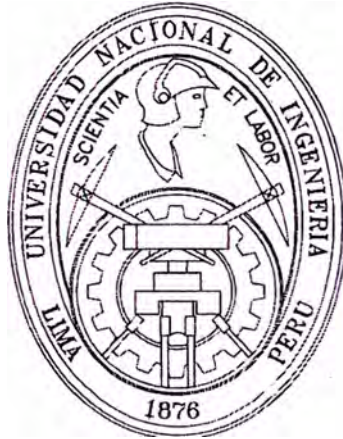


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL



**REVESTIMIENTO CON GEOMEMBRANA DE DEPOSITO DE RELAVES N° 04
UNIDAD ORCOPAMPA**

INFORME DE SUFICIENCIA

Para Optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

CESAR EDUARDO CARVALLO ÑIQUEN

LIMA – PERU

2005

*A mis padres, por su gran amor, inmensa dedicación e incansable apoyo para mi realización personal y profesional.
A mis hermanos, porque se convirtieron en el ejemplo de cómo el estudio es el cimiento de los grandes logros.
Y en especial a ti Elenita, se que desde allá arriba estás compartiendo la felicidad conmigo, porque este éxito también es tuyo.*

*A ti, mi dulce Darlita, porque contigo conocí
la sublime sensación de recibir el amor de un hijo
A ti, mi pequeña Kjara, porque sólo faltabas tu
para alcanzar la completa felicidad de nuestro hogar.
Y a ti Tania, porque no sólo me has dado una hermosa
familia,
sino que tu ejemplo de vida ha inspirado en mi el deseo de ser
cada día mejor.*

INDICE

CAPITULO I - INTRODUCCION

1.1	Generalidades	1
1.2	Antecedentes Históricos	2
1.2	Objetivo del Informe	3

CAPITULO II – FUNDAMENTO TEORICO

2.1	Geosintéticos	5
2.1.1	Geomembranas	5
2.1.1.1	Definición	5
2.1.1.2	Especificaciones Técnicas de la Geomembrana	6
2.1.1.3	Aplicaciones	7
2.1.2	GCL	8
2.1.2.1	Definición	8
2.1.2.2	Aplicaciones	9
2.2	Procedimiento de Instalación de Geomembrana	9
2.2.1	Despliegue de Geomembrana	9
2.2.2	Instalación de Geomembrana	10
2.3	Soldadura de Geomembrana	11
2.3.1	Equipos para Soldadura de Geomembrana	11
2.3.1.1	Equipo de Cuña	11
2.3.1.2	Equipo de Extrusión	12
2.3.2	Soldadura por Fusión o Cuña Caliente	12
2.3.3	Soldadura por Extrusión	12
2.3.4	Equipos para Control de Calidad de la Soldadura	13
2.3.4.1	Caja de Vacío	13
2.3.4.2	Tensiómetro	13
2.3.5.2	Spark Tester	14
2.3.5	Control de Calidad de la Soldadura	14
2.3.5.1	Ensayos No Destructivos sobre la Soldadura	14
2.3.5.1.1	Pruebas de Presión de aire en costuras por fusión de doble línea	14
2.3.5.1.2	Prueba de Caja de Vacío	16

2.3.5.1.3	Prueba de Carga Disruptiva	17
2.3.5.1.4	Inspección Visual	17
2.3.5.1.5	Reparaciones y Nuevos Ensayos	17
2.3.5.2	Ensayos Destructivos sobre la Soldadura	18
2.3.5.2.1	Muestreo para las Pruebas Destructivas	18
2.3.5.2.2	Pruebas de Laboratorio de las Soldaduras	19
2.3.5.2.3	Evaluación de los Resultados	21

CAPITULO III – REVESTIMIENTO CON GEOMEMBRANA DE LA RELAVERA Nº 04 – UNIDAD ORCOPAMPA – COMPAÑÍA DE MINAS B UENAVENTURA

3.1	Memoria Descriptiva	23
3.1.1	Introducción	23
3.1.2	Clima	23
3.1.3	Geología y Geotecnia	24
3.1.4	Hidrología	24
3.1.5	Peligro Sísmico	25
3.2	Especificaciones Técnicas del Proyecto para Geosintéticos	26
3.2.1	Introducción	26
3.2.1.1	Definición de Términos	26
3.2.1.2	Presentación	30
3.2.1.2.1	Excepciones	30
3.2.1.2.2	Aspectos Generales	30
3.2.1.2.3	Presentaciones diarias durante la instalación	31
3.2.1.2.4	Presentaciones una vez concluida la instalación	31
3.2.1.3	Coordinación entre CMBSAA, contratistas e Ingenieros	31
3.2.2	HDPE	33
3.2.2.1	Control de Calidad del Fabricante de Geosintéticos	33
3.2.2.2	Propiedades del material de HDPE liso	34
3.2.2.3	Control de Calidad de la Instalación	38
3.2.2.3.1	Aspectos Generales	38
3.2.2.3.2	Soldaduras de Prueba	41
3.2.2.3.3	Inspección y prueba de la costura en campo	43
3.2.2.3.3.1	Prueba No Destructiva e Inspección	43

3.2.2.3.3.2	Prueba Destructivo de Costura en Campo	48
3.2.2.3.4	Procedimiento de Reparación	50
3.3	Diseño y Modificación del Diseño Original	51
3.3.1	Criterios de Diseño	51
3.3.1.1	Objetivos del Diseño	51
3.3.1.2	Normas de Diseño	52
3.3.1.3	Criterios de Diseño	52
3.3.2	Características del Depósito de Relaves	53
3.3.2.1	Descripción General del Diseño	53
3.3.2.2	Metodología de Construcción	54
3.3.2.2.1	Etapa Inicial	55
3.3.2.2.2	Etapa Final	56
3.3.2.3	Problemas encontrados y Cambio de Diseño	57
3.3.2.3.1	Construcción al Pie del Depósito de Relaves 3	57
3.3.2.3.2	Revestimiento de Suelo	58
3.3.2.3.3	Diseño Inicial vs. Diseño Final	58
3.4	Descripción de los Trabajos de Campo	60
3.4.1	Despliegue e Instalación de Geomembrana	60
3.4.2	Despliegue e Instalación de GCL	63
3.4.3	Problemas Presentados en el Proceso de Instalación	63
3.4.3.1	En la Etapa Pre-Inicial	63
3.4.3.2	En la Etapa Inicial	65
CAPITULO IV – CONCLUSIONES		68
ANEXO I – PANEL FOTOGRAFICO		71
ANEXO II – MODELOS DE REPORTES DE CAMPO		81
CAPITULO V – BIBLIOGRAFIA		84

CAPITULO I

INTRODUCCION

1.1 GENERALIDADES

Las comunidades urbanas y rurales ubicadas en las áreas de influencia de un proyecto minero reciben una serie de beneficios de estas actividades. Por ejemplo, las empresas necesitan construir, ampliar o mejorar caminos y carreteras para acceder a las diferentes zonas de actividad. También necesitan desarrollar sistemas de generación y distribución de energía eléctrica. Las empresas construyen instalaciones médicas y educativas para los trabajadores. Toda esta infraestructura generalmente favorece a las poblaciones vecinas a las operaciones. Además, existen otros impactos benéficos como la generación de empleo y el impulso a un mercado local de los bienes y servicios que demanda la empresa y sus contratistas. Por otro lado, el Canon minero beneficia a los gobiernos locales de la región donde se asienta la operación. Finalmente muchas empresas, de propia voluntad, impulsan programas de apoyo a las comunidades en aspectos como la capacitación técnico - productiva.

Sin embargo existen también un conjunto de impactos que se deben manejar. Por ejemplo, la posible disminución de recursos necesarios para la subsistencia de la población como la tierra o el agua, el desarrollo de expectativas desmesuradas entre las comunidades sobre los beneficios que les puede proporcionar un proyecto, la aparición de conflictos por diferencias culturales con el personal de la empresa y sus contratistas, entre otros.

El tema del cuidado del ambiente y del uso sostenible de los recursos naturales es fundamental en el proceso de desarrollo, no sólo por sus implicancias locales, sino por los impactos globales que genera su utilización. El camino hacia un desarrollo sostenible requiere del esfuerzo

de los países y de sus poblaciones, y constituye un objetivo mundial. A partir de la década de los años 90, ha significado para el tema ambiental, un período de mayor preocupación y, por lo tanto, ha permitido a los países tomar acciones concretas en distintos aspectos.

1.2 ANTECEDENTES HISTORICOS

Una breve revisión de la evolución del manejo de relaves a nivel mundial nos proporciona antecedentes útiles para comprender la tecnología actual. Aunque se sabe que el oro y la plata ya habían sido explotados por los Incas en tiempos Pre-Colombinos, la historia documentada de la minería en el Perú data de la conquista por Pizarro en 1535. A través del Viejo y Nuevo Mundo en ese entonces, el oro era extraído por reducción directa (fundición) de minerales excepcionalmente ricos, pero principalmente por amalgamación con mercurio. Desde el punto de vista ambiental, la cantidad de roca chancada y de desmonte fue pequeña y se hicieron esfuerzos para recuperar y conservar el mercurio, el cual era casi tanpreciado como el mismo mineral. Sin embargo, grandes cantidades de mercurio permanecen distribuidas alrededor de la ubicación de las viejas minas de plata en el Perú y constituyen un serio riesgo ambiental aún hoy en día.

Las prácticas de chancado fueron adoptadas para los minerales básicos y estos parece haber cambiado muy poco hasta mediados de 1800 cuando la introducción del vapor incrementó notablemente la capacidad de los molinos y por lo tanto la producción de desechos.

Dos desarrollos significativos ocurrieron en los años 1890: el desarrollo de la flotación y la introducción del cianuro para la extracción de oro.

La flotación permitió la producción de cantidades aún mayor de relaves con contenido de arena muy fina y partículas sumamente pequeñas (lamas). Sin embargo, las prácticas de disposición previas permanecieron por mucho tiempo sin sufrir cambios, ocasionando que los relaves fueran depositados sobre mayores distancias de arroyos y lagos.

Al mismo tiempo, distritos mineros remotos empezaron a florecer en muchas partes del mundo, atrayendo el desarrollo agrícola como complemento. Esto alimentó conflictos sobre el uso del agua y su disponibilidad ya que los relaves acumulados empezaron a obstruir los canales de irrigación y a contaminar las tierras de cultivo aguas abajo.

Es a partir de 1930 se da pase a la construcción de presas para almacenamiento de relaves. Muchas de estas presas originales sirvieron tanto para la captura de relaves en corrientes de agua como para almacenar agua para los procesos de flotación durante los periodos de sequía.

Sin embargo, el aporte tecnológico que cambió de manera trascendental la disposición de estos materiales lo constituyó el uso de materiales geosintéticos como revestimiento, ya que se minimizó la infiltración de sustancias contaminantes al agua subterránea adyacente y que ahora se convierte en materia del presente informe.

1.3 OBJETIVO DEL INFORME

Se busca proporcionar los conceptos fundamentales que permitan conocer la geomembrana y el GCL; los usos y aplicaciones de estos materiales que, actualmente, están siendo considerados fundamentales para los revestimientos de pads, relaveras, reservorios y todo depósito que ha de contener líquidos o residuos sólidos producto de las actividades mineras.

La preservación del medio ambiente ha obligado a las empresas mineras, a adoptar tecnologías para el manejo de sus residuos líquidos y sólidos de manera que no se conviertan en una amenaza de contaminación.

Por otra parte, se intenta transmitir la experiencia obtenida de los trabajos de campo en cuanto a la instalación de estos materiales en la Relavera N° 04 – Unidad Orcopampa (Arequipa) de propiedad de Compañía de Minas Buenaventura. Si bien es cierto que los estándares en cuanto a la instalación de geosintéticos han sido establecidos en diversos manuales

y guías, esta obra se constituyó en una fuente muy rica por los antecedentes y las problemáticas ocurridos en los casi nueve meses que duró la instalación.

Si bien explicaremos brevemente algunas nociones básicas acerca del diseño de la presa de relaves, la intención principal del presente informe es enfocar directamente lo relacionado con la instalación de los geosintéticos.

CAPITULO II

FUNDAMENTO TEORICO

2.1 GEOSINTETICOS

2.1.1 Geomembranas

2.1.1.1 Definición

De acuerdo a la Norma Standard ASTM D4439:

Geomembrana es un revestimiento o barrera sintética de muy baja permeabilidad usada con cualquier material relativo a la ingeniería geotécnica para controlar la migración de fluidos en un proyecto, estructura o sistema construido por el hombre. Son confeccionadas de láminas poliméricas continuas relativamente finas, pero pueden también ser hechas por medio de la impregnación de geotextiles con asfaltos o aspersión de elastómeros o como geocompuestos formados por varias capas de bitumen.

Los valores típicos de permeabilidad de las geomembranas según lo medido por la prueba de transmisión de vapor de agua están en el rango de 1×10^{-2} a 1×10^{-15} m/seg., es así que la función primaria será siempre como barrera para líquidos o vapores.

Tradicionalmente las barreras de contención de fluidos se obtenían compactando tierra o arcilla y han estado asociadas con el control y almacenamiento de agua. Las Geomembranas fueron específicamente desarrolladas para asegurar un almacenaje estanco y de larga vida. Esta es hoy la manera más efectiva, segura, rápida y económica de evitar la polución de terrenos y cursos de agua.

Las geomembranas constituyen una alternativa por las siguientes razones:

- Alta resistencia química
- Elevada compatibilidad ambiental
- Deformación elástica de un 25%
- Deformación plástica superior al 500 %

- Bajo peso por m²
- Rápida colocación
- 100% de impermeabilización a menor costo

2.1.1.2 Especificaciones Técnicas de la Geomembrana

Las Normas listadas a continuación forman parte de las Especificaciones que se toman como referencia para utilizarlos como parámetros de calidad en la fabricación de geomembranas.

Geosynthetic Research Institute (GRI)

GRI GM10 (sólo HDPE) – GRI GM13

American Society for Testing and Materials (ASTM) Publications:

D 638-97	Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics
D 792-98	Standard Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Plastics by Displacement
D 1004-94a	Standard Test Method for Initial Tear Resistance of Plastic Film and Sheeting
D 1238-98	Standard Test Method for Flow Rates of Thermoplastics by Extrusion Plastometer
D 1505-98	Standard Test Method for Density of Plastics by the Density-Gradient Technique
D 1603-94	Standard Test Method for Carbon Black in Olefin Plastics
D 3895	Test Method for Oxidative Induction Time of Polyolefins by Thermal Analysis
D 4218	Test Method for Determination of Carbon Black Content in Polyethylene Compounds by the Muffle-Furnace Technique
D 4833-96e1	Standard Test Method for Index Puncture Resistance of Geotextiles, Geomembranes, and Related Products
D 5199-98	Standard Test Method for Measuring Nominal Thickness of Geotextiles and Geomembranes

D 5323	Practice for Determination of 2% Secant Modulus for Polyethylene Geomembranes
D 5397	Procedure to Perform a Single Point Notched Constant Tensile Load – (SP-NCTL) Test: Appendix
D 5596	Test Method for Microscopic Evaluation of the Dispersion of Carbon Black in Polyolefin Geosynthetics
D 5721	Practice for Air-Oven Aging of Polyolefin Geomembranes
D 5885	Test method for Oxidative Induction Time of Polyolefin Geosynthetics by High Pressure Differential Scanning Calorimetry
D 5994-98	Standard Test Method for Measuring Core Thickness of Textured Geomembranes

2.1.1.3 Aplicaciones

Como se indico anteriormente, el propósito de las membranas es crear una barrera impermeable capaz de mantener o confinar líquidos y sólidos. Es posible impermeabilizar con ellas cualquier tipo de terreno o estructura que se destine a la disposición de residuos industriales o cualquier elemento contaminante que no deba entrar en contacto con el suelo o las aguas subterráneas.

Algunos ejemplos de aplicación son:

- Enterramientos sanitarios
- Enterramiento de residuos industriales
- Enterramiento de residuos peligrosos
- Pilas de lixiviación
- Piletas para tratamiento de aguas residuales
- Piletas para tratamiento de lodos cloacales
- Reservorios de agua
- Canales de riego
- Canales de desagües
- Diques
- Tanques

- Silos
- Estabilización de suelos
- Lagunas para ácidos
- Almacenamiento de petróleo crudo o deshidratado
- Almacenamiento de productos químicos
- Piletas para lodos de perforación
- Piletas de procesamiento
- Piletas de neutralización
- Piletas de decantación
- Piletas de evaporación

2.1.2 GCL

2.1.2.1 Definición

Según la Norma ASTM D4439, el GCL es la barrera hidráulica consistente en una capa de arcilla unida a 1 o más capas de geosintéticos.

Según Koerner es la barrera hidráulica fabricada industrialmente consistente en una Capa de bentonita u otro material de muy baja permeabilidad encapsulada por geotextiles y/o geomembranas, mecánicamente unida mediante agujado, engrapado o adhesivos químicos.

Las siguientes son las principales propiedades de los GCL

- Barrera hidráulica de baja permeabilidad ($< 5 \times 10^{-9}$ cm/s)
- Protección de geomembranas (Punzonamiento)
- Economía en preparación de subrasante
- Reemplaza estratos de arcilla compactada
- Auto-reparante (Punzonamiento)
- Garantiza sello en condiciones de borde
- Flexible – No tiene efectos de expansión/contracción térmica
- No se suelda – No hay Pérdidas por Instalación

La Bentonita es una arcilla mineral compuesta mayoritariamente por MontMorillonita. Su formación se produjo hace millones de años por depositación aluvional de ceniza volcánica en cuerpos de agua salada o dulce.

La MontMorillonita es una arcilla mineral que contiene plaquetas anchas y delgadas dispuestas en capas que son ideales para actuar como barrera hidraulica. Los iones de Sodio ubicados entre estas plaquetas permiten que el agua hidrate a la Bentonita más de 20 veces su volumen original.

2.1.2.2 Aplicaciones

Las siguientes son las principales aplicaciones del GCL:

- Rellenos Sanitarios
- Pilas de Lixiviación
- Embalses de Agua
- Poza de Relaves
- Cierre de Rellenos Sanitarios
- Canales de Regadío.
- Piscinas

2.2 Procedimiento de Instalación de Geomembrana

2.2.1 Despliegue de Geomembrana

En primer lugar, se deberá realizar una inspección visual de la rasante para determinar si es apta para ser revestida. Enseguida, las láminas se deberán extender de acuerdo con el plano de distribución de paneles (As Built). A cada panel se le deberá asignar un número de identificación y de referencia en el dibujo del plano, más el número de identificación del rollo del fabricante y la fecha en que se dispuso. Los paños tendidos son asegurados utilizando bolsas de arena y/o cualquier otro material de la zona a fin de evitar el levantamiento por acción del viento; dichos elementos permanecerán allí durante todo el tiempo necesario para la correcta fijación y anclaje de la geomembrana.

Las zonas correspondientes al anclaje serán presentadas y fijadas temporalmente para realizar los cortes y traslapes necesarios.

Conforme el trabajo va progresando, se deberán registrar los detalles de las dimensiones y el número del rollo del fabricante para cada panel en el formato de registro. Cuando estén en posición, se deberá revisar que los paneles no presenten daños físicos que pudieran afectar adversamente el rendimiento del revestimiento acabado. Se deberá eliminar y descartar cualquier daño en la capa externa de los rollos que podría afectar el rendimiento.

Se deberán registrar todas las áreas reparadas del revestimiento acabado en el dibujo del plano del panel.

Los empalmes se realizarán longitudinalmente y en el sentido de la pendiente del talud.

También se podrán realizar empalmes transversales o diagonales, siempre y cuando éstos no sean perpendiculares a la línea de máxima pendiente.

Las dimensiones y especificaciones de los anclajes especificados en el proyecto serán realizados con la mayor precisión posible, debiéndose realizar el control de calidad de los mismos, antes y durante la colocación del relleno.

2.2.2 Instalación de Geomembrana

Las uniones mediante traslapes se realizarán una vez que los paños se encuentren plenamente ubicados. Los traslapes no deberán presentar una longitud inferior a 75 mm.

Todas las costuras de HDPE se deberán soldar por extrusión o por fusión.

Al comenzar cada día de trabajo, se deberá efectuar una tira de prueba por máquina. La tira de prueba se deberá hacer al pie de la obra y bajo las mismas condiciones en que se hacen las costuras de los revestimientos. La tira de prueba deberá tener 1,2 m. de largo por 0.30 m. de ancho, con la costura centrada longitudinalmente; de ésta se obtienen los cupones de ensayo.

La descripción de la prueba de adherencia es la siguiente: La parte sobrepuesta del cupón se deberá tirar 180° desde la parte superior de la misma usando un tensiómetro. Un paso se define como una unión en la cual el material de lámina se rompe sin dañar la soldadura; una falla se define como un defecto de adherencia en la costura. Se deberá tener especial cuidado en que el cupón de muestra sea de 2,54 cm. (1") de ancho, medido en forma perpendicular a la costura. Esto es porque el esfuerzo a que será sometida la muestra se expresa en libras / pulgada línea! y cualquier variación en el ancho alterará dicho valor.

La siguiente información se deberá registrar, en forma previa a la soldadura del panel de geomembrana, de manera pertinente:

- a) Nombre del soldador.
- b) Número de la máquina de soldar.
- c) Soldadura nueva o soldadura de reparación.
- d) Condiciones climáticas, tales como lluvia, viento, etc.
- e) Temperatura ambiente.
- f) Velocidad de la máquina.
- g) Fecha de la prueba.
- h) Hora de la prueba.

2.3 SOLDADURA DE GEOMEMBRANA

2.3.1 Equipos para Soldadura de Geomembrana

Los equipos para soldadura de geomembrana son los siguientes:

2.3.1.1 Equipo de Fusión (Cuña)

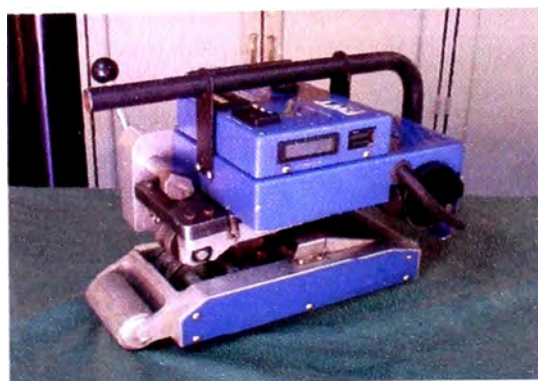


Fig. 1: La cuña es un equipo que mediante un sistema de rodillos y la aplicación de calor a través de una cuña de bronce, suelda mediante una doble costura dos paneles de geomembrana.

2.3.1.2 Equipo de Extrusión



Fig. 2: La extrusora utiliza un cordón de soldadura de polietileno como material de aporte para unir dos paneles de geomembrana, de manera similar al funcionamiento de una pistola de silicona.

2.3.2 Soldadura por Fusión o Cuña Caliente (hot wedge)

Este sistema se realiza mediante la aplicación de calor y la presión mecánica ejercida por un juego de rodillos, en la zona de traslape de ambas láminas. El trabajo se efectúa tomando como referencia dos puntos paralelos sobre el traslape generando en el centro una cavidad vacía (canal de prueba) que nos permitirá efectuar pruebas no destructivas mediante inyección de aire.



Fig. 3: En la vista se aprecia a la cuña en plena operación. Se ven claramente los dos paneles de geomembrana que se están uniendo mediante la aplicación de calor (fusión a nivel molecular).

2.3.3 Soldadura por Extrusión (extrusion welding)

Es un sistema de soldadura efectuado por un cordón continuo de polietileno de alta densidad (ROD HDPE). La varilla de HDPE usada tiene un diámetro determinado y debe ser de la misma calidad de la

geomembrana para lograr una fusión óptima. Para lograr una soldadura eficiente se debe realizar los siguientes trabajos previos:

- Pre- lijado de los paños a unir con los sopletes de aire caliente.
- Lijado de la zona utilizando lijas circulares para lograr minimizar la diferencia de relieve existente entre los paños en el punto de unir.



Fig. 4: Soldadura por extrusión. Se observa a los ayudantes del técnico realizando los trabajos de prelijado y soplado con aire caliente a fin de asegurar una soldadura de calidad.

2.3.4 Equipos para Control de Calidad de la Soldadura

2.3.4.1 Caja de vacío



Fig. 5: La caja de vacío se utiliza para determinar posibles discontinuidades en la soldadura por extrusión, aplicando una presión negativa a lo largo de la costura.

2.3.4.2 Tensiómetro



Fig. 6: El Tensiómetro permite realizar los ensayos sobre los testigos que se extraen de cada costura (fusión o extrusión) y cuyos valores se compararán con los que indican las Especificaciones Técnicas.

2.3.4.3 Spark Tester



Fig. 7: El Spark Tester es un equipo que se utiliza alternativamente a la caja de vacío. Mediante una chispa eléctrica pueden determinarse discontinuidades en la soldadura por extrusión.

2.3.5 Control de Calidad de la Soldadura

2.3.5.1 Ensayos No Destructivos sobre la Soldadura

Una vez finalizadas las costuras soldadas, se someten a pruebas no destructivas.

La prueba no destructiva permitirá asegurar que no hayan orificios en las costuras, que la alineación de la soldadura sea correcta y que no hayan defectos obvios.

2.3.5.1.1 Pruebas de presión de aire en costuras por fusión de doble línea

Se describe a continuación el procedimiento de la prueba por aplicación de aire bajo presión en el interior de la costura, usada para costuras confeccionadas mediante soldaduras realizadas con el método de cuña caliente (soldaduras dobles):

- Sellar la costura a ensayarse en ambos extremos aplicando calor en los dos extremos de la misma hasta alcanzar la temperatura de fluidez. Colocar grampas para mantener cerrados dichos extremos. Dejar enfriarse.
- Insertar un conjunto de medidor de aire con aguja de inflar en un extremo de la costura y volver a sellar.

- Aplicar aire bajo presión al espacio existente entre las dos soldaduras. Se determinará la integridad de la costura de acuerdo con las tasas de fuga detectadas. Se efectúa una lectura de la presión al comienzo de la prueba, después de una espera de 2 minutos, para dejar que el aire inyectado alcance condiciones de temperatura del ambiente en el interior de la membrana. La lectura final de la prueba se toma al cabo de un lapso de 5 minutos después de la lectura inicial. Se determinan los valores tanto para la presión inicial como para la tasa de fuga. En la siguiente tabla se da un ejemplo para una geomembrana de 1.0 mm HDPE:

Tabla 1

Presión Inicial Mínima y Tasas de Fuga Máximas Permitidas.

Espesor de Lámina HDPE	Rango de Presión de aire para la prueba		Fuga máxima permitida, después de una espera de 5 min.
	Presión Mínima inicial	Presión Mínima final	
1.0 mm	207 KPa (30 psi)	186 KPa (27 psi)	21 KPa (3 psi)

- Los resultados obtenidos de las pruebas con aire bajo presión, se registrarán, con indicación, de si cada costura ha sido aprobada o ha sido rechazada en la prueba en cuestión. Al ser rechazada, todos los trabajos de reparación y de ensaye posterior en la costura de que se trate, deberán registrarse en ese mismo documento. Además, se anotará en la superficie del revestimiento al lado del sector sometido a prueba, los respectivos datos de la hora de la prueba, informaciones pertinentes sobre la prueba, y el nombre de la persona que la haya realizado, utilizando para tales fines un marcador de tinta indeleble y siguiendo el siguiente formato:
HR Inicio (HI) / PSI Inicio (PI)
HR Final (HF) / PSI Final (PF)

Fecha : / Operador CC (OP, iniciales)

- Inspeccionar visualmente la costura entera para detectar cualquier problema de traslapado excesivo, malos resultados de extrusión o apretado, la presencia de arrugas, u otra evidencia que pudiera indicar una mala calidad de costura. En caso de localizar visualmente alguna rotura, ésta deberá parcharse y volver a ensayarse. A falta de poder ubicar el punto exacto de alguna fuga visualmente, éste deberá localizarse aislando la costura por sector mediante sellado, repitiendo la prueba para cada sector. Como alternativa, se puede volver a soldar la costura completa, sometiéndola después a un nuevo ensayo. Deberá tomarse una muestra de cupón dentro del sector reparado, para ser sometida a pruebas de resistencia a separación en láminas realizadas por el Instalador. En todo caso, el personal a cargo del proyecto podrá determinar si la soldadura deberá ser recubierta, si lo estime necesario.

2.3.5.1.2 Prueba de la caja de vacío

El procedimiento propuesto para la prueba por método de la caja al vacío se detalla a continuación:

- Se prepara una mezcla de detergente líquido en solución con agua, aplicando una cantidad abundante al sector que haya de ensayarse. Las costuras que presenten un traslapado excesivo o extremos sueltos, deberán desbastarse antes de la realización de la prueba.
- Se coloca una caja de vacío traslúcida sobre el sector a ensayarse, aplicando una leve presión hacia abajo en la caja para que la tira de sello que tiene incorporada se asiente firmemente sobre la superficie de la membrana del revestimiento.
- Se aplica al sector un vacío equivalente a, entre 21 y 34 KPa (de 3 a 5 psi). Las fugas que hubiera se tomarán visibles en la forma de la aparición de grandes burbujas de detergente en los puntos de fuga.
- Los resultados obtenidos de las pruebas al vacío, se registrarán en el documento apropiado, con indicación de sí cada costura ha sido

aprobada o ha sido rechazada en la prueba en cuestión. En caso de ser rechazada, se registrará en ese mismo documento todo trabajo de reparaciones y de nuevo ensaye. Además, se anotará en la superficie del revestimiento al lado del sector sometido a prueba, los respectivos datos de hora de la prueba, informaciones pertinentes sobre la prueba, y el nombre de la persona que la haya realizado, utilizando para tales fines un marcador de tinta indeleble y utilizando el siguiente formato:

Prueba de Vacío (PV) / OK

Fecha / OPERADOR CC (OP, iniciales)

2.3.5.1.3 Prueba de descarga disruptiva

En el caso de aquellas costuras soldadas por extrusión que no se pueden probar por medio de la caja de vacío, se deberá emplear este método haciendo uso de un alambre de cobre de calibre 24 ubicado 1/8" debajo de la superposición de la lámina superior, y un detector Holiday que opera a 20.000 voltios. La información que se deberá registrar al pie de la obra, será la siguiente:

Prueba Eléctrica (PE) / OK

Fecha / Operador CC (OP, iniciales)

2.3.5.1.4 Inspección Visual

La fase final consistirá en una inspección visual de la soldadura para verificar que no hayan defectos y que esté alineada correctamente. Todos los defectos y orificios que se encuentren deberán ser reparados y probados nuevamente. Por último, se deberán inspeccionar visualmente los paneles, las penetraciones, el perforado, el empernado y cualquier otro detalle.

2.3.5.1.5 Reparaciones y nuevos ensayos

Se deberán reparar todas las fallas de la soldadura y todo tipo de daño encontrado en los paneles de revestimiento. La información relativa a las reparaciones y a las pruebas de las reparaciones se deberá informar y mostrar en los dibujos según la construcción. Se realizarán ensayos de

presión de aire a las soldaduras por fusión y, ensayo de caja de vacío para las soldaduras de extrusión y las realizadas en la reparación.

2.3.5.2 Ensayos Destructivos sobre la Soldadura

2.3.5.2.1 Muestreo para las pruebas destructivas

Los procedimientos que se detallan a continuación se realizarán por El Instalador a objeto de llevar a cabo ensayos de resistencia para toda soldadura de prueba (o presoldadura):

Para ensayar las costuras de las soldaduras de prueba, se confeccionarán soldaduras de prueba con dimensiones de 1.000 mm de largo por 300 mm de ancho, probando sucesivamente cada máquina de soldadura por cuña caliente y/o por extrusión, en las siguientes oportunidades y bajo las condiciones indicadas a continuación:

- Al inicio de toda operación de confección de costuras.
- Al completarse cada período de 4 horas de operaciones de costura, o bien, cuando se presente fluctuaciones en las temperaturas del material de membrana mayores que los 20 °C.
- Después de efectuarse cualquier reparación al equipo de formación de costuras.
- Con cada operador que haya de operar un equipo para la fabricación de costuras.
- Para cada método de precostura y de costura empleado para la confección de costuras en el terreno, haciendo uso para dicho propósito de las mismas condiciones y los mismos materiales como en los trabajos de terreno.
- Según lo requiera el Ingeniero a cargo del proyecto.

Al lado de cada soldadura de prueba se anotarán con un marcador los datos de fecha, temperatura y número de la máquina soldadora. Se recortarán de cada soldadura de prueba una muestra de cupón con dimensiones de 25 mm de ancho por 200 mm de largo, para ser sometida

a ensayos de resistencia a cizallamiento y a separación en láminas de acuerdo con las normas ASTM aplicable. Además, se podrá retirar muestras en forma aleatoria a partir de las membranas soldadas e instaladas, para ser sometidas a ensayos similares, según instrucciones del Ingeniero a cargo del proyecto

2.3.5.2.2 Prueba de laboratorio de las soldaduras

Para el caso de las costuras fabricadas en terreno, se llevarán a cabo los siguientes procedimientos para determinar los valores de resistencia que presenten las costuras de este tipo que se someten a ensaye:

Se tomarán muestras para ensayos destructivos desde las costuras fabricadas en terreno, así como también desde los parches y los sectores reparados. La frecuencia y los sitios de muestreo para la toma de muestras para ensayos destructivos, serán determinados por el Ingeniero a cargo del proyecto, siempre que no sean inferiores a una muestra por cada 150 metros lineales de costuras fabricadas en terreno. Cada muestra tomada tendrá dimensiones aproximadas de 1.000 mm de ancho por 300 mm de largo y se recortará del material de revestimiento instalado cortándolas en el sentido perpendicular a la orientación de la costura. Cada muestra tomada para ensayos destructivos deberá dividirse en dos submuestras, de tamaños iguales, para ser ensayado por el Instalador y por la persona a cargo del proyecto, respectivamente. Cada submuestra deberá ser etiquetado para identificarla por su número de muestra para ensaye destructivo, sitio de muestreo, nombres de las personas que fabricaron la costura, número de la máquina de soldadura y fecha de muestreo.

Cada muestra para ensaye destructivo será dividida en 10 cupones de muestra, con dimensiones de 25 mm de ancho y 200 mm de largo, las que serán sometidas en el lugar mismo a pruebas de resistencia a separación en láminas y de resistencia a cizallamiento. Para el caso de las costuras soldadas con método térmico, se dejarán enfriar o entibiarse, según corresponda, hasta alcanzar una temperatura de unos 20 grados Centígrado antes de someterse a prueba. Además, a opción del usuario, se

podrá enviar un 10% aproximadamente de todos los cupones de muestra a un laboratorio independiente para ser sometido a pruebas confirmatorias. En caso de producirse diferencias significativas entre los resultados de laboratorio y los obtenidos de los ensayos de terreno, se suspenderán los trabajos de instalación mientras no se haya resuelto la diferencia a la satisfacción del mandante de la faena.

Se llevará a cabo un total de 5 pruebas de cizallamiento y 5 pruebas de resistencia a separación en láminas, utilizando para dicho propósito los 10 cupones de muestra tomados para los fines de los ensayos destructivos. Todos los cupones deberán arrojar resultados con los valores mínimos.

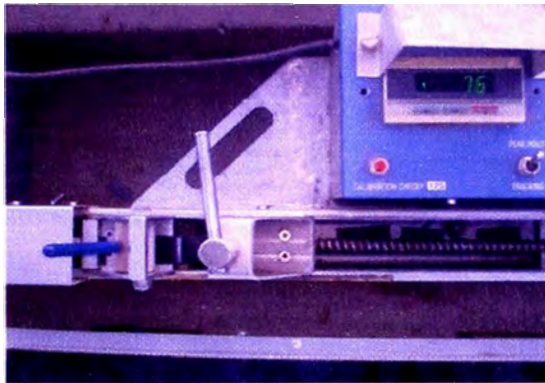


Fig. 8: Se observa un ensayo de separación de láminas en el cual el valor obtenido es de 76 libras/pulg². Para este caso el ensayo fue exitoso.

Con el término "Film Tear Bond" (FTB) se refiere a un tipo de falla de separación en láminas que ocurre a través del material base original de la membrana y no a través de la interfaz entre la membrana y la soldadura. Por lo tanto, la muestra aprueba exitosamente cuando se produce una rotura de tipo FTB, y la muestra es rechazada en la prueba si ocurre una rotura a través de la zona de contacto entre la membrana y la soldadura antes de producirse una falla en el material base original. Se considera que una muestra para ensayos ha sido aprobada cuando los resultados tanto de la muestra de terreno como la del laboratorio han sido aprobadas en sus respectivas pruebas de resistencia a separación en láminas y resistencia a cizallamiento.

Cuando una muestra es rechazada, sea en las pruebas de separación en láminas o sea en las pruebas de cizallamiento, la costura de que haya sido

tomada deberá volver a muestrearse hasta que se obtenga una muestra capaz de ser aprobada y se pueda localizar así la parte defectuosa de dicha costura.

Dicho procedimiento de localización de la parte defectuosa por proceso de aislamiento se llevará a cabo tomando dos muestras adicionales para ensayos destructivos en sitios ubicados a unos 3 metros a cada lado del lugar de origen de la muestra rechazada. Este procedimiento se reiterará hasta obtener una muestra aprobada en ambos lados del sector defectuoso. Una vez que se haya aislado así la parte defectuosa de la costura, se recubrirá la costura completa a través de toda su longitud, o bien, se reparará de una manera aceptable para el Ingeniero a cargo del proyecto. Al repetirse un rechazo en alguna costura, se suspenderá el uso del equipo de soldadura de que se trate o el operador responsable mientras no se individualice las dificultades o no se corrijan las causas y no se demuestre un resultado exitoso en dos costuras sucesivas sometidas a las mismas pruebas.

El técnico de control de calidad o ingeniero de terreno representante del Instalador, inspeccionará cada costura, estampando su rúbrica y anotando la fecha de inspección en el extremo de cada panel inspeccionado. Los sectores en que se detecten cualquier desperfecto deberán marcarse y repararse de acuerdo con los procedimientos de reparación indicados.

2.3.5.2.4 Evaluación de los resultados

a) Como se indicó anteriormente, todas las pruebas deberán exhibir un tipo de unión en el que el material de geomembrana se rompe antes de la soldadura. En todas las muestras de costura de cuña doble, se deberá probar la adherencia en ambas soldaduras.

b) Los valores numéricos se usan para evaluar los resultados de las pruebas. Los valores de tensión mínima por pulgada de ancho para las soldaduras se basan en la resistencia a la tracción mínima especificada en el rendimiento del material base para el HDPE y LLDPE, cuyos mínimos son los siguientes:

Tabla 2
Tensión mínima aceptable (libras / pulgada ancho) - HDPE

Geomembrana HDPE	40 mil	60 mil	80 mil	100 mil
Resistencia al Esfuerzo Cortante	76	113	151	189
Soldadura de cuña	55	82	109	136
Soldadura de extrusión	50	76	101	126

Tabla 3
Tensión mínima aceptable (libras / pulgada ancho) - LLDPE

Geomembrana LLDPE	40 mil	60 mil	80 mil	100 mil
Resistencia al Esfuerzo Cortante	46	68	91	114
Soldadura de cuña	38	57	76	95
Soldadura de extrusión	38	57	76	95

CAPITULO III

REVESTIMIENTO CON GEOMEMBRANA DE RELAVERA N° 04 – UNIDAD ORCOPAMPA – COMPAÑÍA DE MINAS BUENAVENTURA

3.1 MEMORIA DESCRIPTIVA

3.1.1 Introducción

La Unidad Orcopampa de la Compañía de Minas Buenaventura (CMB) se encuentra ubicada en el distrito de Orcopampa, provincia de Castilla, departamento de Arequipa. Tanto las instalaciones de la mina como las viviendas están en un valle por el que discurre el río Orcopampa a una altitud aproximada de 3,900 msnm.

La Mina Orcopampa antes de poner en operación el Depósito de Relaves N° 04, que es materia del presente informe, depositaba sus relaves en el denominado Depósito de Relaves N° 3. Debido a que CMB empezó a construir una nueva planta de proceso por flotación, que involucraba la utilización de cianuro, se proyectó la construcción de un nuevo depósito de relaves denominado No. 4, que tuviera las características necesarias para poder almacenar este tipo de relaves y que diera continuidad a las operaciones de la mina.

La ubicación de la presa fue seleccionada en acuerdo con CMB en base al estudio conceptual de alternativas y su diseño considera una capacidad suficiente para el almacenamiento de relaves para un horizonte de operación estimado en 14 años, con una producción de relaves de 1200 TMS/día.

3.1.2 Clima

La localidad de Orcopampa manifiesta un comportamiento típico de cuencas alto andinas. La temperatura en Orcopampa durante los meses de lluvia tiene un rango corto de fluctuación y durante los meses secos se amplía este rango al presentarse las heladas. La temperatura media

anual es de 5.7°C, la mínima –10°C y la máxima 17.9°C. Según el resumen meteorológico regional la precipitación registrada es de 520 mm/año. De acuerdo a ese mismo documento, la velocidad de los vientos llega hasta 47 km/h, mayormente con dirección sur–oeste.

3.1.3 Geología y Geotecnia

En la geología regional se reconocen 5 unidades bien definidas: rocas sedimentarias del mesozoico, rocas volcánicas del terciario, rocas intrusivas del terciario, rocas volcánicas del cuaternario y depósitos aluviales. El área de las minas Orcopampa está, principalmente, en rocas pertenecientes al Grupo Tacaza y del Complejo Sarpane.

En Grupo Tacaza se diferencian 4 unidades: Tufo Picasa (tufo gris blanquecino de composición latita-riolítica parcialmente soldado con zonas ignimbríticas); Volcánico Santa Rosa (brechas de composición intermedia con algunas lavas al tope y tufos finos en la base); Tufo Manto (tufo de composición riolítica, algo ignimbrítico con fenocristales de cuarzo y feldespatos con presencia de biotita y poca hornblenda con matriz vítrea); y, Tufo La Lengua (tufo de estratificación delgada con niveles tobaceos y piroclásticos muy finos).

El Complejo Sarpane, comprende a la Dacita Manto – Sarpane y consiste de coladas, domos y diques de composición intermedia, acompañados de cantidades menores de lava autobrecha y de roca piroclástica, se le reconoce en el área de Calera.

El área de la Presa de Relaves No. 4 está ubicada sobre la terraza aluvial, con depósitos profundos de más de 30 m de gravas arenosas. La parte este de la presa se encuentra adyacente a los depósitos de relaves existentes No. 2 y No. 3.

3.1.4 Hidrología

La zona presenta un amplio valle, en el cual discurre el río Orcopampa, el mismo que es el principal colector de las aguas que llevan numerosas

quebradas aledañas, que bajan de las partes altas ubicadas principalmente hacia el este y oeste de la zona.

Para el periodo de operación, la presa de relaves se diseñó para resistir la tormenta máxima con un periodo de retorno de 100 años, de acuerdo a normas internacionales (Canadian Dam Association, “Dam Safety Guidelines”, 1999) y cumpliendo a la vez con los requerimientos de los organismos reguladores del Perú. Se calcula, mediante un análisis regresional tipo Gumbel, una precipitación de 80 mm para un evento de 24 horas de duración para el periodo de retorno de 100 años.

El diseño de los canales que se desviaron permanentemente debido a la construcción del nuevo depósito de relaves fueron diseñados para caudales de 100 l/s.

El régimen de caudales y los caudales máximos en el Río Orcopampa, se consideran como estables y no se espera socavación de la margen izquierda donde se asentará el depósito de relaves.

3.1.5 Peligro Sísmico

El Instituto de Geofísica del Perú (IGP) considera el área del proyecto ubicada en una zona de sismicidad alta. La región puede ser afectada por movimientos tectónicos que se manifiestan mediante actividad sísmica con focos superficiales y profundos. Los sismos con epicentros profundos se asocian a la gran zona de falla producto de la subducción de la placa de Nazca bajo la placa continental sudamericana. Los sismos con epicentro superficial se asocian a la presencia de fallas locales.

Según el mapa de regionalización sismotectónica el área sobre la cual se ha de construir el depósito de relaves se localiza en las zonas 4, en la cual se registran posibles intensidades de VIII MM; esta zona tiene actividad sísmica con profundidades de 60 km. Según el mapa de distribución de máximas intensidades sísmicas observadas, el área de estudio se ubica en una zona que corresponde a ocurrencias de máximas

intensidades sísmicas VII MM. Según los mapas de aceleraciones máximas (Casaverde y Vargas 1980) se esperan en el área de estudio las siguientes aceleraciones máximas:

Tabla 4
Aceleración Máxima Esperada para Diferentes Periodos de Retorno

Periodo de Retorno (años)	Aceleración Máxima del Terreno
30	0.17 g
50	0.21 g
100	0.25 g
500	0.4 g

La aceleración estimada para un periodo de retorno de 500 años esta basada en otros estudios en la región para intensidades sísmicas similares.

3.2 ESPECIFICACIONES TECNICAS DEL PROYECTO PARA GEOSINTETICOS

3.2.1 Introducción

Los requerimientos técnicos contenidos en el presente documento tratan sobre la calidad de los materiales geosintéticos que serán elaborados e instalados por la Cía. de Minas Buenaventura S.A.A. para el Proyecto Diseño Final del Depósito de Relaves No.4. En general, esta Especificación es aplicable a la construcción del Depósito de Relaves No.4 en la Unidad Orcopampa.

3.2.1.1 Definición de términos

Por “CMBSAA” se entenderá el Propietario, Cía. de Minas Buenaventura (CMBSAA) o cualquiera de sus representantes autorizados.

Por “Administrador de la Construcción” se entenderá CMBSAA.

Por “Ingeniero” se entenderá Knight Piésold Consultores S.A. y Buenaventura Ingenieros S.A. o cualquiera de sus representantes autorizados.

Por “Contratista” se entenderá la parte que ha celebrado un contrato con CMBSAA para llevar a cabo el movimiento de tierras descrito en el Contrato, tal como se describe en las Especificaciones y Modificaciones y tal como se detalla en los Planos.

Por “Instalador” se entenderá la parte que ha celebrado un contrato con el CMBSAA para la instalación de geosintéticos descrita en las Especificaciones y detallada en los Planos.

Por “Contratista de Concreto” se entenderá la parte que ha celebrado un contrato con CMBSAA para suministrar concreto a las porciones aplicables de la Obra. El Contratista de Concreto es responsable del control de calidad de todo el concreto utilizado para llevar a cabo la Obra.

Por “Contrato” se entenderá el contrato celebrado por CMBSAA con el Contratista para llevar a cabo la Obra mostrada en los Planos y especificada en el presente.

Por “Especificaciones” se entenderá “Especificaciones Técnicas para Movimiento de Tierras y Concreto de Cía. de Minas Buenaventura S.A.A.” y “Especificaciones Técnicas para Geosintéticos de Cía. de Minas Buenaventura S.A.A.”; en nivel de revisión cero o por encima y cualquier otra especificación y Modificación proporcionada por el Ingeniero y CMBSAA aplicables a la Obra. La última revisión numerada de cualquier Especificación será considerada documento aplicable a la construcción de la Obra.

Por “Planos” se entenderá los planos de construcción en nivel de revisión 0 o por encima que han sido elaborados para el proyecto del Depósito de Relaves No.4 y cualquier otro Plano proporcionado por CMBSAA, el Ingeniero o terceros aplicables a la Obra.

Por “Modificaciones” se entenderá los cambios realizados en las Especificaciones o en los Planos aprobados por el Ingeniero y CMBSAA por escrito, después de haberse expedido para la construcción. También

se refiere a los cambios en los elementos de diseño en el campo para explicar las condiciones imprevistas.

Por “Obra” se entenderá la construcción finalizada tal como se muestra en los Planos, los caminos de acceso a la construcción que conectan las áreas de la Obra y tal como se describe en las Especificaciones y el Contrato.

Por “Emplazamiento” se entenderá el emplazamiento de la Unidad Orcopampa, de propiedad de CMBSAA y donde se concluirá la Obra, tal como se describe en las Especificaciones y se detalla en los Planos.

Por “Planta” se entenderá todos los equipos, materiales, suministros, alojamientos temporales, oficinas temporales u otros objetos llevados por el Contratista al Emplazamiento para realizar la Obra, pero no se incluirá equipos, materiales, suministros u otros objetos incorporados en las porciones permanentes de la Obra.

Por “Garantía de Calidad” se entenderá la responsabilidad de la dirección técnica de la Obra para garantizar la conformidad de la Obra con el diseño propuesto. CMBSAA designará al responsable de ejecutar la Garantía de Calidad (QA) y debe ser realizada a satisfacción del Ingeniero y CMBSAA.

Por “Contratista de QA” se entenderá la parte, independiente del Fabricante de Geosintéticos o Instalador, que es responsable de observar y documentar las actividades relacionadas con la garantía de calidad (QA) durante la fabricación y/o instalación de geosintéticos.

Por “Control de Calidad” se entenderá la prueba e inspección necesarias para garantizar que la Obra sea realizada conforme a las Especificaciones. Control de Calidad es responsabilidad del Contratista, Instalador y Contratista de Concreto y debe ser realizado a satisfacción de CMBSAA y el Ingeniero.

Por “Fabricante de Geosintéticos” se entenderá la(s) parte(s) que fabrica(n) el material geosintético. Puede ser más de una compañía.

Por “Instalador” se entenderá la(s) parte(s) responsable(s) de la instalación de geosintéticos tal como se especifica en las Especificaciones Técnicas y se detalla en los planos.

Por “HDPE” se entenderá polietileno de alta densidad.

Por “PGA” se entenderá el material “con potencial para generar ácido” que puede incluir suelos argílicos o rocas y otro material que puede afectar la química de las aguas superficiales o subterráneas identificadas y definidas por CMBSAA.

“Unidades”. En general, las Especificaciones y los Planos se refieren a unidades métricas para tamaños de malla, diámetros de tuberías, espesor de geomembranas, pesos de geosintéticos, etc. Sin embargo, en varios casos, el material adquirido y/o los equipos de prueba y resultados se expresarán en unidades inglesas, lo cual es aceptable siempre y cuando sean equivalentes a las unidades métricas especificadas. El sistema métrico equivalente a la norma inglesa para los tamaños de malla es el siguiente:

Tabla 5
Conversión de Unidades

Sistema Métrico	Norma Inglesa
152.4 mm	6 pulgadas
101.6 mm	4 pulgadas
76.2 mm	3 pulgadas
50.8 mm	2 pulgadas
37.5 mm	1½ pulgadas
25.4 mm	1 pulgadas
19.1 mm	¾ pulgadas
12.7 mm	½ pulgadas
9.52 mm	3/8 pulgadas
4.75 mm	No. 4
2.36 mm	No. 8
1.18 mm	No. 16
0.60 mm	No. 30
0.43 mm	No. 40
0.30 mm	No. 50
0.15 mm	No. 100
0.07 mm	No. 200

3.2.1.2 Presentación

3.2.1.2.1 Excepciones

Cualquier alternativa o excepción a estas Especificaciones será presentada por escrito al Ingeniero, a través de CMBSAA, antes de la adjudicación de la licitación.

3.2.1.2.2 Aspectos generales

El Fabricante de Geosintéticos y/o el Instalador presentará la siguiente información por escrito a CMBSAA antes de proceder a la instalación del material de geomembrana.

- El Fabricante de Geosintéticos confirmará por escrito que las garantías que cubren los materiales y toda la mano de obra, así como la degradación como consecuencia de los rayos ultravioletas, que aparecen en la lista de las Especificaciones contenidas en el presente documento, pueden obtenerse antes de la adjudicación de la licitación.
- Certificación mediante la cual se declara que toda la resina procede del mismo fabricante.
- Copia de los certificados de aseguramiento de la calidad/control de calidad emitidos por el Fabricante de Geomembrana, el proveedor de resina y de una tercera empresa independiente encargada del aseguramiento de calidad.
- Certificación mediante la cual se confirma que las resinas y/o varillas de extrusión proceden de un solo fabricante, que son del mismo tipo de resina y que fueron obtenidas del mismo proveedor de resinas que aquella utilizada para fabricar los rollos de geomembrana.
- Se deberá presentar una copia del Manual de Control de Calidad del Instalador, a CMBSAA, el cual debiera ser aprobado por el Ingeniero antes de la adjudicación de la licitación. Si se presentaran discrepancias entre esta Especificación y el Manual de Control de Calidad del Instalador, se aplicará lo más estricto, salvo que el Ingeniero determine lo contrario.

- Datos sobre las pruebas de soldadura por extrusión y tipo cuña se proporcionarán a pedido del Ingeniero, antes de la adjudicación de la licitación.
- Una vez adjudicada la licitación, el Instalador de Geosintéticos le proporcionará a CMBSAA para que a su vez sea aprobado por el Ingeniero, la distribución de paneles. La revisión se llevará a cabo sólo con fines conceptuales y la colocación real de paneles se determinará según las condiciones del emplazamiento y se aprobará al momento de la instalación.

3.2.1.2.3 Presentaciones diarias durante la instalación

- Formularios de aceptación de la rasante.
- Toda la documentación de QC y los resultados de las pruebas en campo (resultados de las pruebas destructivas y no destructivas).

3.2.1.2.4 Presentaciones una vez concluida la Instalación

- Certificado en el cual se declara que la geomembrana se ha instalado de conformidad con los Planos y las Especificaciones.
- Planos de acuerdo a lo construido que muestren la disposición real del panel de geomembrana, las costuras, ubicación de las muestras de las pruebas destructivas y todas las reparaciones claramente marcadas. La distribución de paneles de acuerdo a lo construido deberá incluir el depósito de relaves No.4, y todas las estructuras que requieren geomembrana para concluir la Obra. La distribución de paneles de acuerdo a lo construido debe ser presentada en planos en tamaño natural y en formato digital (ACAD R14 como mínimo) a CMBSAA y al Ingeniero.

3.2.1.3 Coordinación entre CMBSAA, Contratistas e Ingenieros

Después de que el Contratista haya finalizado la preparación de la superficie que estará situada directamente debajo de los geosintéticos, el Instalador, el Ingeniero y CMBSAA confirmarán su aceptación suscribiendo un formulario en el que se describe la extensión del área.

En ese momento, el Instalador asumirá la responsabilidad de proteger la superficie aprobada utilizando barreras u otros medios a fin de eliminar el tránsito vehicular sobre dichas superficies hasta que éstas estén cubiertas por la geomembrana.

Cualquier daño causado por medios mecánicos u otros a las áreas aprobadas de revestimiento de suelos, tales como la filtración de agua a través de paneles no soldados o parches incompletos, reparaciones, etc. y provocado por el Instalador o que forme parte de su responsabilidad, deberá ser reparado a satisfacción del Ingeniero y el Instalador asumirá el costo. Los daños provocados por el clima en las áreas aprobadas de revestimiento de suelos, que no estén dentro de la responsabilidad del Instalador, deberán ser reparados a satisfacción del Ingeniero y CMBSAA por el Contratista, a expensas de este último. Cualquier daño causado en las áreas aprobadas de revestimiento de suelos como consecuencia de un control ineficiente de escorrentía superficial (por ejemplo, permitir que el agua de escorrentía superficial llegue a las áreas aprobadas) como resultado de las operaciones del Contratista deberá ser reparado a satisfacción del Ingeniero y CMBSAA, a expensas del Contratista.

Después de que el Instalador concluya la instalación de la geomembrana y las medidas finales de control de calidad y el Ingeniero las apruebe, se procederá a identificar claramente las áreas que reciban un material de recubrimiento y se notificará al Ingeniero y CMBSAA para que realicen la inspección de la geomembrana. Una vez obtenida la aprobación firmada del Ingeniero y CMBSAA certificando que la geomembrana ha sido instalada de conformidad con las Especificaciones, el área aprobada estará a disposición de CMBSAA. En ese momento, CMBSAA asumirá la responsabilidad de mantener las condiciones de esa parte de la geomembrana hasta que sea cubierta.

Cualquier daño provocado a la geomembrana aprobada como resultado de las operaciones realizadas por el Contratista será reparado a satisfacción del Ingeniero y CMBSAA, a expensas del Contratista.

Cualquier daño causado a la geomembrana que guarde relación con las actividades de CMBSAA será responsabilidad de CMBSAA.

3.2.2 HDPE

La presente Especificación define los requerimientos de control de calidad durante la fabricación e instalación de los materiales de revestimiento de polietileno de alta densidad (HDPE).

3.2.2.1 Control de calidad del fabricante de geosintéticos

El revestimiento de la geomembrana tendrá una formulación de alta calidad, la cual estará compuesta aproximadamente por 97% de polímeros y 3% de carbón negro con antioxidantes y termoestabilizadores y será resistente a los rayos ultravioleta.

Todas las resinas serán de resina con base de hexeno, de material virgen procedente del mismo fabricante, no se entremezclarán y no se les podrá añadir ningún polímero recuperado. El proceso de fabricación no utilizará más del 10% de la regeneración. En caso de utilizarse, debe ser un HDPE similar al material original

La geomembrana será de material de HDPE fabricada con productos nuevos, de primera calidad, diseñados y elaborados específicamente para contener líquidos en estructuras hidráulicas. El material terminado no deberá tener agujeros, burbujas, materia prima no dispersa, o cualquier signo de contaminación por materia extraña.

El material de geomembrana se suministrará en forma de rollos. Cada rollo deberá estar identificado con etiquetas que indiquen el nombre del fabricante, la identificación del producto, el espesor, la longitud, el ancho y el número del rollo.

El Fabricante de Geosintéticos debe poseer la certificación ISO 9000, el laboratorio del fabricante debe estar certificado por GAI/LAP para las

pruebas que se realicen y tendrá un Programa de Garantía de Calidad independiente en la fábrica de un tercero. La tercera parte propuesta debe ser presentada a CMBSAA y aprobada por CMBSAA antes de fabricar la geomembrana. El tercero deberá realizar las pruebas requeridas en el plazo requerido conforme a esta Especificación. El tercero deberá informar al Fabricante de Geosintéticos, CMBSAA y al Ingeniero sobre cualquier discrepancia o disconformidad con los resultados de las pruebas. El material producido por el Fabricante de Geosintéticos que no esté de acuerdo con los resultados de las pruebas realizadas por la tercera parte o que no cumpla con las normas especificadas en el presente no será enviado al emplazamiento. Todos los resultados de las pruebas (del Fabricante de Geosintéticos y la tercera parte) serán entregados a través de CMBSAA al Ingeniero. Asimismo, los rollos de material serán claramente identificados y correlacionados con los resultados de la prueba proporcionados. El Ingeniero no aprobará el material recibido en el emplazamiento antes de revisar los resultados de las pruebas realizadas por el Fabricante de Geosintéticos y la tercera parte y confirmar los resultados de cada laboratorio (es decir, cumplir con los valores mínimos establecidos en la presente Especificación).

Las resinas y/o varillas de extrusión deberán proceder del mismo fabricante, tal como los rollos de geomembrana y estar elaboradas con el mismo tipo de resina.

3.2.2.2 Propiedades del material de HDPE liso

El material suministrado para construir el depósito de relaves, y otros revestimientos de los componentes del proceso, tales como la geomembrana de polietileno de alta densidad (HDPE) lisa, deberá cumplir con los siguientes estándares:

Tabla 6
Propiedades del Material de la Geomembrana Lisa de HDPE

	Propiedad	Método de Prueba	Valor 1.5 (60)	Unidades s mm (mil)	Frecuencia de Prueba (mínima)
a	Espesor ▪ Promedio ▪ Menor de 10 valores	ASTM D 5199	1.43 (57) 1.35 (54)	mm (mil)	Por rollo
b	Densidad (mínima)	ASTM D 1505	0.94	g/cc	20,000 lb (9,000 kg)
c	Propiedades de tracción (mínima) Límite de Fluencia	ASTM D 6381 Tipo IV Dumbell, 2 ipm	22 (126)	N/mm (lbs/pulg de ancho)	20,000 lb (9,000 kg)
	Esfuerzo de rotura	G.L.=1.3 pulg (33mm) G.L.=2.0 pulg (51mm)	40 (240)	N/mm (lbs/pulg de ancho)	
	Alargamiento de cedencia		12	%	
	Alargamiento de ruptura		700	%	
d	Resistencia al desgarro (mínima)	ASTM D 1004	187 (43)	N (lbs)	20,000 lb (9,000 kg)
e	Resistencia al punzonamiento (mínima)	ASTM D 4833	480 (108)	N (lbs)	20,000 lb (9,000 kg)
f	Resistencia al agrietamiento por esfuerzos	ASTM D 5397,	400	Horas	

		Apéndice Punto Único ² (30% cedencia, 20% resistencia)			Por lote
g	Rango de Carbón Negro	ASTM D 1603	2.0- 3.0	%	20,000 lb (9,000 kg)
h	Dispersión de Carbón Negro	ASTM D 5596	Véase nota 3	-	20,000 lb (9,000 kg)
i	Resistencia de las costuras ⁵ Desgarramiento	ASTM D 6392-99		1. $\geq 80\%$ de resistencia a la cedencia del PM4 2. FTB4 3. $\leq 10\%$ de longitud lineal de pelado	Véase sección 2.3
	Cizallamiento			1. $\geq 90\%$ de resistencia a la cedencia del PM4 2. FTB4 3. $\geq 50\%$ de deformación en caso de rotura	
j	Tiempo de Inducción de Oxidación a. OIT estándar, mínimo, u	ASTM D 3895	>100	Minutos	Por lote

	b. OIT Alta Presión, mínimo	ASTM D5885	>400		
k	Curación del horno a 85°C	ASTM D 5721		%	Por cada formulación
6	a. OIT estándar, mínimo (% retenido después de 90 días), u	ASTM D 3895	55	%	
	b. OIT a Alta Presión, mínimo (% retenido después de 90 días)	ASTM D 5885	80		

Notas:

1. Los valores promedio de la dirección de la máquina (MD) y la dirección transversal de la máquina (XMD) deberán ser la base de 5 muestras de prueba respectivamente. El alargamiento de cedencia se calcula utilizando una distancia entre señales de 33 mm. El alargamiento de ruptura se calcula empleando una distancia entre señales de 50.8 mm (2.0 pulgadas).
2. Curva de trazo lleno con respecto a la calidad de la nueva resina.
3. Dispersión del Carbón Negro para 10 vistas diferentes (sólo se aplica a aglomerados esféricos cercanos):
 - Mínimo 9 de 10 en las Categorías 1 ó 2
 - No más de 1 vista en la Categoría 3
4. Unión del Desgarramiento de Película = FTB; Material Original = PM.
5. La prueba de resistencia a la tracción de la costura se llevará a cabo con el mismo grado de deformación que el trabajo de la prueba de resistencia a la tracción del material original (2 ipm).
6. También es recomendable evaluar las muestras cada 30 y 60 días para compararlas con la respuesta a los 90 días.

El material deberá estar asegurado contra defectos de fabricación así como contra la degradación debido a la exposición a los rayos ultravioleta

de las áreas expuestas por un periodo mínimo de 20 años, contados a partir de la fecha de instalación o según lo acordado mutuamente antes de la adjudicación del Contrato para el suministro de geosintéticos entre CMBSAA y el Fabricante de Geosintéticos. Esta garantía cubrirá, salvo que CMBSAA o el Fabricante de Geosintéticos acuerden lo contrario, el costo del material, el transporte y la manipulación, la mano de obra y el equipo de reemplazo del material defectuoso o averiado

3.2.2.3 Control de calidad de la instalación

3.2.2.3.1 Aspectos generales

La geomembrana se instalará en el área indicada en los Planos o según lo indique el Ingeniero.

Antes de desplegar la geomembrana, el Instalador inspeccionará, certificará y aprobará, junto con el Ingeniero y CMBSAA todas las superficies sobre las cuales se colocará la geomembrana, con el fin de asegurar el cumplimiento de las Especificaciones. El Contratista deberá rectificar las superficies que no cumplan con las Especificaciones.

La cantidad de geomembrana a desplegarse, que no cuente con el control de calidad final y cuya reparación definitiva se esté finalizando, no deberá exceder los 30,000 metros cuadrados si no se cuenta con la aprobación escrita del Ingeniero y CMBSAA. Asimismo, no se deberá dejar ninguna costura sin soldar, ni tampoco ninguna abertura en el revestimiento al final de un turno de trabajo sin el conocimiento y aprobación del Ingeniero.

La geomembrana se deberá colocar sobre la superficie preparada utilizando métodos y procedimientos que aseguren una manipulación mínima y que no dañen la geomembrana o la superficie subyacente. El Instalador deberá proporcionar recursos temporales de sujeción y lastre (generalmente sacos de arena) que no deterioren la geomembrana, con el fin de prevenir levantamientos y daños a causa del viento. El lastraje que se realiza colocando pilas sueltas de capa protectora u otro material

fácilmente erosionable no deberá efectuarse a menos que se cuente con la aprobación explícita de CMBSAA. El Instalador es el único responsable de garantizar la seguridad de sus operaciones y de tomar las decisiones relacionadas con el despliegue de la geomembrana durante condiciones atmosféricas adversas y con la cantidad requerida de recursos temporales de sujeción y lastre.

La manipulación y el almacenamiento del material de revestimiento se llevará a cabo de conformidad con las instrucciones impresas del Fabricante de Geosintéticos. El personal que camine o trabaje sobre la geomembrana no realizará actividades ni usará zapatos que puedan dañarla. Está prohibido fumar cuando se trabaja en la geomembrana o en las áreas de almacenamiento de la misma.

La geomembrana se deberá instalar con tranquilidad, sin que haya de por medio situaciones de tensión o estrés hasta que la instalación esté terminada. Se tomará todas las precauciones necesarias, incluyendo disposiciones para instalar material adicional, a fin de no pasar por alto la geomembrana que permanecerá expuesta (es decir, espacios vacíos y esquinas del talud del depósito de relaves).

Si se forman arrugas excesivamente altas en la geomembrana que se doblan y no desaparecen en las horas más frías del día, cuando la geomembrana se encuentra relativamente plana, es probable que sea necesario retirar parte de la geomembrana excedente. Antes de llevar a cabo cualquier medida correctiva, se deberá monitorear las áreas con problemas por dos o tres días, durante las horas más frías y más calientes del día para determinar si las arrugas constituyen un problema y la extensión de la geomembrana excedente que deberá ser retirada. Asimismo, se deberá informar al Ingeniero acerca de las áreas con problemas y éste, junto con el Instalador, determinarán las medidas correctivas que se van a implementar.

Siempre que sea posible, los paneles deberán estar orientados de manera tal que las costuras estén situadas en paralelo con la línea del talud.

Las costuras horizontales en campo ubicadas en los taludes deben ser mínimas. Las costuras se deben realizar colocando el material ascendente sobre el material descendente con suficiente traslape. Se debe dejar un metro desde la parte inferior o superior del talud hasta cualquier costura horizontal ubicada en las áreas planas. De igual modo, las costuras horizontales de los paneles adyacentes deberán tener generalmente una separación mínima de 1 m. Para identificar las costuras se empleará un sistema de numeración secuencial de costuras que sea compatible con el sistema de numeración de paneles.

La instalación se llevará a cabo bajo la dirección de un superintendente que haya instalado un mínimo de 1,000,000 metros cuadrados de material de revestimiento flexible de HDPE. El Instalador designará al superintendente quien estará a cargo de la instalación.

El Instalador deberá tener extremo cuidado al preparar las áreas que serán soldadas. Se deberá limpiar y preparar el área de la costura de acuerdo con los procedimientos aprobados en el Manual de QC del Instalador y todo el laminado se soldará junto mediante métodos térmicos.

El equipo de soldar deberá tener la capacidad de monitorear y controlar continuamente la velocidad y las temperaturas en la zona de contacto donde la máquina esté realmente fundiendo el material de revestimiento, a fin de asegurar que los cambios en las condiciones atmosféricas no afecten la integridad de la soldadura. Se deberá seguir los datos publicados por el fabricante de la máquina de soldar con respecto a los rangos de la temperatura y la velocidad, así como las recomendaciones del Fabricante de Geosintéticos.

Se deberá mantener en el emplazamiento un número adecuado de equipo de manipulación, soldadoras y equipo de prueba para evitar demoras a causa de averías de los equipos. Al inicio del proyecto y periódicamente durante el desarrollo del mismo, el Ingeniero revisará el equipo con el que cuenta el Instalador así como su rendimiento y hará las recomendaciones del caso a CMBSAA si considera que el equipo no es apropiado para llevar a cabo el trabajo sin demoras de ningún tipo.

No se permitirán “arrugas” dentro del área de la costura. Donde hayan “arrugas”, el material será cortado, superpuesto y soldado por extrusión. Al finalizar la Obra, todas las soldaduras estarán unidas herméticamente. Las áreas de la membrana que presenten deformaciones debido a desgastes superficiales o perforaciones excesivas provocadas por algún motivo deberán ser reemplazadas o reparadas.

El Instalador deberá tener en cuenta que es muy posible que se produzcan cambios atmosféricos repentinos, los cuales provocan retrasos en la construcción de las costuras en campo. El empalme de los paneles y las reparaciones sólo será terminado bajo condiciones atmosféricas que permitan llevar a cabo dicho trabajo dentro de los límites de garantía impuestos por el Fabricante de Geosintéticos.

3.2.2.3.2 Soldaduras de prueba

- Las soldaduras de prueba se llevarán a cabo en la geomembrana con el fin de verificar el rendimiento del equipo de soldar y del soldador antes de efectuar soldaduras de producción. Las siguientes condiciones se aplicarán a las soldaduras de prueba:
 1. Ningún equipo de soldar o soldador estará autorizado para realizar soldaduras de producción hasta que dicho equipo y operador hayan concluido satisfactoriamente una soldadura de prueba.
 2. Se deberá realizar un mínimo de dos soldaduras de prueba al día por equipo de soldar: una antes de empezar el trabajo y otra al mediodía. No obstante lo mencionado anteriormente, las soldaduras

de prueba se efectuarán, como mínimo, cada 5 horas durante las operaciones de costura o según lo requiera el Ingeniero.

3. Las soldaduras de prueba se llevarán a cabo después de haber reparado el equipo.
4. Cada técnico que utilice el equipo deberá realizar una soldadura de prueba.
5. Las soldaduras de prueba se efectuarán bajo la misma superficie y condiciones ambientales que las soldaduras de producción, es decir, en contacto con la rasante y bajo temperaturas ambientales similares. Asimismo, se utilizarán los mismos materiales y técnicas de pre-costura y costura que se emplearán para las soldaduras de producción.
6. Las muestras de la soldadura de prueba deberán medir como mínimo 1 m de largo por 300 mm de ancho y deberán indicar la fecha, nombre del técnico, temperatura ambiente y el número y temperatura de la soldadora.
7. Se deberá cortar cuatro franjas de prueba de 25.4 mm de ancho por 150 mm de largo de la soldadura de prueba. Estas franjas se someterán a pruebas de adherencia de las laminas y resistencia de la costura al desgarro.
8. Se considerará que una muestra de la soldadura de prueba ha pasado la prueba cuando las pruebas de pelado y cizallamiento alcancen los valores contenidos en estas Especificaciones.
9. La soldadura de prueba se repetirá en su totalidad cuando cualquiera de las muestras de la soldadura de prueba no cumpla con los requerimientos de pelado o cizallamiento.

3.2.2.3.3 Inspección y prueba de la costura en campo

Se harán todos los esfuerzos necesarios para instalar una geomembrana perfecta, lo cual significa que todas las costuras realizadas en campo, parches y extrusiones, se inspeccionarán, se someterán a pruebas y se registrarán.

Un técnico de control de calidad inspeccionará cada costura y colocará sus iniciales y la fecha de la inspección al final de cada panel. Se marcará y reparará las áreas que presenten defectos de conformidad con los procedimientos de reparación de HDPE.

El Instalador llevará a cabo toda inspección, muestreo y prueba en campo de conformidad con estas Especificaciones y bajo la dirección del Ingeniero.

El programa de pruebas de la instalación en campo consistirá en inspecciones oculares periódicas, así como pruebas de continuidad y resistencia. Estas inspecciones y pruebas se deben realizar de manera continua y automática, independientemente de otro tipo de pruebas necesarias. El programa incluirá las siguientes inspecciones de pruebas destructivas y no destructivas y los procedimientos de reparación:

3.2.2.3.3.1 Prueba no destructiva e inspección

Las costuras se deberán probar e inspeccionar en toda su longitud sin destruirlas, tal como se indica a continuación:

1. Se llevará a cabo inspecciones oculares de rutina, las cuales incluirán lo siguiente:
 - a. Revisión ocular de las costuras en campo para determinar estrechamientos, huellas de pisadas, fusiones y traslapes.
 - b. Revisión de las máquinas para garantizar su limpieza, temperatura, etc.

- c. Examinar todas las áreas con y sin costura de la geomembrana para detectar defectos, agujeros, burbujas, materias primas no dispersas y cualquier signo de contaminación por material extraño.
2. Es necesario realizar pruebas de continuidad a todas las costuras en campo en áreas reparadas. La presión entre costuras o “prueba con aire interior a presión”, así como la prueba utilizando una caja al vacío son consideradas métodos aceptables para pruebas de continuidad. El procedimiento de la prueba para determinar la presión entre costuras o prueba con aire interior a presión es el siguiente:
- a. Selle ambos extremos de la costura que se someterá a prueba aplicando calor en el extremo de la costura hasta lograr una temperatura de flujo. Libere los extremos y deje enfriar.
- b. Inserte un manómetro/dispositivo de aguja indicadora en el extremo de la costura y séllelo.
- c. Aplique presión de aire en el espacio vacío entre las dos costuras, de acuerdo con los siguientes valores:

Tabla 7
Presión Inicial de HDPE
para Pruebas de Aire

Espesor del Material		Rango de Presión				Fuga permitida después de 5 minutos	
		Mínimo		Máximo			
HDPE		KPa	(psi)	kPa	(psi)	Kpa	(psi)
1.5 mm	(60 mil)	193	(28)	241	(35)	21	(3)

- d. Lea la presión de arranque inicial después de un periodo de relajación de 2 minutos, lo cual permite que el aire alcance la temperatura ambiente del revestimiento; y la presión final, después de 5 minutos.
- e. Marque los resultados de la prueba de fuga de aire en el lugar de la prueba. El Instalador se encargará de registrarlos. Si la prueba arroja un resultado negativo, busque la fuga y repárela, caso contrario tendrá que reparar y probar nuevamente toda la costura.
- f. Una vez finalizada la prueba, libere el aire del extremo opuesto de la costura desde el cual éste fue aplicado.
- g. Repare el área donde instaló el manómetro/dispositivo de aguja indicadora y liberó el aire.

El procedimiento para la prueba de caja al vacío es el siguiente:

- a. Mezcle una solución de detergente líquido y agua y aplique una gran cantidad al área que será sometida a prueba. Si una costura tiene traslape en exceso o bordes sueltos, ésta se deberá cortar antes de realizar la prueba.
 - b. Coloque una caja al vacío translúcida sobre el área y aplique una pequeña cantidad de presión descendente a la caja para fijar la franja de sellado en el revestimiento.
 - c. Aplique un vacío (de 21 a 34 kPa) sobre el área. Las fugas se harán visibles mediante burbujas grandes.
3. Se deberá realizar una prueba de fusión o quemado en todas las soldaduras tipo cuña, además de la prueba de presión de aire en la

costura. Esta prueba se llevará a cabo utilizando el método de “limpieza con chorro de aire” o el método de “selección o esfuerzo de punto mecánico” con la finalidad de verificar que no hayan agujeros fusionados o quemados, los cuales no pueden ser detectados por la prueba de presión de aire ni observados debido al flap de soldadura tipo cuña.

- a. Método de Limpieza con Chorro de Aire. Un chorro de aire mantenido continuamente aproximadamente a 350 kPa (50 lbs/pulg²) de presión pasa a través de una lanza con un orificio de 5 mm (3/16 pulg) de diámetro. Éste se dirige por debajo del flap para detectar agujeros o áreas fusionadas o quemadas con un considerable adelgazamiento de la geomembrana causado por la soldadura tipo cuña. Cuando se ubica una área como esa, el aire pasa a través del revestimiento provocando una ligera hinchazón y/o vibración en el área localizada.
 - b. Método de Prueba de “Selección” o Esfuerzo de Punto Mecánico. Se introduce una herramienta sin filo (como por ejemplo un destornillador de punta roma) debajo del flap para detectar agujeros o áreas fusionadas o quemadas con un considerable adelgazamiento de la geomembrana causado por la soldadura tipo cuña.
4. Todos los parches, sombreros, etc. soldados por extrusión, además de haber sido probados mediante la caja al vacío, serán sometidos a la prueba de “descarga disruptiva”. El concepto básico de esta prueba es el siguiente:
- a. Se debe preparar la costura para ser sometida a soldadura por extrusión de conformidad con los procedimientos del Instalador.
 - b. Antes de aplicar el cordón de extrusión, se coloca un cable de cobre de bajo calibre dentro de la costura. Generalmente, un

cable de cobre desnudo de calibre 18 es el adecuado. El cable se debe conectar a tierra en uno de sus extremos y colocarse al borde de la lámina superior de la costura de traslape. La inserción del cable por debajo del borde de la lámina superior ayudará a mantener el cable en su lugar durante la soldadura. Cabe mencionar que este procedimiento se deberá realizar antes del esmerilado para evitar el riesgo de contaminar el área de la soldadura.

- c. Aplique el cordón de extrusión en la forma usual y deje que la soldadura se enfríe.
- d. Active el aparato de prueba de descarga disruptiva y mueva el detector óptico de electrodos cerca de una fuente de conexión a tierra a fin de determinar la longitud máxima de la chispa que se pueda generar. Regule el voltaje de salida hasta que la longitud de la chispa exceda la distancia potencial máxima de la línea de fuga. Normalmente, ésta es la distancia diagonal desde el cable incrustado hasta el borde del cordón de soldadura en una junta tipo "T".
- e. Una vez fijado el voltaje de salida, se puede iniciar la prueba. La prueba se lleva a cabo pasando un electrodo sobre las costuras, en donde el electrodo entra en contacto con la membrana y/o el cordón de soldadura extruido. La indicación sonora y visual de una chispa determina la existencia de una línea de fuga potencial.
- f. Si se detecta una fuga potencial, se puede reparar el área mediante esmerilado y resoldadura. No se considera una técnica de reparación aceptable el colocar cordones de soldadura adicionales junto a la soldadura que tiene la fuga. Este procedimiento sólo prolongará la línea de fuga hasta el punto que el aparato de prueba de descarga disruptiva no podrá generar

una chispa lo suficientemente larga para abrir una brecha en la abertura prolongada.

- g. Después del esmerilado y resoldadura, se debe volver a probar la costura. Si aún hay algún indicador de la presencia de una fuga potencial (chispa), podría ser necesario colocar un parche sobre el área.

3.3.2.3.2 Prueba destructiva de costuras en campo

Los siguientes procedimientos se utilizarán para las pruebas destructivas de costuras en campo:

1. Las muestras destructivas se pueden obtener de costuras o áreas reparadas en campo haciendo cortes perpendiculares a las costuras. La muestra debe medir aproximadamente 600 mm de largo por 300 mm de ancho. Esta muestra se cortará, a su vez, en dos muestras de 300 mm por 300 mm y se rotularán con la identificación del soldador, fecha y ubicación. CMBSAA conservará una de las muestras y el Instalador probará la otra empleando un tensiómetro calibrado, de acuerdo con las normas ASTM o NSF 54 aplicables, según corresponda.
2. La frecuencia para la obtención de muestras de prueba destructiva no deberá ser inferior a una muestra por cada 100 metros de costura en campo. Las muestras de material para pruebas (cinco por serie de pruebas 25.4 × 203.2 mm) procedentes de la muestra destructiva serán sometidas a prueba para determinar la resistencia al desgarramiento y la resistencia de la costura a la adherencia, así como el espesor de conformidad con las normas ASTM aplicables. Los resultados de todas las pruebas de cizallamiento y pelado deberán cumplir o exceder los requerimientos del proyecto. Si una o más de las muestras de material para pruebas no cumple con las especificaciones, la muestra será considerada defectuosa.

3. En caso de que un resultado de la prueba no cumpliera con las especificaciones, se aplicará el siguiente procedimiento:
 - a. El Instalador seguirá una de estas dos opciones:
 - Reconstruir la costura ubicada entre dos lugares que pasaron la prueba, o
 - Ubicar la soldadura en un lugar intermedio por lo menos a 3 metros o al final de la costura en ambas direcciones, desde el lugar que no pasó la prueba.
 - b. Si una muestra no pasara la prueba, el proceso se repetirá hasta que las pruebas sean aprobadas para establecer la zona en la que la costura será reconstruida o cubierta. Las costuras aceptables serán acotadas por dos lugares cuyas muestras hayan pasado las pruebas destructivas.
 - c. Una vez aislados los límites defectuosos de la costura, dicha parte de la costura será reconstruida o cubierta.
 - d. Se deberá someter a prueba las costuras soldadas antes y después de la costura defectuosa utilizando el mismo dispositivo de soldadura.
4. Generalmente, no son prácticas ni serán necesarias las pruebas destructivas realizadas en reparaciones o parches pequeños soldados por extrusión. Sin embargo, como una alternativa para someter a pruebas destructivas a estas soldaduras por extrusión de la producción, el Instalador realizará periódicamente pruebas destructivas (como mínimo una vez cada 100 metros de costuras soldadas por extrusión) en una soldadura de muestra al mismo tiempo que realice la reparación o soldadura de un parche. Salvo en los casos en que no resulte práctico, la soldadura de prueba se

efectuará en un material proveniente del mismo lote o rollo utilizado para la reparación o parche. Si la soldadura de muestra falla, se deberá tomar una muestra de la soldadura de reparación o parche y se someterá a prueba.

3.2.2.3.4 Procedimientos de reparación

La geomembrana o costura dañada o defectuosa que no pasen las pruebas destructivas o no destructivas deberán ser reparadas. El Instalador será responsable de reparar las áreas dañadas o defectuosas.

El Instalador y el Ingeniero acordarán la elección del método de reparación apropiado. Los procedimientos disponibles son los siguientes:

1. Reemplazo. Se retira la geomembrana dañada o costura inaceptable y se reemplaza con materiales de geomembrana aceptables si el daño no se puede reparar de manera satisfactoria.
2. Parchado. Se usa para reparar agujeros grandes, desgarramientos, materia prima no dispersa y contaminación por materias extrañas.
3. Abrasión y Resoldadura. Se utiliza para reparar secciones de costura pequeñas.
4. Recubrimiento. Se emplea para reparar grandes longitudes de costuras averiadas.
5. Soldadura de lengüeta. Se utiliza para soldar la lengüeta por extrusión (porción exterior excedente) de una soldadura por fusión en lugar de un sombrero completo.

Asimismo, se observarán los siguientes procedimientos:

1. Las superficies del polietileno que serán reparadas mediante soldadura por extrusión se deberán raspar ligeramente para garantizar su limpieza.
2. Toda geomembrana deberá estar limpia y seca al momento de la reparación.
3. Los parches o sombreros se extenderán por lo menos 150 mm en el caso de la soldadura por extrusión y 100 mm en el caso de la soldadura tipo cuña, más allá del borde del defecto y de la esquina redonda del material de parchado. Los extremos de todos los parches se deberán biselar.
4. Todos los parches y sombreros se deberán examinar y presentar en los Planos de acuerdo a lo construido.

Asimismo, la verificación de la reparación se llevará a cabo de la siguiente manera:

1. Se enumera y registra cada reparación de parches.
2. Se somete a prueba no destructiva cada reparación utilizando los métodos indicados en esta Especificación.

3.3. DISEÑO Y MODIFICACION DEL DISEÑO ORIGINAL (ETAPA PRE-INITIAL O POZA DE CONTINGENCIA)

3.3.1 Criterios de Diseño

3.3.1.1 Objetivos del Diseño

Los principales objetivos asociados al diseño del Depósito de Relaves No. 4 fueron:

- Almacenar en forma permanente y segura los relaves en un depósito diseñado bajo estándares internacionales.
- Evitar la contaminación en zonas aledañas al depósito.
- Construir el nuevo depósito de relaves en dos etapas para distribuir los costos de inversión en la vida útil de la presa.
- Obtener el menor costo y el mayor beneficio en la construcción de la etapa inicial, al utilizar el material excavado del fondo del vaso del depósito (material aluvial) como material de relleno para la construcción del dique.
- Instalar sistemas de monitoreo para asegurar que la presa cumple con los criterios de diseño.

3.3.1.2 Normas de Diseño

Los criterios de diseño adoptados estuvieron basados en estándares internacionales para el diseño de presas. Particularmente, el diseño de la presa cumple con las siguientes guías y recomendaciones:

1. Canadian Dam Safety Association (CDSA) "Dam Safety Guidelines for Existing Dams", 1995.
2. International Commission on Large Dams (ICOLD), particularmente ICOLD Bulletin 98 "Tailings Dams and Seismicity - Review and Recommendations", 1995.

3.3.1.3 Criterios de Diseño

Los principales criterios fueron los siguientes:

- Producción de relaves: 1,200 TMS/día
- Contenido de sólidos en pulpa: 48%
- Caudal de agua en la pulpa: 1,300 m³/día
- Vida útil de 12.5 años, en 2 etapas
- Elevación máxima del dique del depósito: 3,804 msnm

3.3.2 Características del Depósito de Relaves

3.3.2.1 Descripción General del Diseño

El depósito de Relaves N° 4 de Orcopampa está ubicado en una terraza aluvial a unos 500 m de la margen izquierda del río Orcopampa, al oeste del depósito de Relaves No. 2 (cerrado) y del depósito de relaves No. 3 (actualmente en operación).

Su diseño consideró una capacidad suficiente para el almacenamiento de aproximadamente 5.5 MTMS (millones de toneladas métricas de sólidos) de relaves, capacidad suficiente para almacenar relaves durante 12.5 años, a una producción diaria de 1,200 TMS.

El método constructivo del depósito de relaves No. 4 fue aguas abajo. Se eligió este método ya que resultó ser el más adecuado y seguro desde el punto de vista de estabilidad, para el tipo de relaves producto del proceso de flotación con cianuro. Se consideró que este método era más seguro dado que los resultados mostraron que la falla más crítica de tipo circular se localiza superficialmente en la cara aguas abajo del dique de contención y que una falla profunda a través de la presa, el recubrimiento con geomembrana y los relaves tienen un factor de seguridad alto.

La construcción del depósito de relaves No. 4 estuvo dividida en dos etapas, las cuales serán descritas más adelante en la sección 3.3.2.2 (metodología de construcción).

El diseño del depósito de relaves consideró varios aspectos principales:

- Características de los relaves,
- Fundación ,
- Pendientes y sistema de disposición de los relaves,
- Capacidad de las obras de derivación,
- Capacidad de almacenamiento de crecidas en el depósito,
- Requerimientos de agua a reciclar a la planta de proceso,

- Manejo de excedentes de agua de la laguna de agua sobrenadante,
- Obras asociadas:
 - Re-ubicación de la carretera de acceso entre la comunidad de Orcopampa, al aeropuerto y a la comunidad de Tintaymarca,
 - Re-ubicación del canal de agua de riego de la comunidad de Tintaymarca,
 - Re-ubicación del canal de conducción de agua industrial,
 - Re-ubicación de las pozas de sedimentación.

3.3.2.2 Metodología de Construcción

Como se ha mencionado anteriormente el depósito de relaves No. 4 fue diseñado para construirse en dos etapas las cuales han sido denominadas Etapa Inicial y Etapa Final. Dada la proximidad de la siguiente temporada de lluvias, se tuvo que prever una etapa **PRE-INICIAL**, mediante la cual se daría inicio a las operaciones; esta etapa pre-inicial tendría una capacidad aproximada de 170,000 toneladas, lo cual representa cinco meses de producción

En la siguiente tabla se muestra las principales características para cada etapa de construcción del depósito de relaves No. 4:

Tabla 8
Etapas de Construcción del Depósito de Relaves No. 4

Etapa	Años de Producción	Hasta año	Cota de Coronación msnm	Bordo libre M
Inicial	9	2012	3,799	1.2
Final	3.5	2016	3,804	1.2

En ambos casos se consideró un bordo libre de 1.2 m para contener las crecidas asociadas a la tormenta de diseño correspondiente a 100 años durante la vida útil del dique.

3.3.2.2.1 Etapa Inicial

En la Etapa Inicial de la construcción del depósito de relaves No. 4 se consideró obtener el menor costo con el mayor beneficio, al utilizar el material excavado del fondo del vaso del depósito (material aluvial) como material de relleno en la construcción del dique, hasta la cota de coronación de 3,799 msnm.

Esta etapa permitirá la disposición de relaves durante los primeros 9 años para una producción de 1200 ton/día (hasta el año 2012 aproximadamente).

A continuación se presenta un listado general de la secuencia de construcción del depósito de relaves No. 4 en su etapa:

Fase 1: Etapa Pre-Inicial

- En la primera fase de la construcción de la Etapa Inicial se consideró excavar e instalar el tanque de recepción de agua de subdrenaje, la tubería de salida y el subdren principal en el cruce con la carretera de acceso y canal de riego de Tintaymarca al sur del depósito, con el propósito de permitir el funcionamiento de dichas obras de una manera rápida, durante el tiempo que durasen las obras de construcción de la presa.
- Finalizada la instalación del tanque de recepción de agua de subdrenaje, la tubería de salida y el subdren principal, se procedió a la construcción de la carretera y canal perimetral.
- Para la construcción de la etapa pre-inicial, se excavó en el fondo del vaso del depósito, aproximadamente 348,000 m³ equivalentes a cinco meses de producción, luego de lo cual se procedió a la instalación del sistema de drenaje en la fundación del dique y en el fondo del vaso excavado. El material excavado fue utilizado como material de relleno en la construcción del dique, para lo cual se verificó que este material cumplía con las especificaciones técnicas. Conformación y compactación de 300 mm (min) de

material de revestimiento de suelo (soil liner) y recubrimiento con geomembrana HDPE lisa de 1.5 mm (60 mil) en toda el área del depósito de relaves con el fin de poder descargar los relaves antes del inicio de la temporada de lluvias.

Fase 2: Finalización de la Etapa Inicial

- Finalizada la primera temporada de lluvias se continuaron con los trabajos de excavación en el fondo del vaso del depósito. La excavación fue realizada en dirección aguas abajo con una pendiente mínima de 1.5 % de manera que permitiría la evacuación del agua de sub-drenaje al tanque de recepción y a su vez permitiría mantener la laguna alejada del dique de contención una vez depositados los relaves.
- Realizado del empalme del sistema de drenaje en el fondo del vaso una vez finalizada la excavación del resto del material aluvial existente.
- Conformación y compactación de 300 mm (min) de material de revestimiento de suelo (soil liner) sobre el área restante del vaso y la cara aguas arriba del dique de contención, preparando dichas superficies para la instalación de la geomembrana.
- Realizado del empalme de la geomembrana HDPE lisa de 1.5 mm (60 mil) de toda la superficie mencionada anteriormente.

Fase 3: Sistema de Suministro de la Etapa Inicial

- Finalmente se procedió a la instalación del sistema de suministro de relaves y el sistema de retorno de agua sobrenadante a lo largo de la extensión del dique de contención.

3.3.2.2.2 Etapa Final

La Etapa Final considera incrementar la altura de coronación de la etapa inicial hasta la cota 3,804 msnm con material de préstamo de cantera, cuando la capacidad de almacenamiento para la primera etapa se aproxime a su finalización. Este nuevo incremento en la altura del dique

proporciona una capacidad adicional de aproximadamente 1.5 millones de toneladas, que equivalen a 3.5 años más de producción.

Fase 4: Dique de contención de la Etapa Final

- Antes de empezar la construcción de la etapa final del dique, se deberá efectuar la preparación de la fundación aguas abajo del dique de la etapa inicial. Luego se procederá a colocar y compactar en capas el material de préstamo hasta alcanzar la elevación de 3,804 msnm.

Fase 5: Revestimiento y Sistema de Suministro de la Etapa Final

- Colocar y compactar 300 mm (min) de material de revestimiento de suelo (soil liner) sobre la cara aguas arriba del incremento en la altura del dique de contención, preparando la superficie para la instalación de la geomembrana lisa HDPE de 1.5 mm (60 mil) de espesor.
- Finalmente se procederá a la re-instalación del sistema de suministro de relaves, para la nueva elevación, y el sistema de retorno de agua sobrenadante a lo largo de la extensión del dique de contención.

3.3.2.3 Problemas encontrados y Cambio de Diseño

3.3.2.3.1 Construcción al Pie del Deposito de Relaves No. 3

Durante la excavación del material existente dentro del área del Depósito de Relaves No. 4, se encontró al pie del Depósito No. 3 existente, sector noroeste, una zona de relave antiguo fino, plástico, suelto y húmedo, con filtraciones de agua. La zona de interés tenía una longitud de aproximadamente 80 m.

Dos zanjas fueron excavadas hasta el pie para mostrar las características del material. El caudal de filtraciones fue menor en la zanja norte que en la zanja ubicada más al sur, sin embargo en ambos casos el caudal disminuyó con el tiempo.

Se inspeccionó el talud y el pie existente del Depósito de Relaves No. 3 más al sur, fuera del área del Depósito de Relaves No. 4. En esa zona no se encontró ninguna evidencia de filtraciones o inestabilidad del talud. Unos sub-drenes antiguos salían al canal de agua de relaves, construido de concreto ciclópeo, sin embargo el caudal de descarga era muy reducido.

Se propuso disponer los relaves inadecuados excavados de esta zona en un botadero de relaves ubicado en la zona sur del Depósito de Relaves No. 3 en la curva a Tintaymarca.

3.3.2.3.2 Revestimiento de Suelo

El principal problema con el revestimiento de suelo era la ausencia de arcilla en la zona del proyecto. Se realizaron esfuerzos en la búsqueda de fuentes alternativas para la explotación de material para el revestimiento de suelo.

La cantera Huilluco era la única fuente suficiente para la explotación de arcilla, pero la distancia a la que esta se encontraba (aproximadamente 14 km), el costo que la comunidad de Huilluco estaba cobrando por cada volquete del material y los problemas sociales asociados, hacían de esta alternativa la más costosa y era necesario plantear otras soluciones al revestimiento de suelo.

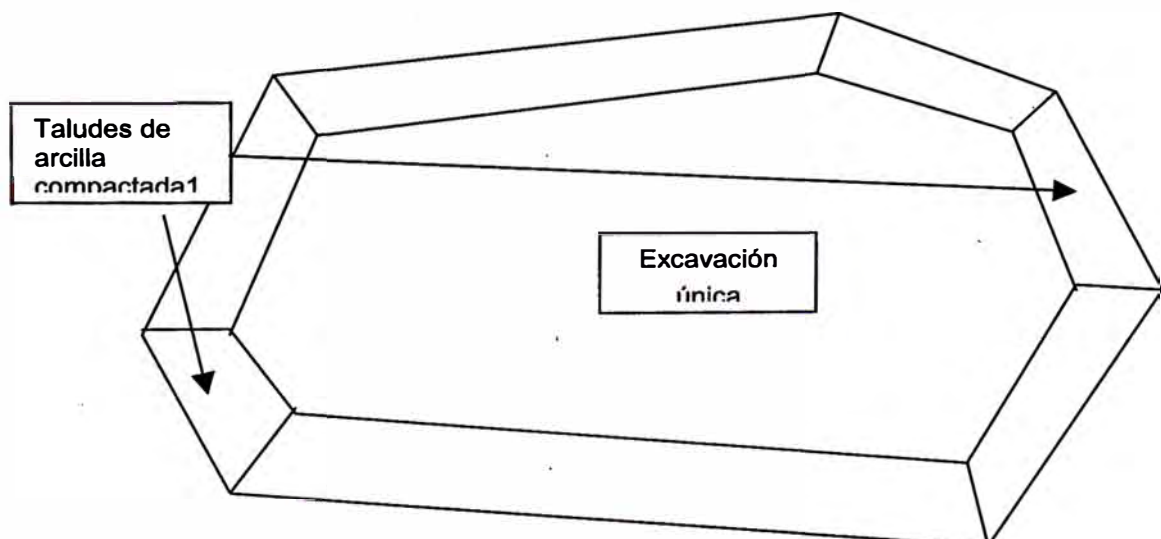
Finalmente se optó por la alternativa de utilizar GCL (Geosynthetic Clay Liner) que es un material sintético que reemplaza a la capa compactada de revestimiento de suelo. Este GCL debería usarse en los taludes de los depósitos de relaves No. 2 y 3 debido a que por las características del relave existente en estos taludes, arena fina sin cohesión, no era posible utilizar un rodillo en la compactación.

3.3.2.3.3 Diseño Inicial vs. Diseño Final

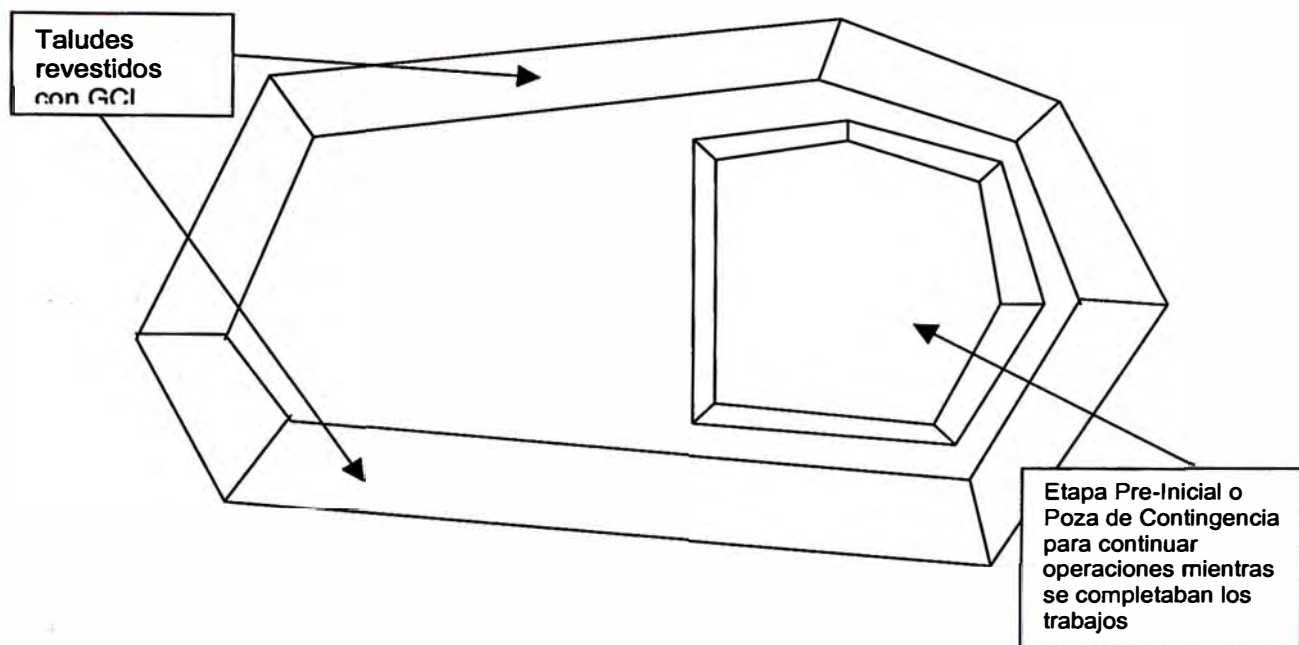
Finalmente podemos indicar que existieron 2 principales modificaciones que se aceptaron luego de que el Ingeniero encargado de diseño, analizara la factibilidad y seguridad de las mismas:

- **Construcción de la Etapa Pre-Inicial (o Poza de Contingencia).**
Esta se excavó en el fondo del vaso a fin de poder iniciar el depósito de relaves sin necesidad de completar la totalidad de los trabajos. Si bien demandó una fuerte inversión no considerada inicialmente, el beneficio obtenido con su puesta en marcha, justificó plenamente su construcción.
- **Revestimiento de los taludes de la Etapa Inicial con GCL.**
Se consideró revestir los taludes con GCL dado que el material granular que conformaba el terreno natural era imposible de compactar con un rodillo, principalmente por la pendiente y la longitud de los mismos.
El GCL ofrecía las siguientes ventajas: En primer lugar, constituía el revestimiento primario en caso de falla del revestimiento secundario (geomembrana) y en segundo lugar, su instalación era sumamente rápida y simple, lo cual favorecía el avance de los trabajos.
A continuación, se muestran ambos esquemas en los cuales se pueden observar lo indicado anteriormente.

Diseño Inicial



Diseño Final



3.4 DESCRIPCION DE LOS TRABAJOS DE CAMPO

3.4.1 Despliegue e Instalación de Geomembrana

Las labores de despliegue e instalación de geomembrana se iniciaron el 30 de octubre del 2003. El Instalador verificó que las condiciones de la superficie del terreno eran las adecuadas para una correcta instalación de la geomembrana. El requerimiento indispensable es que el terreno se encuentre adecuadamente compactado y que este libre de elementos granulares o punzocortantes que puedan dañar la geomembrana.

El Instalador consideró para los trabajos, el envío de tres (03) cuadrillas de instalación de geomembrana, cada una de las cuales estaba conformada por 01 técnico de cuña y 01 técnico de extrusora, los cuales eran apoyados por sus respectivos ayudantes que se encargaban de la pistola de aire caliente y la amoladora. A estos, se sumaba el Equipo de

Control de Calidad que estaba formado por: 01 Jefe de Control de Calidad, 01 Técnico encargado de la Prueba de Aire, 01 Técnico encargado de la Prueba de Caja de Vacío y 01 Técnico encargado de los ensayos en el Tensiómetro.

Las labores de despliegue de la geomembrana estaban a cargo de 01 Jefe de Instalación que comandaba una cuadrilla de 10 ayudantes, los cuales eran apoyados por un camión grúa que apoyaba en la manipulación de los rollos de geomembrana (este equipo era imprescindible considerando que cada rollo de geomembrana pesaba aproximadamente 1.5 Tm.)

La instalación consideró un avance promedio de 5000 m² diarios, lo que equivalía aproximadamente a 5 paños desplegados, soldados, con todos los ensayos de control de calidad y finalmente entregados a la Supervisión de Control de Aseguramiento.

Como se indicó anteriormente, inicialmente se instaló geomembrana en la Etapa Pre-Inicial (o Poza de Contingencia como se le convino llamar). El despliegue se realizó desde el talud norte hacia el piso del depósito, cubriendo la zanja de anclaje del talud norte. Estos paneles se unían con otros que cubrían hasta el talud sur. A estos paños se unieron posteriormente los paneles que eran desplegados desde los taludes este, noreste y oeste.

De acuerdo a los reportes diarios de instalación del instalador, se cubrió un área de aproximadamente 89000 m² en casi 60 días de instalación. Si bien el avance promedio estuvo muy por debajo de lo inicialmente programado, se ha de tener en cuenta que existieron factores que impidieron un desarrollo adecuado de los trabajos.

El primer paso al realizar la instalación de geomembrana consistía en la calibración de los equipos mediante unas soldaduras de prueba que se realizaban con todos los equipos. Estas pruebas se debían realizar de acuerdo a lo indicado en las Especificaciones Técnicas. Seguidamente se procedía con todas las uniones por fusión posibles mediante el equipo de

cuña. De la experiencia, se acepta que este tipo de soldadura tiene una menor probabilidad de falla, debido a que se basa principalmente en los parámetros de funcionamiento del equipo: presión, velocidad y temperatura; que aunque son ingresados por el técnico instalador, se mantienen constantes en tanto no sean variados intencionalmente. Adicionalmente, es recomendable este tipo de soldadura porque su rendimiento es mucho mayor que la soldadura realizada con extrusora.

Terminada la unión por fusión, se procedía a realizar la prueba de aire a todas estas costuras de acuerdo a las Especificaciones Técnicas del Proyecto. Posteriormente a estas pruebas se procedía a la unión de esquinas entre estos paneles mediante la colocación de parches que eran sellados utilizando para ello una extrusora y soldadura de aporte, y se realizaban todas las pruebas de control de calidad a estas soldaduras: Caja de Vacío y/o Spark Tester.

En caso de que las pruebas no arrojasen los resultados satisfactorios, se procedía a las reparaciones respectivas.

Culminado todo este procedimiento, se entregaba toda la documentación de registro de ensayos al Supervisor de Control de Aseguramiento para poder realizar la inspección visual correspondiente a fin de hacer entrega del área instalada.

Todos los daños posteriores que sufriera la geomembrana, por causas ajenas a las labores propias del Instalador, eran de responsabilidad entera de El Cliente.

Terminada la instalación de la Etapa Pre-Inicial, se tuvieron que paralizar los trabajos hasta que terminara la temporada de lluvias, por lo que se acordó entre todas las partes involucradas, el inicio de los trabajos de la Etapa Inicial en el mes de abril.

Los trabajos complementarios en la Etapa Inicial se iniciaron el 28 de abril del 2004 y finalizaron el 12 de agosto del 2004, completándose un total de 150000 m² de geomembrana instalada. En esta etapa los

rendimientos alcanzados fueron mucho menores considerando una serie de problemas surgidos durante la instalación, y que se detallan en el siguiente ítem.

En esta etapa se procedió con el despliegue e instalación de la siguiente manera: talud oeste, talud sur, talud este, talud norte y noroeste y finalmente piso del depósito.

Las cuadrillas de instalación de geomembrana fueron similares en ambas etapas.

3.4.2 Despliegue e Instalación de GCL

La instalación del GCL fue encomendada al Contratista del Movimiento de Tierras. El despliegue se realizó en los taludes de toda la Poza Inicial, considerando que el suelo que los conformaba no se prestaba para una adecuada compactación. Este material servía no sólo como protección de la geomembrana, sino también como una segunda capa impermeabilizante.

En este caso, el despliegue e instalación era mucho más simple, ya que simplemente se extendían los rollos de GCL desde la parte superior hacia abajo, considerando un adecuado traslape entre los diferentes paneles, y procedía a hacer el sellado entre ellos mediante la aplicación de una capa bentonita en polvo.

El despliegue e instalación se realizaba en trabajo coordinado con el instalador de geomembrana, debido a que el GCL es un material que no puede permanecer expuesto al ambiente por mucho tiempo, ya que la bentonita puede reaccionar con la humedad del ambiente y quedar inutilizable. Por esta razón, el GCL instalado en el día quedaba cubierto por geomembrana inmediatamente.

3.4.3 Problemas Presentados en el Proceso de Instalación

3.4.3.1 En la Etapa Pre-Inicial

Durante el desarrollo de los trabajos de instalación en la etapa pre-inicial se presentaron problemas que se resolvieron en acuerdo con la empresa

encargada de la instalación. Los problemas más resaltantes se detallan a continuación:

Costuras efectuadas con soldadura de fusión no alineadas y con probable no adecuado traslape. En algunos casos se obtuvieron cupones para verificar el traslape y que el rodillo de la cuña pasara por los 2 paneles de geomembrana a soldar. Se entiende por cupón a una muestra de 4" de longitud por 1" de ancho que se extrae transversalmente a la dirección de la línea de soldadura, de manera que se consigue que en la parte central de esta muestra, se pueda obtener 1" de soldadura.

Valores de resistencia de las costuras por fusión y por extrusión por debajo de los valores mínimos establecidos por El Fabricante de Geomembrana.

Arrugas en el talud este, en ellas se colocaron costales de polipropileno llenos con arena para distribuir el material sobrante, no fue necesario cortar la geomembrana puesto que en el horario de menor temperatura cuando se presentaba la mayor contracción de la geomembrana, la altura de la arruga no era suficiente como para cortar.

Dada las severas condiciones de viento a partir del mediodía, se tuvo hasta en 3 oportunidades casos de levantamiento de paneles que produjeron quiebres, en los casos más severos fueron retirados y en otros se repararon. Es necesario destacar que parte de este levantamiento de la geomembrana se debe a que se ha demorado en colocar el relleno en las zanjas de anclaje.

Se tuvo muchos casos en que los parches que no se soldaban se dejaban sin ninguna protección hasta el día siguiente, si bien es cierto que no era época de lluvias, el riesgo era inminente y se recomendó

por lo menos dejar unido con pistola de aire caliente los parches que serían soldados al día siguiente.

Dado los fuertes vientos que hay en la zona, se recomendó no soldar a partir del mediodía, se comprobó en cupones ensayados que el polvo transportado por el viento es la causa del 80% de las fallas en los ensayos destructivos tanto para soldadura de fusión como para extrusión.

3.4.3.2 En la Etapa Inicial

Inicialmente presentaron algunas deficiencias en la instalación relacionadas con la falta de experiencia de la mayoría de su personal técnico, lo cual fue motivo para que el Supervisor de Control de Aseguramiento tuviera que solicitar mediante un documento las acciones correctivas. Fue en esas condiciones que el instalador reaccionó positivamente y las deficiencias empezaron a superarse a medida que el desarrollo de las actividades iban avanzando.

Otro aspecto importante que caracterizó a las operaciones de instalación fue aquello relacionado con cierto lote de fabricación de geomembrana (lote 600), los mismos que no tuvieron un comportamiento uniforme (típico de los materiales industrializados), por ejemplo, las costuras soldadas por fusión al ser sometidas a ensayos de resistencia a la tracción arrojaron resultados incoherentes (diferencias de 20 a 25 kgf/pulg en la resistencia de dos probetas contiguas, lo normal oscila entre 5 y 10 kgf/pulg) generando de esta manera un problema para el análisis debido a la inconsistencia de su comportamiento.

Para enfrentar esta situación el Supervisor de Control de Aseguramiento tuvo que efectuar un monitoreo, de cada una de las actividades del proceso de soldadura de campo en los paneles de geomembrana del lote mencionado; entre otros, estos trabajos de monitoreo fueron ensayos intensivos de resistencia a la tracción (más que aquellos estipulados en la especificación), inspecciones visuales integrales y continuas de todas las

costuras, supervisión frecuente a los técnicos soldadores y a los técnicos de Control de Calidad en cuanto a la ejecución de sus labores.

En las Tablas 8 y 9, se muestra en forma sintética los datos estadísticos de las Pruebas de Campo y del Porcentaje de Desperdicios respectivamente.

Tabla 9
Pruebas de Campo

Tipo de Prueba	Número de pruebas	Pruebas fallidas	% Pruebas fallidas	
			Real	Normal
Costura por fusión	324	51	16	8 – 12
Costura por extrusión	179	17	9	5 – 10
Prueba de Presión de Aire	1448	6	0,4	1 – 3
Prueba de Caja de Vacío	1582	89	5,6	5 – 10
Chispa Eléctrica	122	18	15	4 – 10
Cuchara	1448	2	0,1	0 – 1
Destruct. De Fusión	411	119	29	6 – 10
Destructiva de Extrusión	53	17	32	4 – 8

Tabla 10
Porcentaje de Desperdicios

Descripción	Requerido	Empleado	Desperdicio (%)	
			Real	Normal
Geomembrana HDPE	150 000 m ²	162 000 m ²	8	4 – 5
Costuras por Extrusión (*)	5 200 ML	5962 ML	15	6 – 8
Costuras por fusión (*)	25 000 ML	30 750 ML	23	6 – 10

(*) Los datos considerados como requeridos son cantidades aproximadas, por lo tanto los datos de desperdicios deberán tomarse con bastante criterio.

En lo referente a costuras por fusión y destructivas de fusión y extrusión, se obtuvieron resultados cuyos valores estaban fuera del rango permisible; sin embargo se pudo culminar la instalación a satisfacción de El Cliente y de la Supervisión, adoptando las siguientes medidas:

- Cambio de la mayoría de paneles de geomembrana del lote 600 por otros de un lote diferente,
- Los pocos paneles no retirados alcanzaron pasar las pruebas correspondientes, después de varios intentos fallidos,
- Los paneles instalados no retirados fueron inspeccionados rigurosamente. Sin embargo debido a que los ensayos de resistencia a la tracción en las costuras se realizan en forma puntualizada cada cierta longitud, no es posible garantizar (probabilísticamente, como en los materiales de comportamiento típico) la calidad en la totalidad de la costura, la cual es una actividad del Instalador.

El retraso en la instalación de geomembrana causó también retraso en actividades como la descarga de relave por parte de la planta procesadora; la colocación del revestimiento geosintético (GCL) por parte del Contratista de Movimiento de Tierras; y construcción de zanjas de anclaje y bermas perimétricas, colocación de la capa de rodadura en la cresta del dique, conformación de taludes externos para su posterior revegetación y cierre de la rampa provisional de acceso al depósito de relaves en el lado oeste, también por parte del Contratista de Movimiento de Tierras.

Finalmente, debe mencionarse que todos los acontecimientos importantes de la instalación de geomembrana están registrados en los memorándums de campo generados por el Supervisor de Control de Aseguramiento y a ellos se debería recurrir en casos de necesitar mayor información.

CAPITULO IV

CONCLUSIONES

Consideraciones sobre la Selección del Material

- ◆ El uso de geosintéticos, tales como geomembranas y el mismo GCL resultaron, de acuerdo al diseño, la mejor opción como revestimiento de la superficie de la presa de relaves en comparación con la colocación de la capa de arcilla. Esto se puede desprender no sólo por los factores meramente constructivos, como son el abastecimiento y colocación, sino a la simple observación de sus coeficientes de permeabilidad.
- ◆ El uso de Polietileno de Alta Densidad resultó también la mejor elección en comparación con materiales similares como Polietileno de Baja Densidad o el mismo PVC, ya que se buscó no solamente un material que se comportara de manera resistente ante los esfuerzos generados por la presión generada por el contenido de relaves (mayor que en el polietileno de baja densidad), sino también, y ya que la estructura se encontraría expuesta, se necesitaba un material con una mayor resistencia a la degradación por el ataque de los rayos ultravioleta (mejor que en PVC).
- ◆ Sin embargo, de acuerdo a la experiencia recogida por personal trabajando muchos años en el campo de la instalación, se debió usar geomembrana simple texturada (texturada por 1 cara) y no lisa, a fin de ofrecer una mayor seguridad en el momento de la instalación.

Consideraciones sobre el Diseño Final

- ◆ Para este caso particular, con los cambios de diseño que se consideraron, se obtuvieron las siguientes ventajas: posibilidad de uso, flexibilidad en el empleo de materiales y rapidez en la instalación.

En el caso de la Etapa Pre-Inicial o Poza de Contingencia, se permitió la continuidad de las operaciones de planta y con respecto al revestimiento de taludes con GCL, significó un sustantivo ahorro ante la alternativa de utilización capa de arcilla, considerando por un lado que no existía una cantera cercana de este material y por otro lado que los trabajos de compactado resultaban prácticamente imposibles o en todo caso excesivamente costosos.

- ◆ Sin embargo, detalles como banquetas intermedias a lo largo de los taludes, habrían mejorado el comportamiento ya que se habrían evitado los taludes de grandes longitudes. Por otro lado, la berma perimetral resultó en la práctica ser muy angosta y ocasionaba problemas en lo que se refiere a la movilización de equipos.

Los Problemas de Instalación

- ◆ El viento, que alcanzaba velocidades de 65 Km/h ocasionaba que los equipos de soldadura de geomembrana no alcanzasen la temperatura ideal para soldar y, adicionalmente a esto, traía consigo partículas de polvo que se impregnaba en la superficie de la geomembrana y formaba una capa aislante entre ambos paneles. La solución, aunque evidente, fue programar las actividades de soldadura a horas en las cuales no se presentaran vientos fuertes y, adicionalmente, proveer de una protección mediante cobertores a manera de cortavientos. Sin embargo, esta solución no libró de producir una disminución considerable de los rendimientos de las cuadrillas de instalación.
- ◆ Las lluvias impidieron que se realizaran jornadas de trabajo completas. Soldar en lluvia constituía un grave riesgo, considerando que todos los equipos de soldadura de geomembrana son eléctricos. Por otra parte, el hecho de que se presentarán lluvias continuas por un determinado número de días, ocasionaba que el terreno sobre el cual se debía colocar la geomembrana se saturara, por lo que el contratista de movimiento de tierras debía realizar el reemplazo del material y también una nueva compactación del mismo.

- ◆ El lote N° 600 de geomembrana que proporcionó el fabricante presentaba aparentemente deficiencias de fabricación. Aunque se intentó con los mismos equipos y los mismos técnicos realizar soldaduras sobre este lote, no se consiguieron valores satisfactorios, aún cuando en un lote diferente si se conseguían.

Consideraciones Finales

- ◆ La geomembrana de Polietileno de Alta Densidad (HDPE) es un material que reúne en sí, las propiedades de gran resistencia, flexibilidad y durabilidad. El material HDPE mantiene intactas todas sus propiedades durante muchos años y su degradación es mínima ante los agentes externos. Si consideramos que la instalación se realizó contando con un adecuado Control de Aseguramiento (QA por Quality Assurance), la garantía ofrecida por el contratista de instalación supera largamente el periodo para el cual fue diseñado el revestimiento.
- ◆ Finalmente, a solicitud de Compañía de Minas Buenaventura, se realizaron obras complementarias de protección para los lugares de descarga de los relaves, que consistían en una cubierta de geomembrana adicional a fin de proteger el revestimiento principal de la abrasión producida por la caída de los relaves, y una ampliación del revestimiento en la berma perimetral a fin de disminuir los esfuerzos en la zanja de anclaje.
- ◆ Por todo lo anterior indicado, esta obra ofrece garantía de seguridad y durabilidad por muchos años, con lo que se habrá conseguido el fin principal para la cual fue concebida.

CAPITULO V

BIBLIOGRAFIA

- 1) Robert M. Koerner
Design with Geosynthetics – Fourth Edition
Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey
1999

- 2) Polytex S.A.
Manual Técnico de Geomembranas Polytex, Santiago de Chile
2000

- 3) Knight Piésold Consultores
Especificaciones Técnicas para Geosintéticos, Lima
2003

- 4) Sociedad Internacional de Geosintéticos Capítulo Peruano – IGS Perú
Guía para la Instalación y Control de Calidad de Geomembranas de HDPE y LLDPE
2001

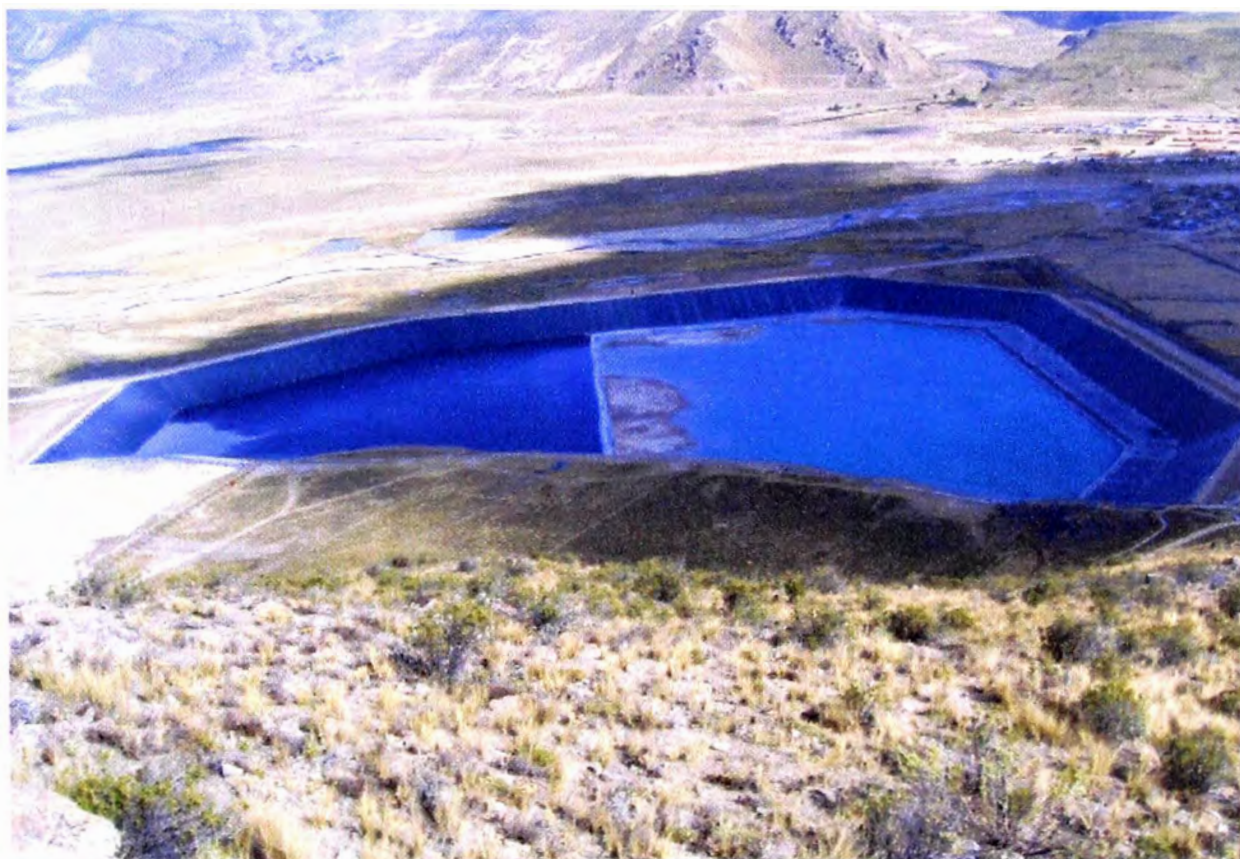
- 5) Amanco del Perú S.A.
Reportes de Instalación y Control de Calidad - Relavera N°4 Unidad Orcopampa
2003-2004

- 6) Sociedad Internacional de Geosintéticos Capítulo Peruano – IGS Perú
Cuarto Curso de Especialización de Geosintéticos
Traducción autorizada
2003

- 7) Sociedad Internacional de Geosintéticos Capítulo Peruano – IGS Perú
Quinto Curso de Especialización de Geosintéticos
Traducción autorizada
2004

ANEXO I
PANEL FOTOGRAFICO

REVESTIMIENTO DE DEPOSITO DE RELAVES CON GEOMEMBRANA
CASO: RELAVERA N° 04 - UNIDAD ORCOPAMPA



Fotografía N° 1 : Vista Panorámica de la Etapa Inicial concluida y en operación.



Fotografía N° 2 : Etapa de Movimiento de Tierras para la construcción de la Relavera



Fotografía N° 3 : Revestimiento con Geomembrana de la Etapa Pre-Inicial. El despliegue se ha concluido y se terminan los trabajos de soldadura.



Fotografía N° 4 : Etapa Pre-Inicial concluída y en inicio de operaciones.



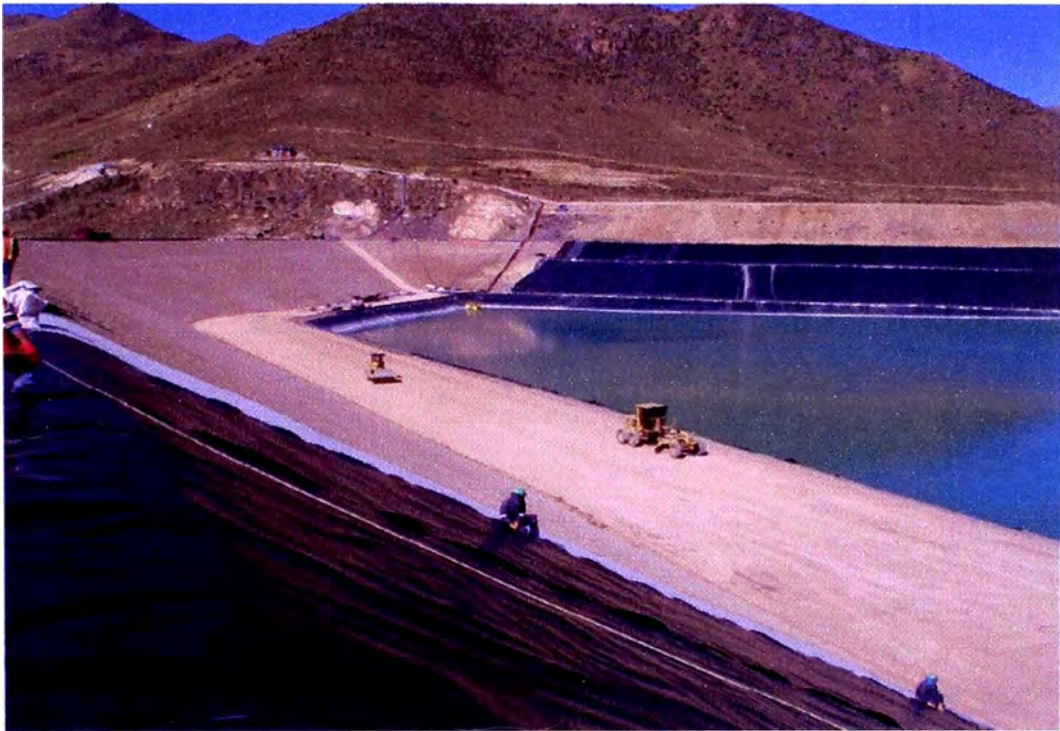
Fotografía N° 5 : En la vista se aprecia que el nivel del relave esta alcanzando la corona de la Etapa Pre-Inicial (Poza de Contingencia). Se hacía necesario la inmediata puesta en marcha de la Etapa Inicial.



Fotografía N° 6 : Etapa Constructiva de la Etapa Inicial. Se aprecian los trabajos de nivelación y compactación de la capa de arcilla del fondo del depósito.



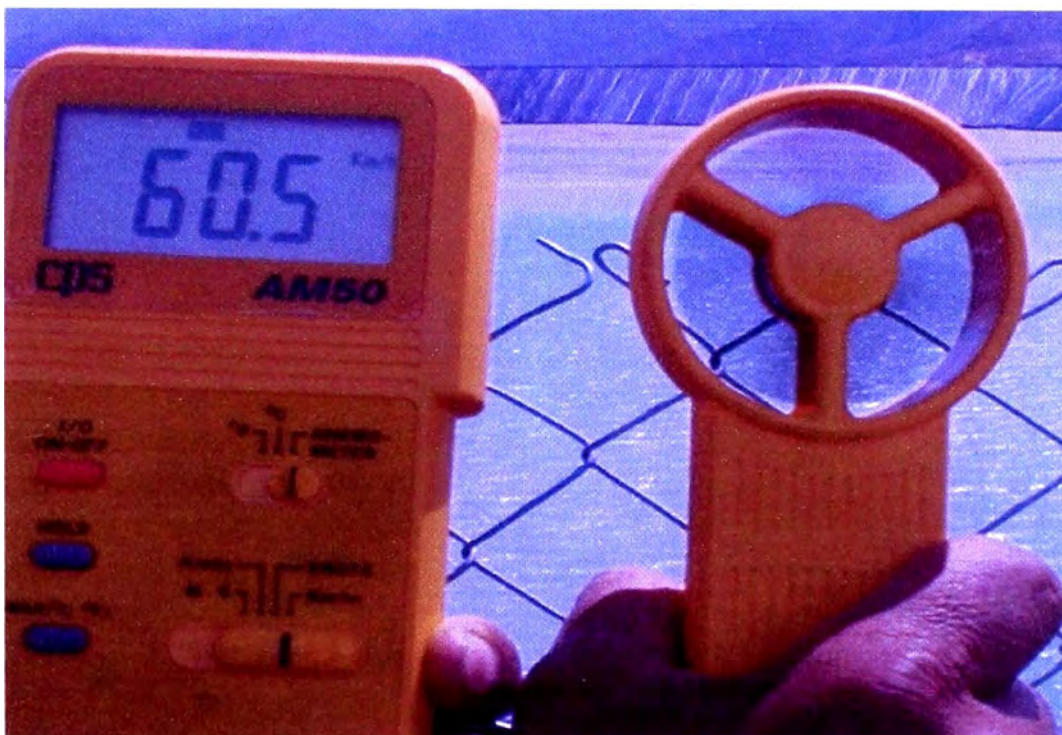
Fotografía N° 7 : Etapa Inicial. Se aprecia el revestimiento de los taludes con geomembrana de HDPE.



Fotografía N° 8 : Terminando los trabajos de revestimiento de taludes con Geomembrana y GCL. La longitud media de los taludes era de 60 metros.



Fotografía N° 9 : Detalle de una prueba de aire. De acuerdo a Especificaciones Técnicas, la presión después de 5 minutos, no podía disminuir a menos de 33 psi.



Fotografía N° 10 : El viento, que alcanzaba velocidades de 60 Km/h, se convirtió en uno de los grandes problemas para la instalación.



Fotografía N° 11 : Realizando los ensayos de pelado y desgarre en el Tensiómetro.



Fotografía N° 12 : Realizando la soldadura por fusión (cuña) en la zona de la zanja de anclaje.



Fotografía N° 13 : Realizando la prueba de Caja de Vacío a un parche.



Fotografía N° 14 : Detalle de la berma de unión entre las Etapas Pre-Inicial y la Etapa Inicial. Obsérvese que dada la urgencia del área de Operaciones de Mina, se tuvieron que terminar los trabajos en plena operación de depósito de relaves.



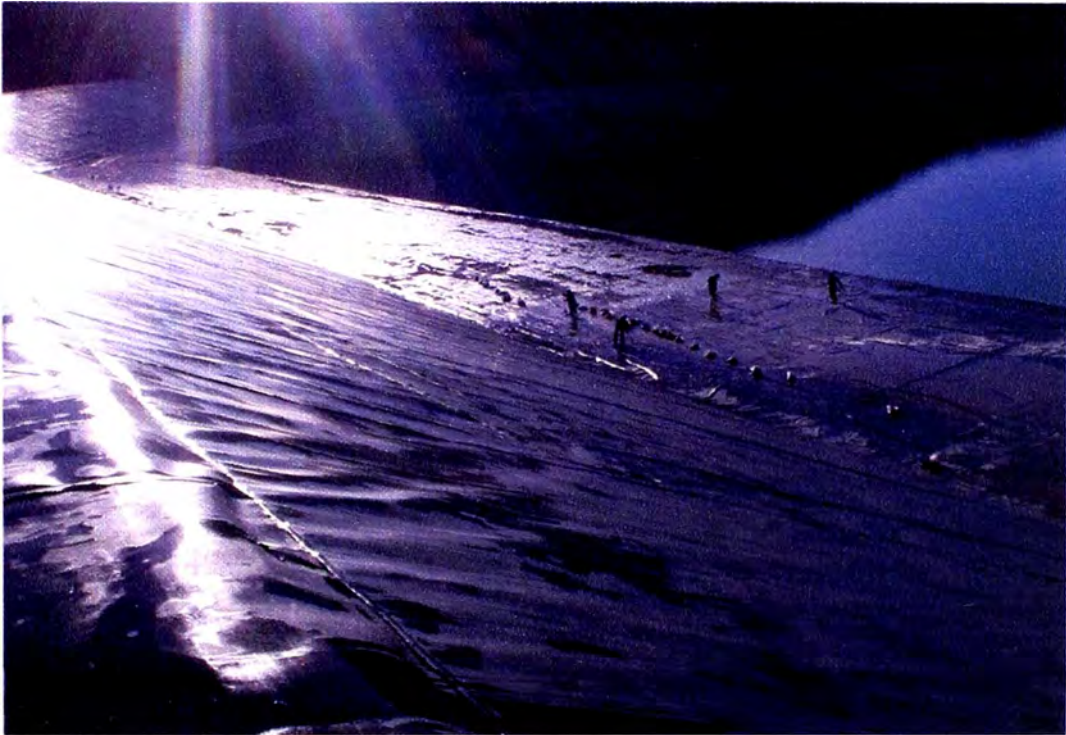
Fotografía N° 15 : Detalle de revestimiento de taludes con Geomembrana y con GCL.



Fotografía N° 16 : Se muestra la unión terminada entre ambas etapas. Se observa que el nivel del relave se encuentra cerca de donde se están realizando los trabajos.







Fotografía N° 17 : La vista muestra los últimos detalles de la instalación. Se completan los últimos trabajos de soldadura por extrusión.



Fotografía N° 18 : Precisos instantes en que los últimos trabajadores proceden a retirarse después de culminar al 100% la instalación.



Fotografía N° 19 : En la vista se aprecia la relavera en operación y como fondo el poblado de Orcopampa, que recibe los beneficios del funcionamiento de la mina.

 <p>AMANCO Nº 1 de Latinoamérica en Tubosistemas</p>		<p>CONTROL DE CALIDAD SOLDADURA DE EXTRUSION</p>				Fecha: <u>22/OCTUBRE/2004</u> N°: <u>01</u> Pagina: <u>01</u> de <u>01</u>					
Contratista: AMANCO DEL PERU S.A.			Localización: TALUDES			N° de Contrato: _____ Plano(s) de referencia: _____					
Observaciones: ESTA PRUEBA DEBIO REALIZARSE EL 14/10/04; NO SE REALIZO ESA FECHA POR FALTA DEL REPRESENTANTE DE CMBAA.											
Cordon N°	Fecha de Soldado	Numero de Máquina	Técnico soldador	Ubicación	Longitud soldadura (ml)	Vacuum Test		Spark Test		Remarks	QC Technician
						Welding (pass/fail)	Repair (pass/fail)	N°	Welding (pass/fail)		
01	07/10/04	441	L.J.	TALUD E.	17.80	PASS		01	PASS	LA PRUEBA DEL	H.G.
02	07/10/04	441	L.J.	TALUD E.	17.60	PASS		02	PASS	"SPARK" SE REALIZO	H.G.
03	07/10/04	441	L.J.	TALUD NE.	17.80	PASS		03	FAIL	20 EL 08/10/04	H.G.
04	07/10/04	441	L.J.	TALUD N.	17.80	FAIL	PASS	04	PASS	COMPLETANDO HOY	H.G.
05	07/10/04	441	L.J.	TALUD N.	17.80	PASS		05	PASS	LAS PRUEBAS DE	H.G.
06	07/10/04	441	L.J.	TALUD NO	17.80	PASS		06	PASS	"VACUUM"	H.G.
07	07/10/04	441	L.J.	TALUD OESTE	18.00	PASS		07	PASS		H.G.
08	07/10/04	441	L.J.	TALUD OESTE	17.80	PASS		08	PASS		H.G.
09	07/10/04	441	L.J.	TALUD SUR OESTE	17.80	PASS		09	PASS		H.G.
10	07/10/04	441	L.J.	TALUD SUR	17.80	PASS		10	PASS		H.G.
Longitud soldadura día (ml): 178.00						Longitud soldadura acumulado (ml): 178.00					
QC Technician AMANCO Firma:  Fecha: 22/10/04			QC Supervisor AMANCO Firma:  Fecha: 22/10/04			Owner CMBAA Firma:  Fecha: 23-10-2004					

Formato Nº 2: Control de Calidad sobre la Soldadura por Extrusión. En el tensiómetro se ensayan las muestras que son extraídas de la soldadura realizada, debiendo cumplir con los valores mínimos especificados para la rotura por pelado y por cizallamiento.

PERSONAL		Cantidad	Horas	EQUIPOS		Cantidad	Horas	
Supervisor				Grupo electrogeno 25 kw	01		06	
Adm. Prog. y Control				Cuña Caliente				
Supervisor de Instalación				Extrusora (Kids)	01		01	
Supervisor de QC				Tensiómetro	01		01	
Técnico de Cuña				Vacuum Box Set	01		05	
Técnico de Extrusora	01		06	Compresor de aire	01		05	
Operador de Camión Grúa				Manómetros prueba de aire				
Ayudante de Cuña				Leister para prueba de aire				
Ayudante de Extrusora	02		12	Spark Test Set				
Ayudante de QC				Cuponera				
Ayudante de Camión Grúa				Combi				
Chofer Combi				Camión grúa				
Peones				Camioneta				
TOTAL		03	18	TOTAL		01	06	
				AVANCE		06	24	
GEOSINTETICOS		ANTERIOR	ACTUAL	ACUMULADO				
Geomembrana 60 mil (m2)								
Soldadura de Extrusión (ml)			0.20				0.20	
Beads								
Parches								
Botas								
Rub Sheet (ml)								
Tie End (ml)								
Prueba vacuum box			10				10	
Spark test								
Soldadura por Fusión (ml)								
Prueba de aire								
Pick test								
Ensayo destructivo fusión								
Ensayo destructivo extrusión								
Pick test: PPE-WELD EXTRUS.			01				01	
Llenado de Sacos								
Causas que pueden ocasionar demoras								
Causas de las demoras (terreno, materiales, clima, etc)				Causas que pueden ocasionar demoras en el futuro				
OBSERVACIONES: Con las pruebas de vacuum box se completo al 100% con las parches que se realizaron el 07/10/04 (extrusión de muestras). El spark test a estos parches se realiza el 08/10/04; fecha en la que se acordó realizar el vacuum box test el 14/10/04; por motivos de fuerza mayor no se realiza en esa fecha. Todas las pruebas pasaron a excepción de uno que fue reparado y solucionado con el vacuum test ok en el talud Norte.								
CLIMA			SEGURIDAD					
Temperatura ambiental (°C)	Lluvia (hr)		Accidentes		Accidentes acumulados		Incidentes	
	de	a	Con tiempo perdido	Sin tiempo perdido	Con tiempo perdido	Sin tiempo perdido	Actual	Acumulado
	Total							
17	00		00	00	00	00	00	00
Representante de Amanco del Perú S.A. Nombre: <u>Hedbert Guillén Bazán</u>				Representante del Cliente Nombre: _____ Firma: _____ Fecha: <u>25/10/2004</u>				
Firma: _____ Fecha: <u>22/10/2004</u>								

Formato N° 3 : Reporte de Avance Diario. En este reporte se indican todas las ocurrencias del día de trabajo: avance por actividad, recursos empleados, tipos de ensayos, así como cualquier observación pertinente o importante.