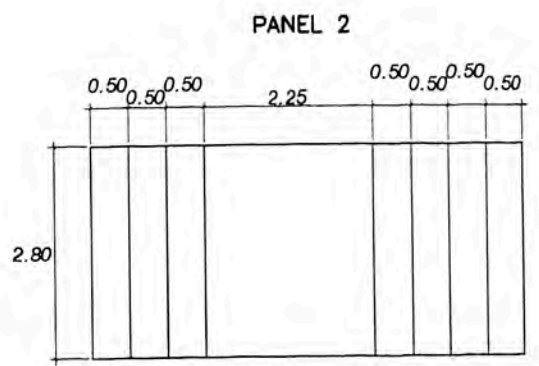
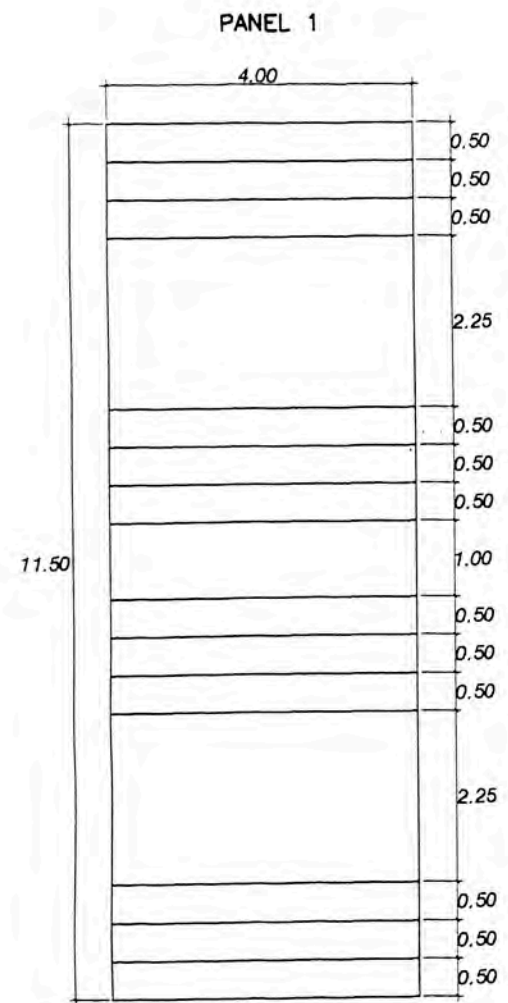
LEYENDA

- Soldadura por Fusion
- Dobleces
- Borde de Geomembrana
- PN # Panel

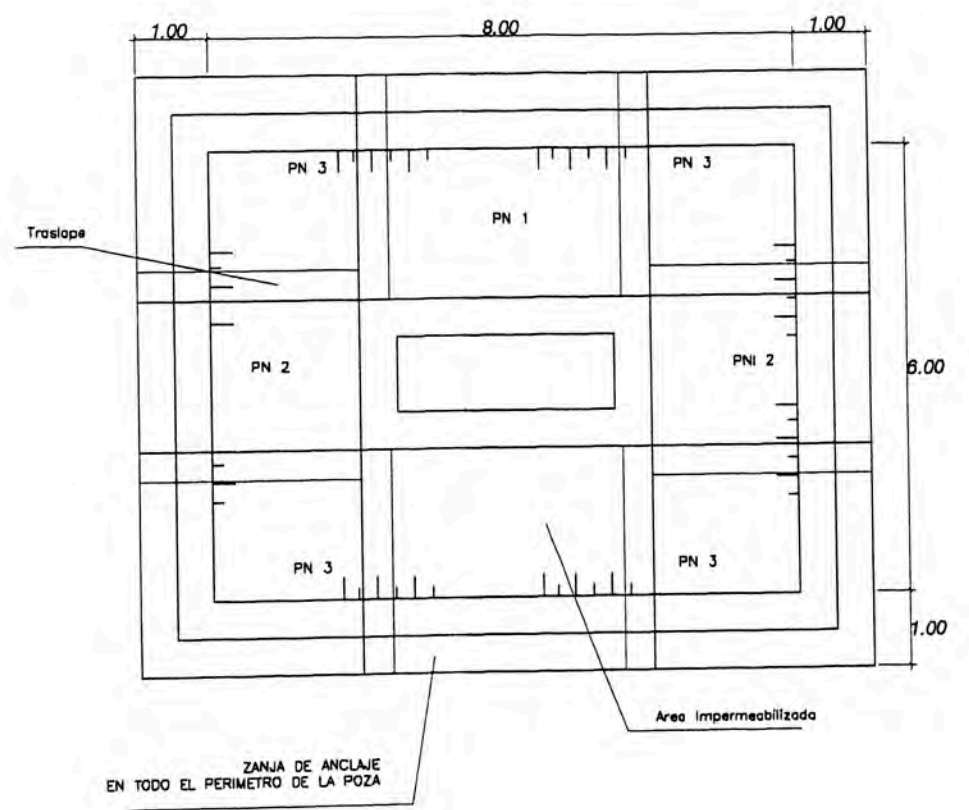
REVISIONES	
Nº	FECHA DESCRIPCIÓN



PANELES



DISTRIBUCION DE PANELES



ESPECIFICACIONES

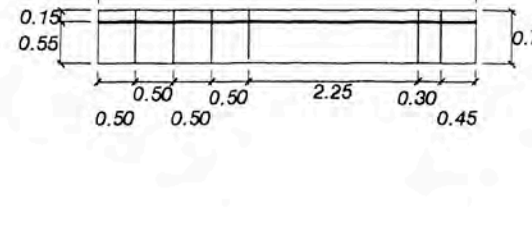
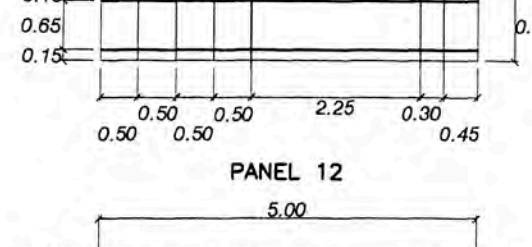
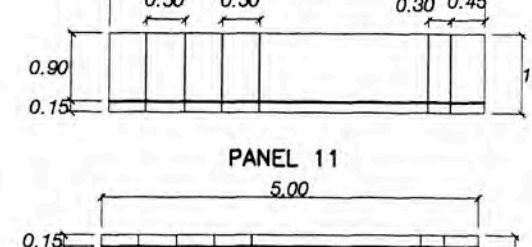
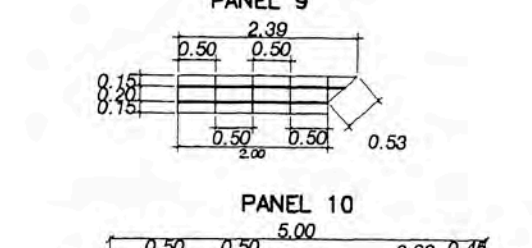
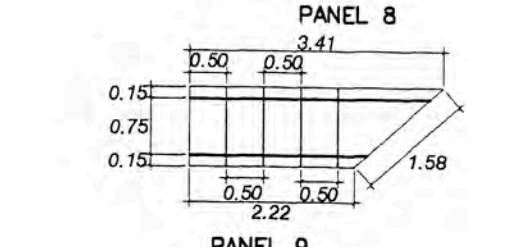
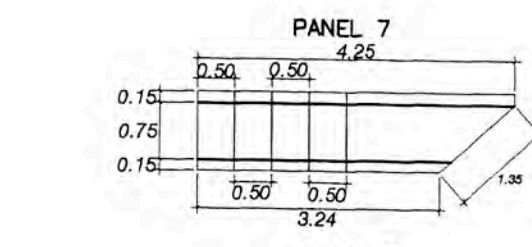
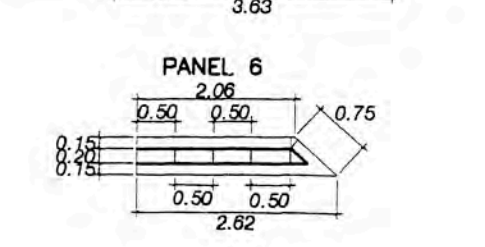
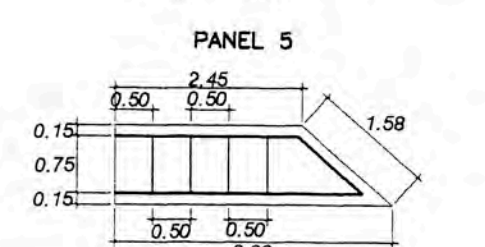
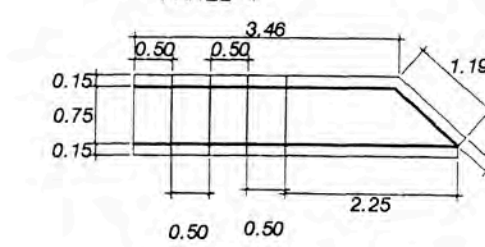
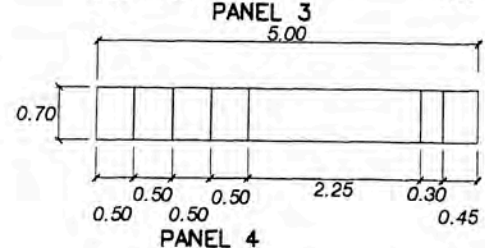
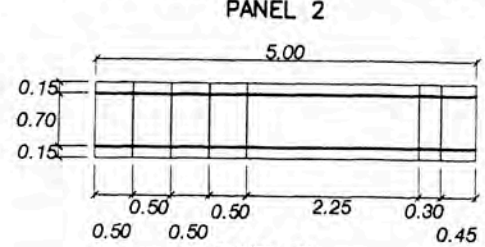
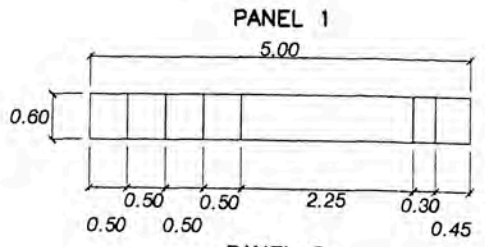
Geotextil No Tejido
Gramaje :400gr/m2

Traslape : 40cm

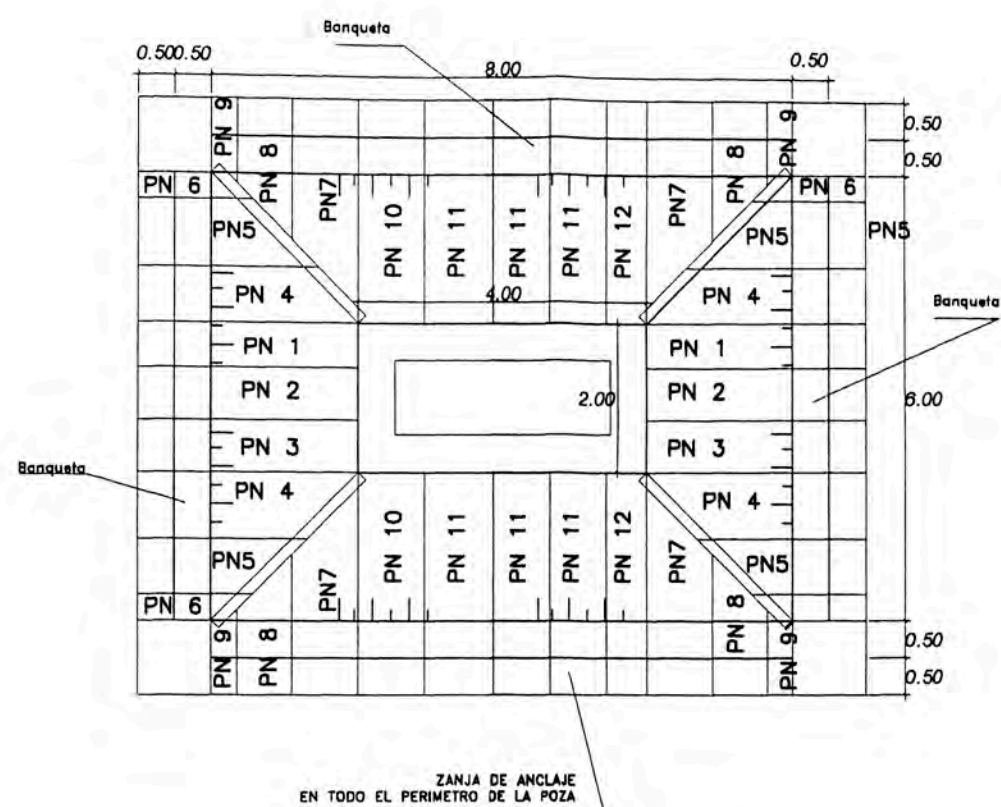
LEYENDA

- TRASLAPE
- Dobles
- PN Panel

REVISIONES	
N°	FECHA



Paneles de Geocompuesto



DISTRIBUCION DE PANELES

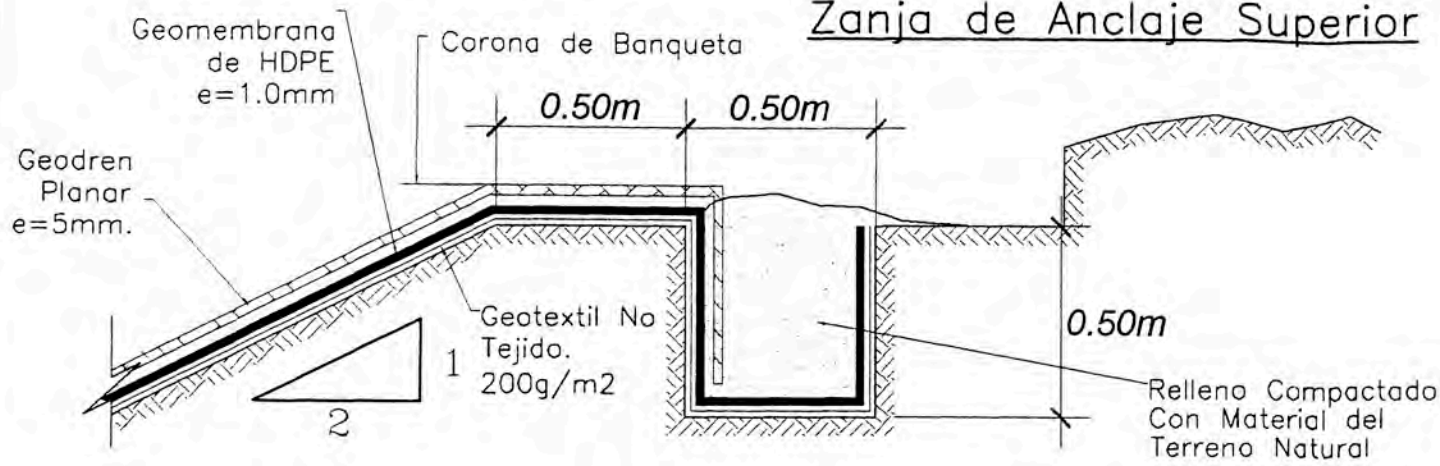
Especificacion

Geodren Planar
Con Tuberia de $\phi 4"$ y
 $e=5.0mm$

Legenda

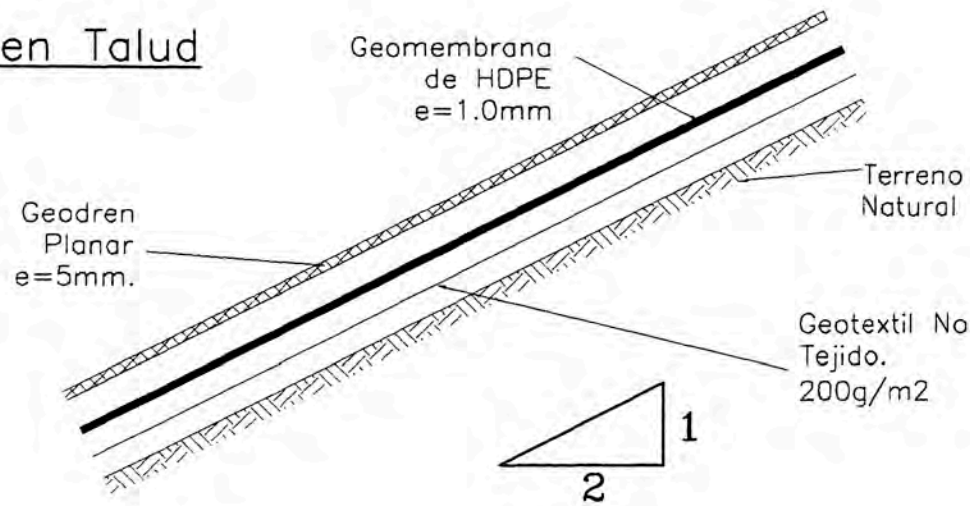
- Dobles
- Traslape y Costura
- Cortes
- PN PANEL

Zanja de Anclaje Superior



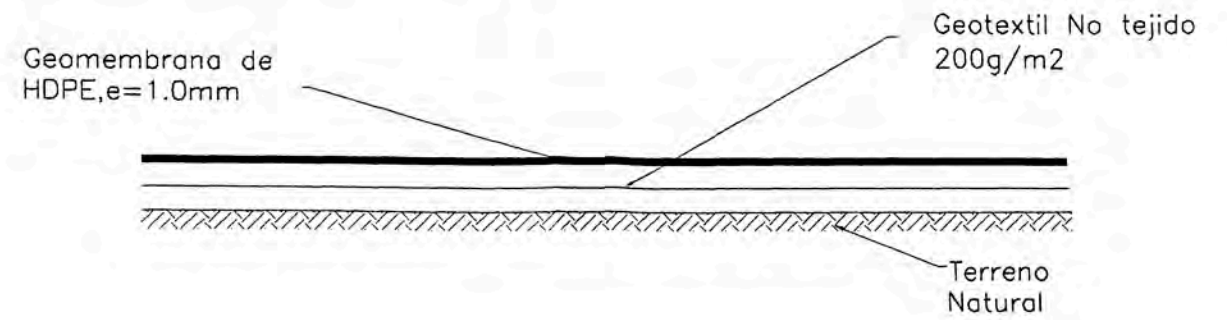
Detalle 1

Revestimiento en Talud



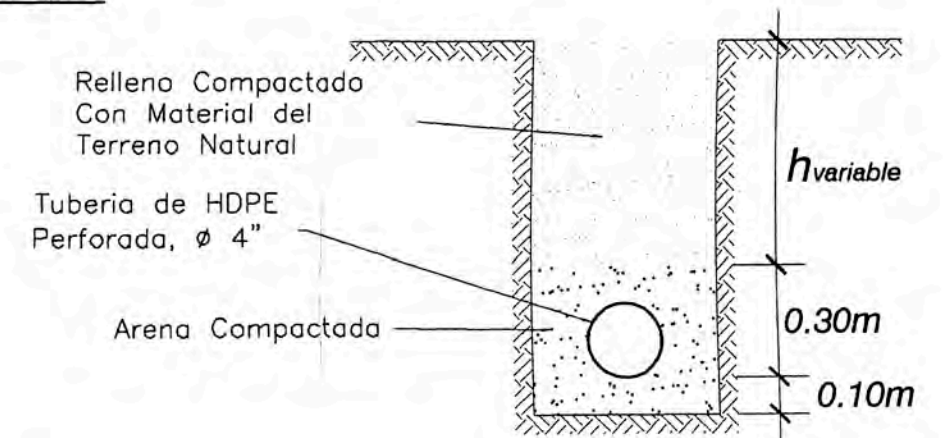
Detalle 3

Revestimiento en la Base



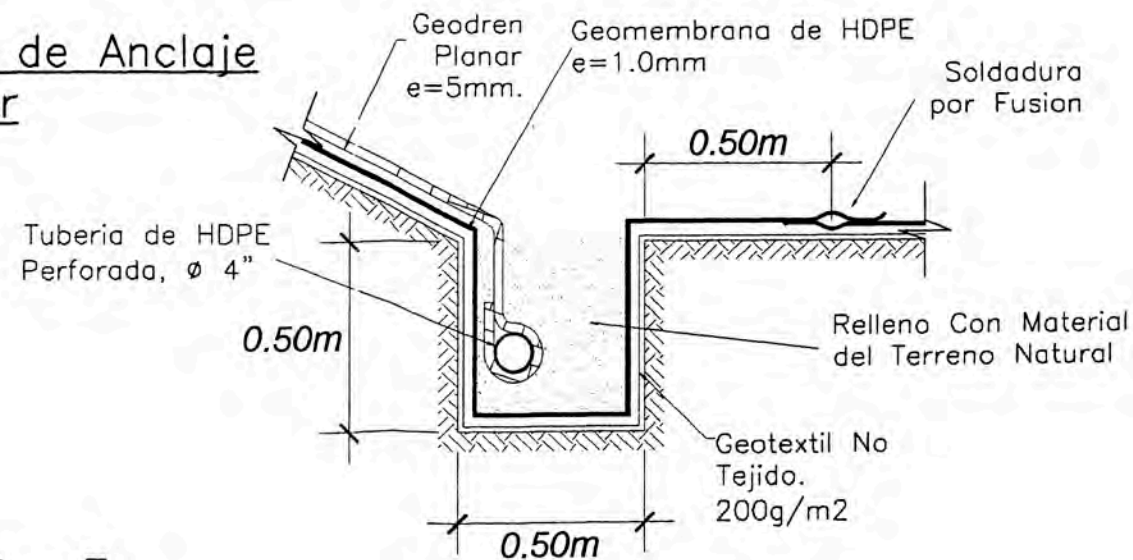
Detalle 2

Zanja para Tuberia de HDPE



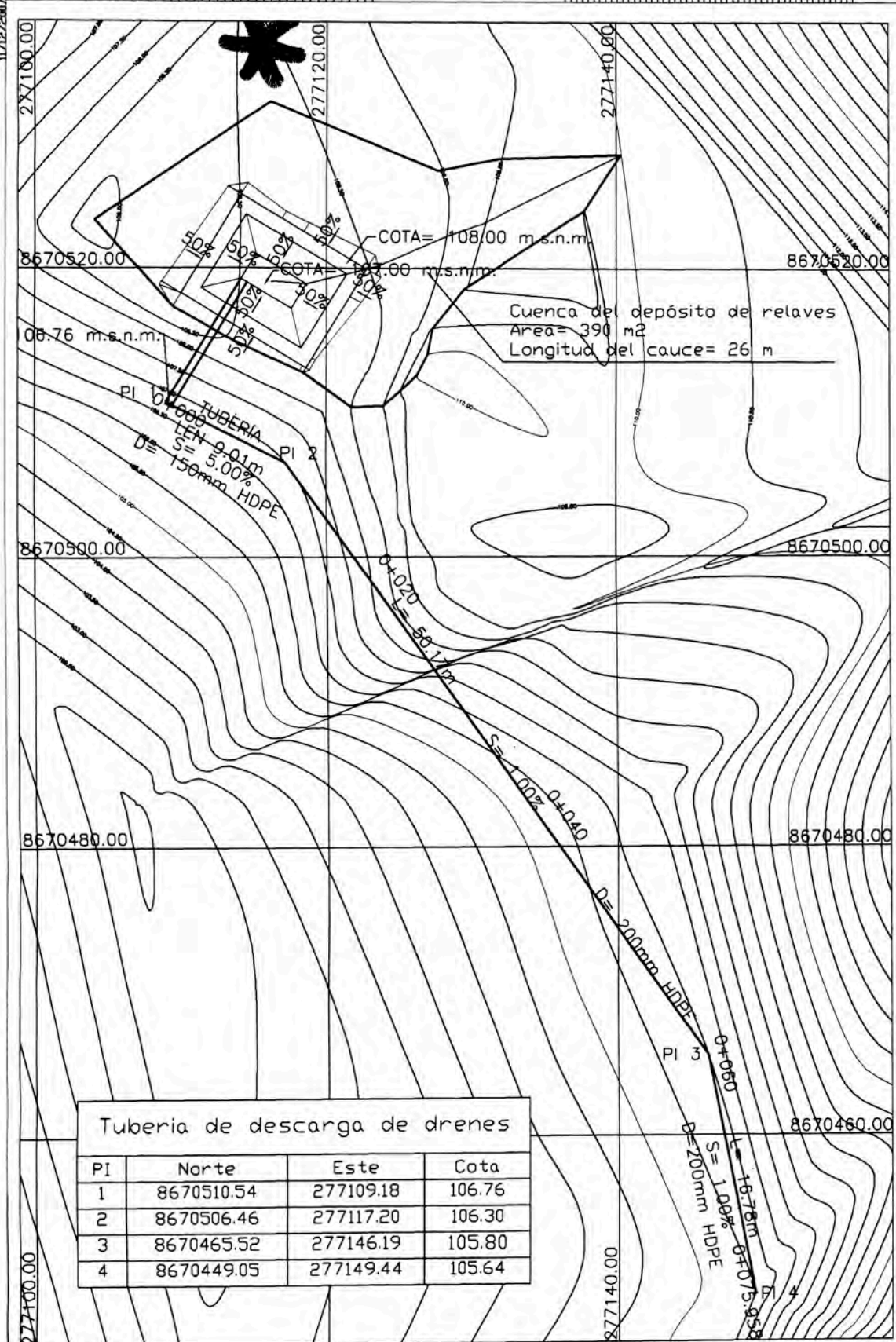
Detalle 4

Zanja de Anclaje Inferior

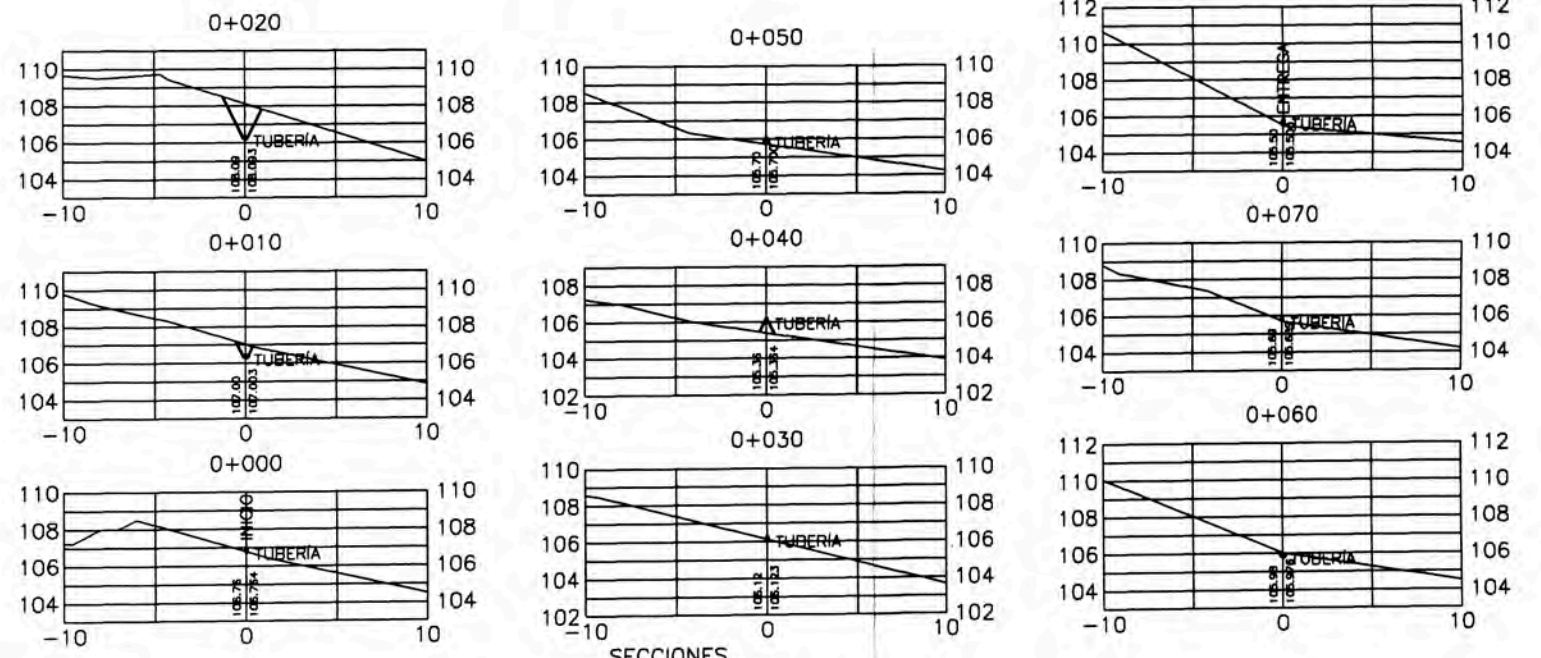
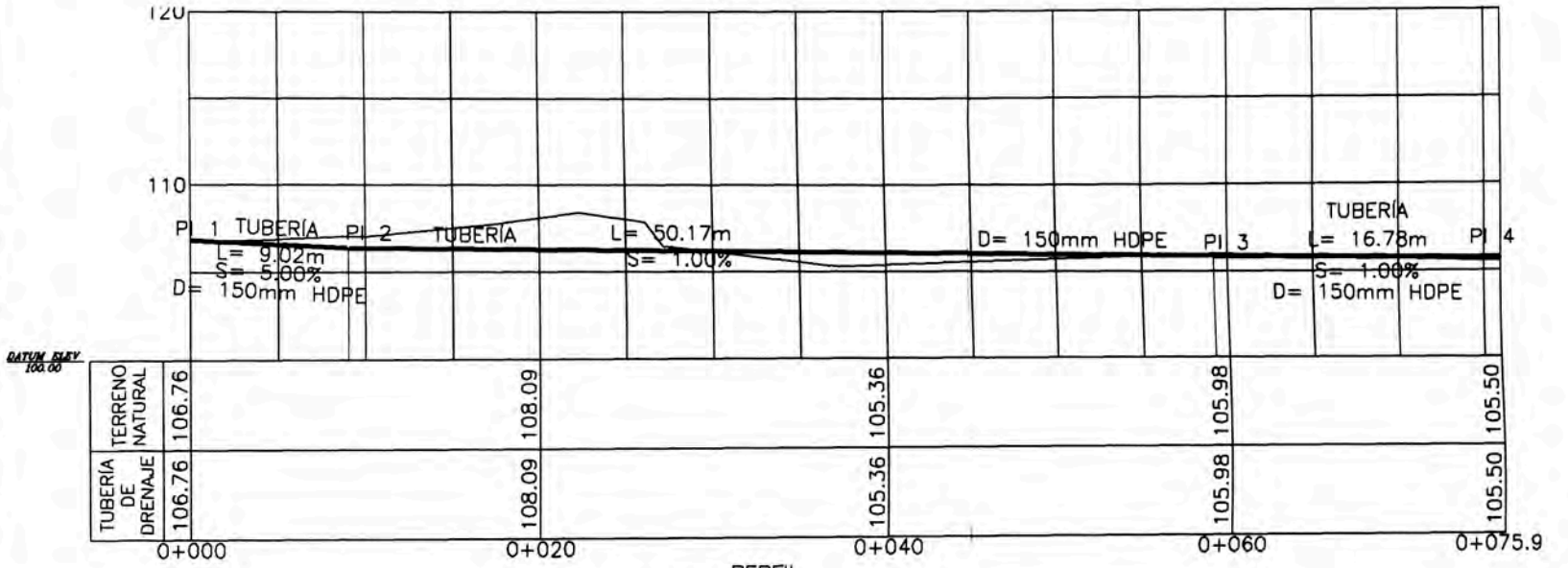
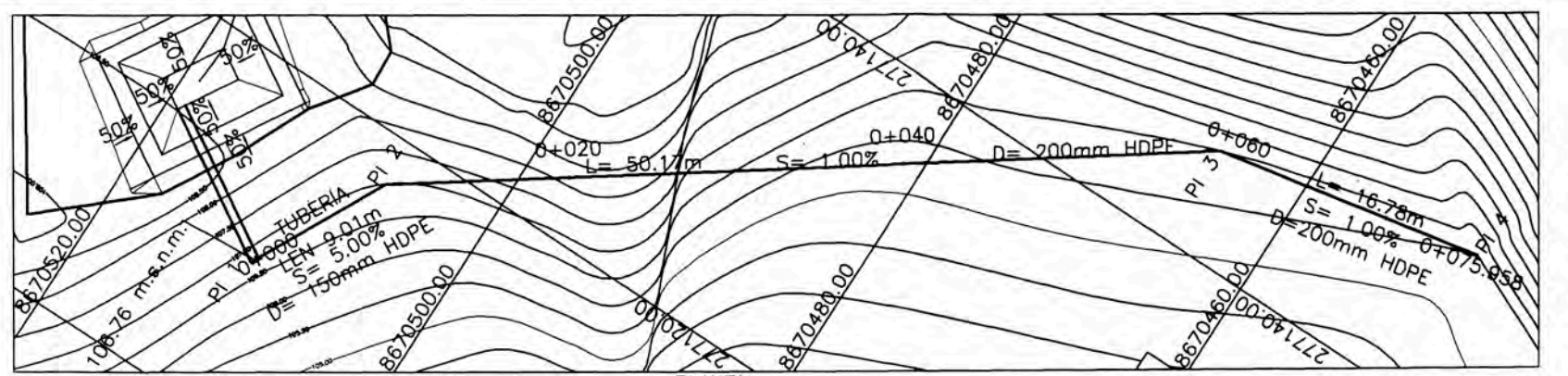


Detalle 5

REVISIONES	
N°	FECHA



PLANTA DELIMITACIÓN DE CUENCA
ESC: 1/400



SECCIONES TUBERÍA DE DRENAJE
ESC: 1/400