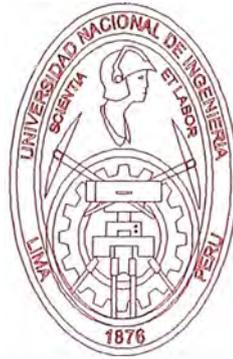
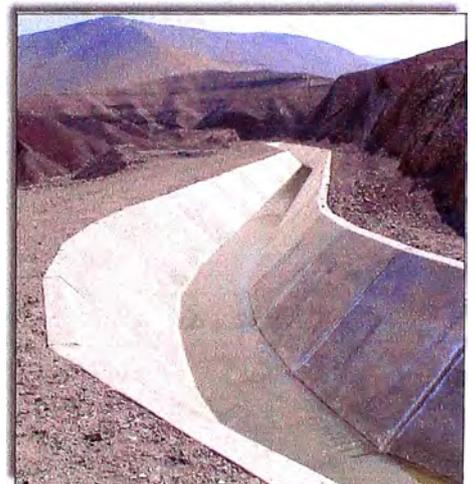


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL



INFORME DE SUFICIENCIA

REVESTIMIENTO DE CANALES CON GEOSINTETICOS CASO. "Rehabilitación Canal Chen Chen -San Antonio"



Liliana Gonzales Urbizagasti

Dedicatoria

A mis padres y hermanos por su constante aliento y apoyo.

Agradecimiento

*A la Asociación de Consultores Pasto Grande
PyV Ingenieros y HC & Asociados,
por su colaboración para la realización del presente trabajo, en especial
al Ingeniero Hugo Campuzano E.*

REVESTIMIENTO DE CANALES CON GEOSINTÉTICOS

Caso: "Rehabilitación Canal Chen Chen - San Antonio"

INDICE

| | Pág. |
|--|-------------|
| PRESENTACIÓN | |
| 1. INTRODUCCION | 1 |
| 2. OBJETIVO | 5 |
| PARTE I REVESTIMIENTO CON GEOSINTÉTICOS | |
| 3. CONCEPTOS GENERALES | 6 |
| 3.1 Conceptos de Revestimiento | 6 |
| 3.2 Necesidades de Revestimiento | 7 |
| 3.3 Tipos de Revestimiento | 8 |
| 3.4 Consideraciones para la Elección del Tipo de Revestimiento | 8 |
| 4. USO DE GEOSINTÉTICOS | 13 |
| 5. GEOMEMBRANAS | 16 |
| 5.1 Su Desarrollo | 17 |
| 5.2 Composición Categoría y tipos de Geomembranas | 18 |
| 5.3 Funciones Técnicas | 20 |
| 5.4 Aplicaciones | 21 |
| 5.5 Normas de Ensayos | 22 |
| 6. GEOTEXTIL | 27 |
| 6.1 Su Desarrollo | 27 |
| 6.2 Tipos de Geotextil | 27 |
| 6.3 Características | 29 |
| 6.4 Funciones Técnicas | 29 |
| 6.5 Aplicaciones | 31 |
| 6.6 Normas de Ensayos | 33 |

| | |
|---|-----------|
| 7. CONSIDERACIONES GENERALES DE DISEÑO | 35 |
| 7.1 Selección de Geomembrana | 37 |
| 7.2 Protección de la Geomembrana y Bordo Libre | 38 |
| 7.3 Espesor de la Geomembrana | 39 |
| 7.4 Estabilidad de Taludes | 40 |
| 7.5 Trinchera de Anclaje | 42 |
| 7.6 Pérdidas de Agua en Geomembrana | 44 |
| 7.7 Necesidad de Drenaje | 44 |
| 8. VENTAJAS | 46 |
| 9. ALGUNOS CASOS EN EL PAÍS | 49 |
| 9.1 Canales Revestidos con Geosintéticos | 49 |
| 9.2 Canales con Problemas | 50 |
| PARTE II CASO "REHABILITACIÓN CANAL CHEN CHEN - SAN ANTONIO" | |
| 10. INFORMACIÓN BÁSICA DEL CANAL CHEN CHEN - SAN ANTONIO | 52 |
| 10.1 Respecto al Canal | 52 |
| 10.2 Ubicación y Vías de Acceso | 52 |
| 10.3 Características del Canal | 53 |
| 10.4 Climatología | 55 |
| 10.5 Hidrología | 55 |
| 10.6 Geología y Geotecnia | 55 |
| 10.7 Sismicidad | 59 |
| 11. DETERIORO Y COLAPSO DEL CANAL | 61 |
| 11.1 Inventario de Daños | 62 |
| 11.2 Evaluación de los Daños | 66 |
| 11.3 Evaluación Geotécnica en las Zonas Deterioradas del Canal | 68 |
| 11.4 Conclusiones y Recomendaciones | 79 |
| 12. PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS DE REVESTIMIENTO | 82 |
| 13. EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS Y SELECCIÓN DE LA OPTIMA | 85 |
| 13.1 Criterio Técnico | 85 |

| | | |
|------------|--|-----------|
| 13.2 | Criterio Económico | 87 |
| 13.3 | Alternativa Seleccionada | 87 |
| 13.4 | Memoria Descriptiva de la Rehabilitación del Canal | 88 |
| 14. | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 94 |
| | REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS | 98 |
| | BIBLIOGRAFIA | 99 |

RELACIÓN DE ANEXOS

| | |
|------|---|
| Nº 1 | Inspeccion de Berma, Losa y Caminos de Servicio del canal chen Chen – San Antonio, en el tramo km 7+480 al km 8+791 antes del sifón. |
| Nº 2 | Inspeccion de Berma, Losa y Caminos de Servicio del canal chen Chen – San Antonio, en el tramo km 9+419,5 al km 12+800 después del sifón. |
| Nº 3 | Cuadro de Metrados de Fisuras a lo Largo del canal |
| Nº 4 | Inventario de Fisuras por Paños de Concreto en el Tunel Cerro Blanco |
| Nº 5 | Inventario de Daños en las Canoas del Canal Chen Chen- San Antonio |
| Nº 6 | Tramo donde se ha observado daños en el Camino de Servio debido a la presencia de sales, agrietamiento y otros. |
| Nº 7 | Especificaciones Técnicas para la Rehabilitación del Canal chen Chen – San Antonio. |
| Nº 8 | Ensayos de Laboratorio de Mecanica de Suelos |

RELACIÓN DE TABLAS

| | |
|------|---|
| Nº 1 | Crecimiento Aproximado de las Geomembranas en el Mundo |
| Nº 2 | Componentes de la Geomembranas |
| Nº 3 | Áreas de Aplicación de la Geomembrana Vs. Cantidad instalada |
| Nº 3 | Rugosidad Hidráulica K y Coeficiente de Manning paraGeomembranas, Resultados Experimentales |
| Nº 4 | Coeficientes de Manning de Materiales Usuales en Canales |
| Nº 5 | Estructuras Principales que Forman el Canal |
| Nº 6 | Humedades Naturales en la Fundación del Canal |
| Nº 7 | Verificación del Espesor de la Geomenbrana |
| Nº 8 | Evaluación de Costos de las Variantes al Diseño Original |
| Nº 9 | Especificaciones Internacionales para Geotextil No Tejido |

RELACIÓN DE FIGURAS

- Nº 1 Estimación de Ventas de los Geosintéticos en Norteamérica
- Nº 2 Funciones de los Geosintéticos
- Nº 3 Alternativas de Revestimiento con Geomembranas
- Nº 4 Distribución de Fuerzas de Tracción en Canales Trapezoidales en Función de w.y.s
- Nº 5 Bordo Libre para Canales
- Nº 6 Espesor de la Geomembrana
- Nº 7 Circulos de Falla de Talud con Geomembrana (Koerner, 1986)
- Nº 8 Distribución de Presiones que Actúan sobre la Membrana en el Hombro del Talud, Diagrama General

RELACIÓN DE LÁMINAS

- Nº 1 Planta del Canal Chen Chen- San Antonio
- Nº 2 Sección de Diseño Tipo 1 (1995)
- Nº 3 Sección de Diseño Tipo 2 (1995)
- GE-1 Perfil Geológico y Tramos a Rehabilitar (Hoja 1)
- GE-1 Perfil Geológico y Tramos a Rehabilitar (Hoja 2)
- Nº 4 Diseño Original de PyV- HC & Asociados (1995)
- Nº 5 Evaluación de Alternativas para la Remodelación - Alternativa Tipo 2
- Nº 6 Evaluación de Alternativas para la Remodelación - Alternativa Tipo 3
- Nº 7 Evaluación de Alternativas para la Remodelación - Alternativa Tipo 4
- Nº 8 Evaluación de Alternativas para la Remodelación - Alternativa Tipo 4A
- Nº 9 Evaluación de Alternativas para la Remodelación - Alternativa Tipo 5
- Nº 10 Evaluación de Alternativas para la Remodelación - Alternativa Tipo 6
- Nº 11 Evaluación de Alternativas para la Remodelación - Alternativa Tipo 6A
- Nº 12 Evaluación de Alternativas para la Remodelación - Alternativa Tipo 7
- Nº 13 Obras de Rehabilitación del Canal Chen Chen- San Antonio

REVESTIMIENTO DE CANALES CON GEOSINTÉTICOS

Caso: "Rehabilitación Canal Chen Chen - San Antonio"

1. INTRODUCCIÓN

Frecuentemente las fuentes de agua están situadas a distancias considerables de donde van a ser usadas; por el afán de llevar este invaluable recurso al usuario se han diseñado los canales, acueductos, sifones, etc., de diferentes características geométricas y distintos materiales de construcción, según sean las condiciones geomorfológicas, geotécnicas, hidrológicas y económicas.

Los canales representan unas de las obras de ingeniería mas usadas para el transporte de líquidos, requiriéndose en algunos casos revestir cuando los valores altos de percolación en los suelos originan pérdidas de agua apreciables, cuando la estabilidad de las conducciones se ve afectada por la erosión originada por la velocidad de flujo, cuando las filtraciones producen aguas de retorno abundante, haciendo inestables los taludes de los canales o cuando se proyecta sobre materiales de cimentación de baja capacidad como arcillas colapsables, expansivas o en terreno de roca calcárea o cavernosa.

Por tanto, el adecuado recubrimiento del canal es una de las características claves en un sistema exitoso. Con esa mentalidad ha sucedido el desarrollo y recubrimiento de los canales a través del tiempo, que incluyen cubiertas de suelo (principalmente usando arcillas); cubiertas rígidas (ladrillos, losas y concreto) y cubiertas flexibles (paneles bituminosos, tratamientos químicos, geomembranas, etc)

En la búsqueda de nuevas soluciones para el revestimiento de canales, se ha obtenido productos que ha mostrado un asombroso crecimiento, como la aparición y uso en los años 50 de los materiales llamados Geosintéticos, fabricados a base de polímeros sintéticos, constituyen uno de los materiales que ha presentado el mas rápido crecimiento debido a sus múltiples aplicaciones, facilidad de instalación, reemplazo de materiales naturales que son escasos, además de su durabilidad y costo.

Las geomembranas, debido a su alta impermeabilidad aparecen dentro de los geosintéticos como una solución importante para disminuir las pérdidas por filtraciones de agua en los canales, y en algunos casos para proteger el material de cimentación de filtraciones de agua que puedan cambiar sus características geotécnicas.

La aplicación de las geomembranas para el revestimiento de canales en nuestro país ha tenido una aceptación importante, en el ámbito de los consultores reflejándose en las cada vez más obras, con este tipo de revestimiento.

El presente informe de titulación profesional, pretende mostrar las ventajas de estos materiales sintéticos en especial las geomembranas, en el uso de revestimiento de canales, mostrando un caso aplicativo de geomembranas en las obras de rehabilitación de un canal principal de $5 \text{ m}^3/\text{s}$ de capacidad y 5,44 Km de longitud denominado Chen Chen - San Antonio (ver mapa de ubicación: lámina 01), porque se inicia en el sitio de Chen Chen y termina en la cabecera de la irrigación San Antonio de unas 800 Ha; forma parte del sistema hidráulico de riego Pasto Grande, que se localiza en el departamento de Moquegua, a una altura media de 1500 msnm.

El canal Chen Chen - San Antonio sigue una ruta bordeando laderas suaves y atraviesa algunas quebradas menores sin escurrimiento, salvo en épocas excepcionales. En esas condiciones de geomorfología, la sección del canal se sitúa en corte con un camino de servicio por el borde derecho; atraviesa las quebradas menores en forma de conducto cubierto, una gran quebrada con un sifón invertido de 600 m de longitud, una pequeña lomada con un túnel de 173 m, dos quebradas con dos acueductos, para finalmente llegar a la zona de riego San Antonio cruzando la carretera Moquegua - Toquepala en conducto cubierto, y terminando en una toma lateral derecha.

El diseño del canal consideró las condiciones geológicas y geotécnicas que se encontraron en los estudios básicos de mecánica de suelos, realizado a lo largo del trazo, que llevó a establecer dos tipos de diseño, ambos de sección trapezoidal con taludes 1:1.

La primera sección con revestimiento de concreto de 75 mm de espesor y $f'c = 17,5 \text{ Mpa}$, sobre una capa de regularización apoyada directamente sobre el suelo de fundación, con juntas de construcción y de dilatación debidamente protegidas con materiales elastoméricos, e incluso las últimas apoyadas sobre una vigueta de concreto. La segunda sección fue diseñada para ser utilizada en los tramos de canal sobre material limolítico, mas conocido en la zona como "Moro Moro"; dicha sección considera un revestimiento de concreto de 100 mm de espesor; $f'c = 21 \text{ Mpa}$ y con fibras de acero para controlar la microfisuración que se pudiesen producir dadas las condiciones climáticas en la zona, complementándose con una geomembrana HDPE de 0,75 mm de espesor apoyada sobre un geotextil de 175 gr/m^2 , que se colocaba sobre una capa de concreto de regularización; también considerada el mismo tratamiento para las juntas.

La concepción del segundo diseño obedece al hecho de evitar que el agua del canal no se infiltre a la fundación de suelos limolíticos, ya que según los estudios de mecánica de suelos presentan un alto grado de colapsabilidad, consecuentemente pérdida de resistencia, con graves consecuencias para la estabilidad de la obra.

Dicho canal fue construido en el año 1998; meses después acusaba deterioro, cuya manifestación principal fue la ruptura del material de relleno de las juntas, la presencia de fisuras en el revestimiento de concreto y el levantamiento o asentamiento de unas nueve losas de 1800 construidas (longitud promedio de losa 2,5 m); situación que se hubiese corregido de inmediato y evitado el actual deterioro y colapso de las obras, si se hubiera seguido las indicaciones contenidas en el Manual de Operación y Mantenimiento de dicha obra (Consultores Pasto Grande, 1995).

El deterioro del canal se manifiesta actualmente en 659,60 m de longitud (12% de la longitud contra 0,6% en junio de 1999) que se produce en 9 tramos, algunos de ellos con una longitud superior a los 200 m.

Los primeros daños aparecen en el tramo donde no se adoptó el doble revestimiento, rígido y flexible, infiltrándose el agua a la cimentación de suelos limolíticos, infiltración que lamentablemente se produjo en forma descontrolada al no haberse efectuado las obras de rehabilitación con los primeros signos de fisuramiento en el revestimiento y en el material de las juntas. También debe señalarse que esa situación se agravó con la presencia del fenómeno El Niño de 1998-1999 y, en el presente año, con el terremoto del 26 de junio.

En este marco se han planteado las obras de rehabilitación del Canal Chen Chen - San Antonio; consisten básicamente en la aplicación del diseño con doble revestimiento antes mencionado, con algunas adecuaciones necesarias, por ejemplo la extracción del material de cimentación totalmente humedecido y con pérdidas de su estructura, en varios casos con alta salinidad por lo que debe ser reemplazado con material inerte para recomponer la rasante de la cimentación, la inclusión de geomembranas más flexibles caso PVC, cubierto por ambos lados con geotextil, la inclusión de fibras de polipropileno de 1 ½" en lugar de las fibras de acero que cumplen la misma función pero abaratan los costos; la inclusión de zanjales impermeables al inicio y al final de los tramos a rehabilitar de modo que no sean afectados por probables fallas en los tramos no rehabilitados, que aparentemente se encuentran en condiciones normales, etc.

Se ha considerado como elemento importante de las obras a rehabilitar a los geosintéticos donde la geomembrana es la que cumple la función del revestimiento impermeable y los geotextiles que lo rodean de protección y drenaje, además de aumentar la rugosidad de la geomembrana en su cara posterior durante el proceso constructivo.

El presente informe de suficiencia consta de dos partes:

La Parte I: Revestimiento con geosintéticos, en los capítulos 3 y 4 presenta una información general de los revestimientos en las obras civiles; profundiza las características y aplicaciones de las geomembranas y geotextiles en los capítulos 5, 6, 7 y 8; en el capítulo 9 señala algunos casos aplicativos de revestimiento de canales con geosintéticos realizados en el país.

La Parte II: Caso "Rehabilitación Canal Chen Chen - San Antonio", recoge la información relacionada al Proyecto de Rehabilitación del canal Chen Chen - San Antonio, el cual se llevó a cabo en el año 2001 por la Asociación de Consultores Pasto Grande Chen Chen – Jaguay: PyV Ingenieros – HC & Asociados, el cual participó como asistente de ingeniería durante todos los trabajos y evaluaciones de campo, en la formulación de las alternativas y selección de la alternativa de diseño. Presentado como caso aplicativo de revestimiento con geosintéticos en canales.

En esta parte se presenta en el capítulo 10 la información básica del canal Chen Chen - San Antonio, partiendo del expediente técnico de 1995.

El capítulo 11, recoge información de los inventarios de daños y evaluaciones de las fallas del canal Chen Chen San Antonio.

En el capítulo 12 y 13 se hace un recuento de las alternativas de solución para la rehabilitación del canal Chen Chen - San Antonio llegando a la selección de la mejor alternativa técnica y económica, tras lo cual presenta los diseños adoptados, complementándose con una memoria descriptiva de las obras de rehabilitación y de las especificaciones técnicas para la construcción de dichas obras.

2. OBJETIVO

Para obtener el título profesional mediante la modalidad de actualización de conocimientos, tras haber culminado satisfactoriamente tres meses de estudio de cursos de la especialidad, se ha preparado como parte final el presente INFORME DE SUFICIENCIA, cuyo objeto es presentar la información general sobre el uso de los geosintético para el revestimiento de canales, y de manera aplicativa en el "Proyecto de Rehabilitación del Canal Chen Chen – San Antonio", el cual se llevo a cabo en el año 2001 por la Asociación de Consultores Pasto Grande Chen Chen – Jaguay: PyV Ingenieros S.A – HC & Asociados S.R.L., la cual participé como asistente de ingeniería durante todos los trabajos y evaluaciones de campo, en la formulación de las alternativas, selección de la alternativa de diseño mas adecuada técnica y económicamente, así como en la elaboración del expediente técnico para la construcción.

La utilización de materiales sintéticos para el revestimiento de canales, no han sido muy comunes en los diseños de ingeniería en nuestro país, debido a la poca literatura técnica, además por el funcionamiento no muy satisfactorio fallando principalmente por su mala colocación en obra, a pesar que estos materiales se han introducido en el mercado desde 1950, uno de los factores importantes que han contribuido en la no utilización de estos materiales es el alto grado de incertidumbre que ofrecen en cuanto a su vida útil. Sin embargo se debe considerar que sus bajos costos como la facilidad que ofrece para la colocación en obra y mantenimiento (tiempo y economía), la hace aparecer como una de las soluciones mas recomendables en el caso de canales en rehabilitación, canales sobre materiales expansivos, colapsables ó altamente permeables o en canales donde una solución de revestimiento de concreto no sea factible por las altos gradientes de temperatura provocando grietas y fisuras por donde discurriría el agua, de alto valor en el país por su escasez.

Por las razones anteriormente mencionadas, la utilización de los geosintéticos como un material para el revestimiento de canales debe ser considerada mas a menudo por nuestros diseñadores, ya que solo con la aplicación de estos productos en mas obras de ingeniería podrá conocerse mas sobre sus ventajas y desventajas.

PARTE I

REVESTIMIENTO CON GEOSINTETICOS

3. CONCEPTOS GENERALES

Frecuentemente las fuentes de agua están situadas a distancias considerables de donde van a ser usadas; por esa razón, para llevar este invaluable recurso al usuario, se utilizan los canales, acueductos, sifones, etc., de diferentes características geométricas y distintos materiales de construcción, según las condiciones geomorfológicas, geotécnicas, hidrológicas y económicas.

En algunos casos como los que se enuncian a continuación; se requiere revestir los canales:

- Cuando los valores altos de percolación en los suelos originan pérdidas de agua apreciables
- Cuando la estabilidad de las conducciones se ve afectada por la erosión originada por la velocidad de flujo.
- Cuando las filtraciones, producen aguas de retorno abundante, haciendo inestables los taludes de los canales

Por tanto el adecuado recubrimiento del canal es una de las características claves en un sistema exitoso. Con esa mentalidad ha sucedido el desarrollo y recubrimiento de los canales a través del tiempo, que incluye cubiertas de suelo (principalmente usando arcillas); cubiertas rígidas (ladrillos, losas y concreto) y cubiertas flexibles (paneles bituminosos, tratamientos químicos, geomembranas, etc).

3.1 Conceptos de Revestimiento

El revestimiento de los canales se constituye con una capa de material que se agrega sobre el terreno recortado con la forma del diseño, y sirve de superficie de contacto con el agua, de modo de controlar las pérdidas por filtración y el valor del coeficiente de resistencia del flujo.

También contribuye a mantener las dimensiones del canal, ya que evita la erosión de sus paredes y la consiguiente deformación que cambiaría las condiciones planteadas para su funcionamiento. Además contribuye a sostener una mayor velocidad que aquella que soporta el terreno natural, disminuyendo la excavación.

3.2 Necesidades de Revestimiento

Las condiciones naturales de los terrenos en que se requiere almacenar o conducir agua, no resultan en general satisfactorio para retenerla sin grandes pérdidas debido a que las condiciones geométricas o de permeabilidad del terreno natural varían en forma notable.

Para la construcción a cielo abierto generalmente se requiere un tratamiento del terreno, por lo común para reducir la permeabilidad, para uniformizar la superficie o bien para reducir la erosión por el movimiento del agua.

Cuando la superficie del terreno no es apta para recibir directamente el agua, es necesario realizar trabajos que redundan en el mejoramiento de las condiciones naturales.

Solo en aquellos lugares en que se encuentra un suelo impermeable como arcilla o mezcla de arcilla con otros suelos, así como roca sana y compacta, puede ser innecesario ejecutar trabajos para disminuir las fugas, y tan solo se requiere obras para adaptar la geometría a los requerimientos funcionales de la estructura por medio de excavaciones o colocación de materiales

Cuando las características hidráulicas, mecánicas o físicas del terreno resultan desfavorables, se deben realizar trabajos de mejoramiento, que en el caso de embalses y canales están representados por recubrimientos de la superficie que tiene como funciones principales las siguientes:

- Reducir las fugas a través de discontinuidades (grietas).
- Reducir las filtraciones a través de materiales permeables.
- Evitar los efectos erosivos del agua por oleaje o flujo.
- Disminuir las pérdidas de carga hidráulica por fricción.
- Evitar la tubificación de los suelos arrastrando los finos.
- Evitar la disolución del terreno.
- Disminuir la sección hidráulica de la sección de conducción.
- Reducir los costos de mantenimiento del canal.

3.3 Tipos de Revestimiento

Los revestimientos para canales en general son clasificados como rígidos o flexibles, según las propiedades de deformabilidad de los materiales empleados y su capacidad de adaptarse a movimientos del terreno sin sufrir daños mayores. Estas clasificaciones por lo común establecen los tipos siguientes:

- Revestimientos rígidos:
 - . Mampostería.
 - . Losa de concreto simple.
 - . Losa de concreto reforzado.
 - . Losa de concreto pre-fabricado.
 - . Concreto lanzado (shotcrete).
 - . Concreto compactado con rodillo en vertedores (CCR).

- Revestimientos flexibles:
 - . Suelos impermeables compactados.
 - . Losetas o adoquines de cerámica.
 - . Concreto asfáltico.
 - . Suelos impregnados con asfalto.
 - . Mantas asfálticas.
 - . Geomembranas.
 - . Geomallas rellenas con material rígido.

Conviene indicar que en algunos casos, los revestimientos con concreto asfáltico son considerados como rígidos; sin embargo, en la mayoría de las situaciones ha sido la de resistir los movimientos diferenciales del substrato sin agrietarse

3.4 Consideraciones para la Elección del Tipo de Revestimiento

Para la elección del tipo de revestimiento a considerar en un diseño específico es necesario una serie de estudios, que se describe a continuación. Del análisis de los resultados se llega a la elección de la alternativa más recomendable que siempre resultará única para cada proyecto analizado, dependiendo de las condiciones locales.

- **Propiedades del suelo**

El reconocimiento de los suelos a lo largo del trazo proyectado o existente mediante el estudio geológico y geotécnico proporciona una visión más clara del tipo de revestimiento a usar.

En zonas donde el material de cimentación del canal contiene limos expansivos colapsables, arcillas expansivas o yeso, o en terrenos de roca calcárea cavernosa, es preferible la elección de un revestimiento flexible y, en algunos casos, altamente impermeable.

En zonas donde el material excavado del canal consista de cantidades de arena y grava o puede traerse estos materiales de lugares no muy distantes, quizás interese optar por un revestimiento de concreto o de suelo cemento.

En suelos impermeables como arcillas o mezclas de arcillas con otros suelos, así como roca sana y compacta, el tipo de revestimiento podría ser de mampostería de piedra.

- **La topografía**

La topografía del Perú es muy accidentada, por lo que los sistemas de conducción por tubería se adaptan mejor; sin embargo, su elevado costo es un factor restrictivo; las redes de tuberías a baja presión y los acueductos resultan una solución que se adapta a esa topografía.

En menor grado, ofrecen esta misma ventaja los canales revestidos de concreto, ladrillo o tierra. Normalmente, los revestimientos de tierra y las membranas enterradas son preferibles en terrenos horizontales o de poco declive, lo cual se debe principalmente a que las velocidades admisibles tienen un bajo límite, que puede ser varias veces menor que en el caso de los canales de concreto.

- **Nivel freático**

Si el nivel freático se sitúa a mayor altura que el fondo de un canal, el vaciado del mismo puede dar lugar a que el revestimiento quede sometido a esfuerzos de subpresiones.

Se sabe de fracturas en revestimientos porque su insuficiencia de peso o su exceso de rigidez no permitió soportar la subpresión.

Esto ocurre especialmente con revestimientos bituminosos delgados, morteros, cementos y recubrimientos de hormigón de poco espesor; ladrillos y losas de piedra así como por geomembranas sin ningún tipo de revestimiento sobre ella. En cambio, los revestimientos de tierra muy compactada han sido siempre satisfactorios en tales circunstancias.

Los geosintéticos bajo un recubrimiento normal de concreto con un espesor considerado según diseño, suelen ser recomendables en estos casos.

En los climas con cambios bruscos de temperatura no resulta recomendable el revestimiento de concreto en zonas de alto nivel freático, dado que la dilatación puede rajarlos cuando el canal este vacío.

- La estanqueidad

Cuando se planifica un sistema de riego, la pérdida de agua por los sistemas de conducción es uno de los puntos de mayor cuidado debido al valor agregado del agua.

Un revestimiento bastante estanco y duradero, son las geomembranas colocadas debajo de un revestimiento normal de concreto; el aumento de gasto que supone una cubierta adicional ha quedado justificada en varios proyectos en todo el mundo, debido a que el costo de la cubierta de concreto, quedaría amortizada si conserva su eficiencia.

- La duración

La duración de los revestimientos depende de la clase a que pertenece, de la calidad de los materiales de que están contruidos, del esmero y la exactitud de la instalación, de las condiciones del clima, del régimen de explotación del canal y de la atención que se preste al mantenimiento.

Si se construyen y se conservan debidamente, los revestimientos de concreto tienen normalmente una vida útil de 50 años, mientras que los revestimientos

flexibles (geomembranas) tienen una vida útil de 20 años, si se le proporciona un adecuado diseño, un riguroso proceso constructivo y un efectivo y permanente mantenimiento.

- **La disponibilidad de los materiales de construcción**

La presencia de materiales apropiadas naturales a lo largo del canal son, sin duda alguna, los mejores para ser usados en el revestimiento. La utilización de materiales traídos de otras zonas depende en gran medida de la disponibilidad de medios de transporte y de los costos correspondientes. Si el cemento y el árido han de acarrear de puntos lejanos, debe considerarse seriamente la posibilidad de optar por la prefabricación o de colocar un revestimiento que no sea de concreto.

Por lo general el revestimiento más económico es el que resulta del mejor aprovechamiento de los materiales que ofrece el propio terreno.

- **Costos y aspectos financieros**

El costo de un determinado revestimiento ha de compararse con los beneficios que pueden obtenerse. En teoría, conviene adoptar la solución más económica, sea cual fuese su costo. No obstante en la práctica la decisión de revestir o no, así como la elección de uno u otro tipo de revestimiento, suele depender de la cuantía de los recursos financieros para encontrar beneficios.

En el caso de que la mejor solución técnica de revestimiento sea más costosa de lo que permiten los recursos financieros para desarrollar un proyecto factible técnica y económicamente, se opta por revestir solo los tramos críticos.

Evaluando los datos físicos y económicos que han de tenerse en cuenta para adoptar una decisión y considerando los factores tratados en las páginas anteriores, el planificador se orientará pronto hacia la forma o formas de revestimiento más convenientes. La elección definitiva entre las distintas soluciones debe basarse en las respectivas relaciones beneficio/costo.

Se debe considerar los costos incluyendo el tiempo de ejecución ya que por ejemplo el uso de las geomembranas como material impermeable, en reemplazo

de los materiales arcillosos, facilita el proceso constructivo haciéndolo más dinámico por su facilidad de puesta en obra, minimizando costos. En estos casos no deberá descuidarse el factor vida útil de la obra.

Los costos deben calcularse por periodos de tiempo para que se ponga de relieve la duración útil específica de cada revestimiento y los gastos corrientes. La cantidad de agua economizada es generalmente el factor más decisivo cuando se compara los costos y los beneficios. Una estimación objetiva debe tener en cuenta que al correr de los años de servicio, las pérdidas de un canal sin revestir casi siempre disminuyen por efecto de la saturación natural, salvo se trate de escurrimientos menores ocasionales, por ejemplo desde plantas de bombeo, o en canales sobre suelos con un perfil permeable.

4. USO DE GEOSINTÉTICOS

En la búsqueda de nuevas soluciones para el revestimiento de canales, se han obtenido productos que han mostrado un asombroso crecimiento, como ningún otro, como la aparición y uso de los materiales llamados geosintéticos, nombre que engloba a las geomembranas, geogrids, geonets, geocompuestos, geoceldas, geotextiles y geoalbos

Las geomembranas, representan uno de los materiales mas comercializados dentro del mundo de los geosinteticos, fabricadas a partir de polímeros, son membranas impermeables usadas en fundaciones, suelo, roca, tierra o cualquier otro material relacionado con la ingeniería geotécnica como una parte integral de un proyecto, estructura o sistema echo por el hombre, gracias a su baja permeabilidad las geomembranas son utilizadas en obras como: reservorios, canales y rellenos sanitarios entre otros. Se fabrican las mantas con un ancho sin uniones de 5 m hasta 10,5 m y los espesores varían entre 0,5 y 6 mm.

Los Geogrids, presentan un rápido crecimiento dentro del área de los geosintéticos, es un material polimerico en forma de malla, presenta al menos 25 áreas de aplicación sin embargo funcionan exclusivamente como materiales de reforzamiento.

Geonets, algunas veces llamadas geospacers constituyen otro segmento especializado dentro del área de los geosintéticos, son polímeros sintéticos fabricados por medio de la termo-unión de dos hilos semirígidos, uno sobre el otro, los cuales forman ángulos y aberturas, de tal forma de tener una malla que permita discurrir los líquidos en su plano. Son usados para transportar toda clase de líquidos, en especial en el sector minero en la construcción de cerramientos de canchas de relaves, también es empleado dentro del área de drenaje.

Geocompuestos, consiste en la combinación de dos geosinteticos o un geosintetico u otro material fabricados de manera que se comporten monolíticamente, siendo los más usuales los geotextil – geonet, geotextil – geomalla, geomalla – geomembrana, geotextil-geocelda, geotextil – bentonita, entre otros. Presentando una interminable gama de posibilidades en la fabricación o aplicaciones en: separación, reforzamiento, filtración, drenaje y barrera hidráulica.

Geoceldas, tambien conocidas como geomatrics, son estructuras tridimensionales fabricados a partir de tiras de geotextiles o geomembranas unidas entre sí mediante diversos procedimientos, confinando el concreto o suelo suelto en una estructura celular

de retención. Su aplicación esta ligada a los métodos de control de erosión superficial, soporte de cargas, recubrimiento de canales y en la construcción de muros de contención de tierras.

Geotextil, forman uno de los dos grandes grupos de los geosintéticos, su crecimiento durante los últimos 20 años es bastante acelerado, elaborados con fibras cortas de polímeros de cadena larga (polipropileno) mediante punzonado en el caso del geotextil no tejido y de cintas planas en el caso del geotextil tejido, presentan características ideales para la trasmisión de agua a través de sus poros, tiene por lo menos 80 áreas de aplicaciones específicas que han sido desarrolladas, empleándose mayormente para reforzamiento, separación, filtración, drenaje, protección, entre otros.

La industria de los geosintéticos ha crecido en forma dramática su mercado de ventas, debido a sus diversos usos; se sólo en 1995 se han vendido 500 millones de metros cuadrados solo en geotextiles y 75 millones de metros cuadrados en geomembranas, lo cual significó 1,2 billones de dólares, que en ese año representó el 72% de las ventas de geosintéticos, se estima que en el 2001 se venderán alrededor de 600 millones de metros cuadrados en geotextiles y 95 millones de metros cuadrados en geomembranas, representando el 79 % de las ventas de geosintéticos solo en Norte América. En la figura N° 1 se puede apreciar la evolución de las ventas de los geosintéticos en Norteamérica.

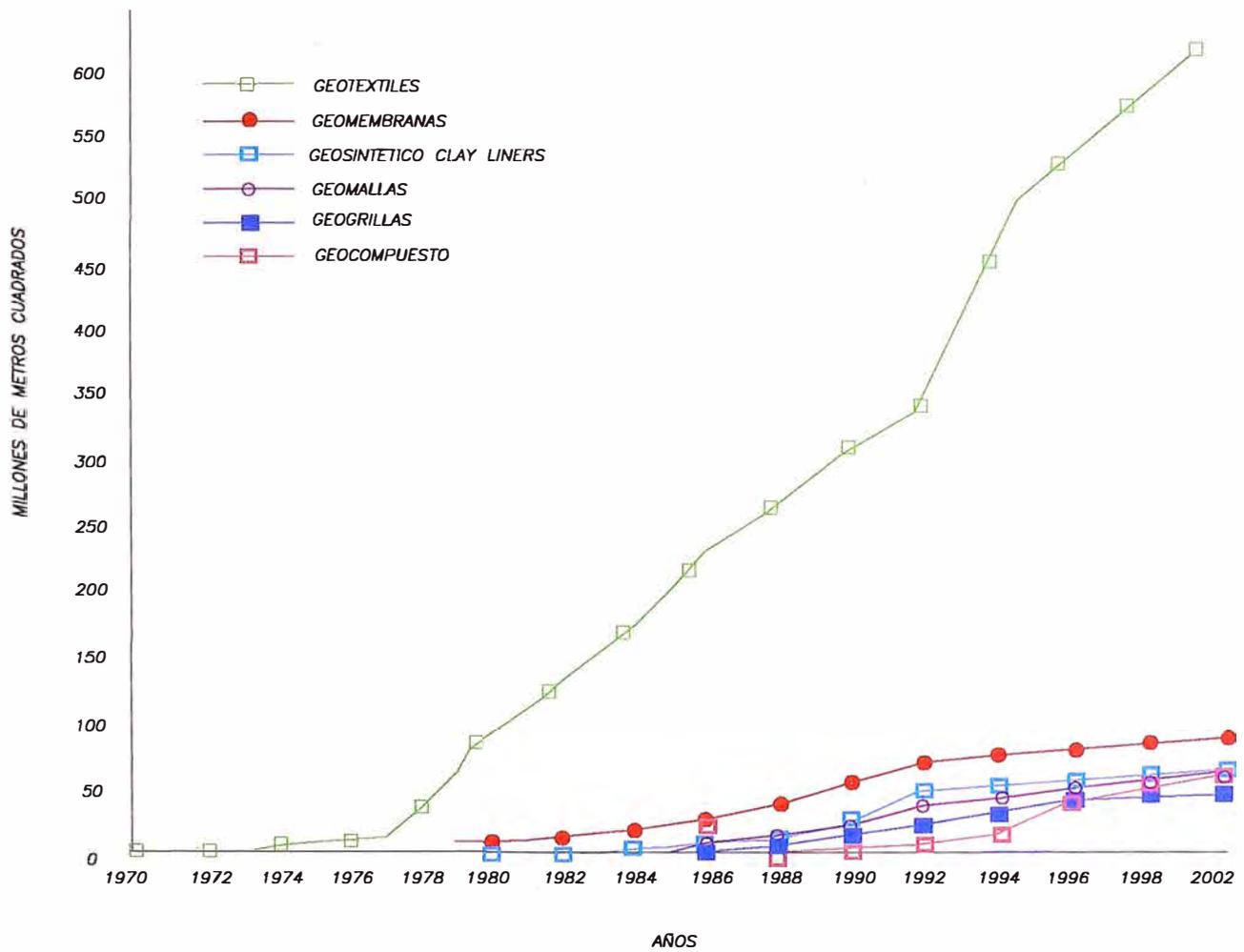
En general los geosintéticos cumplen las funciones de reforzamiento, protección, separación, filtración, drenaje radial e impermeabilización, por lo que son empleados con éxito desde la década de los 30 en construcción y recuperación de vías, en construcción y drenaje de estructuras de contención, en embalses, en canales y campos deportivos, en protección de costas y orillas de ríos y en el control de erosión, sin contar otros usos, corrientes unos, novedosos otros, en la industria de la construcción y en la agroindustria. En la figura N° 2 se muestra algunos usos de los geosintéticos

Desafortunadamente su utilización en obras de ingeniería no siempre ha seguido rigurosos procesos de diseño con las inevitables secuelas de sobre costos innecesarios o de lamentables fracasos. La razón para que esto ocurra es simple: los geosintéticos siguen siendo asunto de especialistas, en la medida que los textos corrientes de geotecnia y construcción apenas tocan el tema de manera general y la generación y diseminación de la información sobre geosintéticos y sus aplicaciones parezcan ser más el objeto de publicidad de las casas fabricantes que un asunto académico.

Desde la década de los 50 los geosintéticos han sido utilizados en lugar de revestimientos rígidos para evitar las filtraciones, mayormente donde el suelo es permeable, siendo una de las mayores aplicaciones de la geomembrana la de impermeabilidad de revestimientos deteriorados de concreto o mampostería, en aquellos canales que presentan filtraciones de agua a través de las grietas o fisuras del revestimiento y que causan pérdidas de agua, que por lo general es muy escasa y de elevado costo en todos los proyectos de riego. Los geotéxtiles a su vez se presentan como una de las mejores alternativas de protección de las geomembranas.

Figura N°1

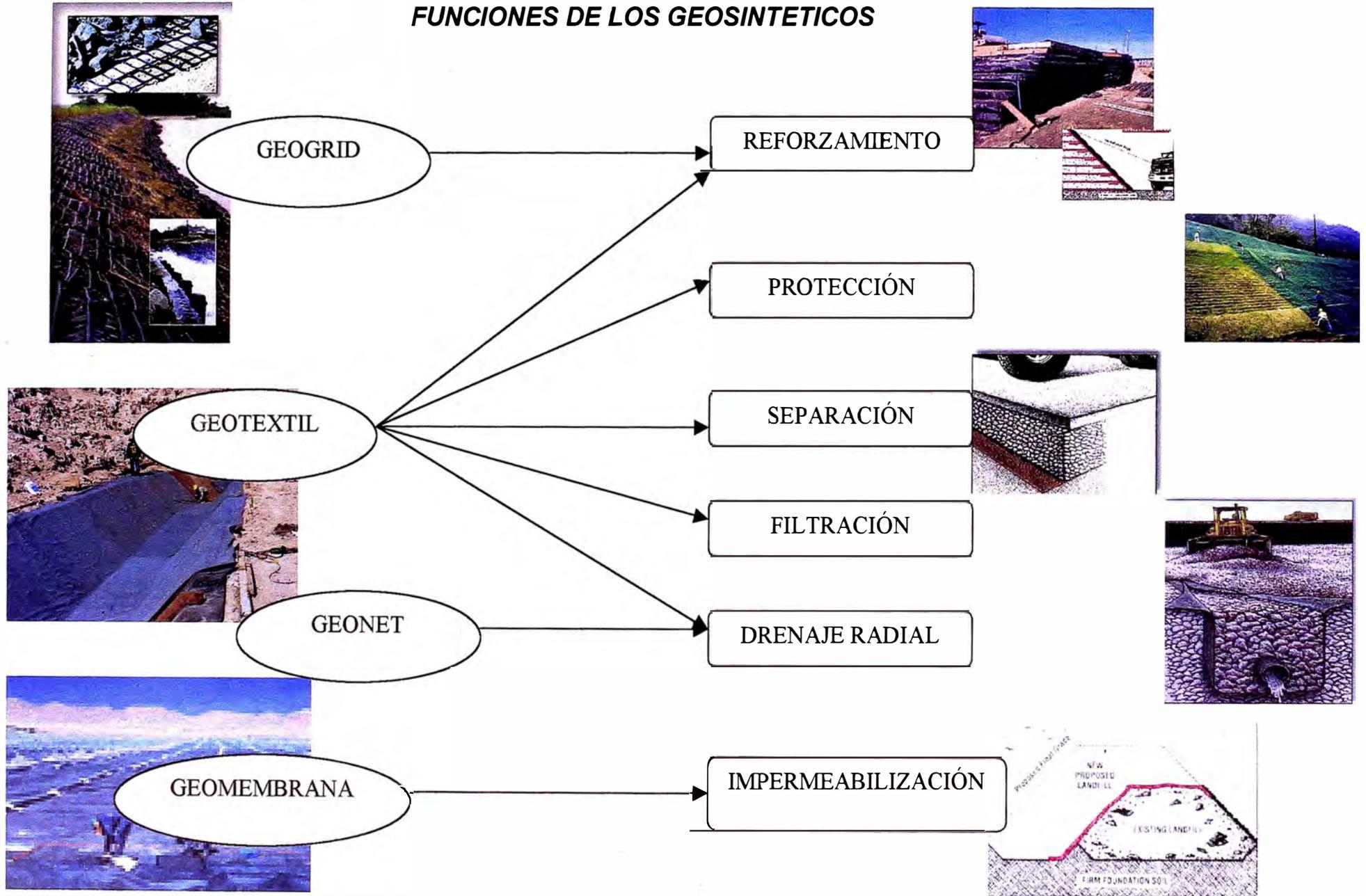
ESTIMACION DE VENTAS DE LOS GEOSINTETICOS EN NORTE AMERICA
(Koerner, 1999)



NOTA:
Para los años 96, 98 y 2002 las cantidades han sido estimadas

Figura N° 2

FUNCIONES DE LOS GEOSINTETICOS



5. GEOMEMBRANAS

En primer lugar, describiré a las geomembranas por ser el geosintético más usado en el revestimiento de canales por su alto grado de impermeabilización.

Dentro de los geosintéticos, las geomembranas representan el segundo grupo en ventas, y su crecimiento está bastante ligado a la necesidad de contener líquidos y vapores, o de proteger el suelo de líquidos o sólidos contaminantes.

Los primeros usos de geomembrana en el mundo datan de 1930 cuando fue utilizada para el revestimiento de piscinas con membranas PVC; el revestimiento de embalses con membranas de PVC y caucho es iniciada por los años 1940; canales revestidos con membranas de PVC se registran en la década de los años 50, según el U.S Bureau of Reclamation y la Utah State University-Lauritzen.

Las geomembranas son un revestimiento o una barrera flexible de muy baja permeabilidad.

La baja permeabilidad de la geomembranas expresadas en términos del coeficiente de permeabilidad (K) debe encontrarse en un rango de $0,5 \times 10^{-10}$ a $0,5 \times 10^{-13}$ cm/seg. Generalmente se componen de polímeros sintéticos, tales como plástico o caucho y pueden reforzarse en algunos casos con mallas tejidas y sus espesores típicos varían entre 0,5 y 2,5 milímetros.

Los primeros estudios hechos por el U.S. Bureau of Reclamation incluyeron varias membranas de plástico y verificaron que el cloruro de polivinilo (PVC) se podía usar con éxito, como revestimiento enterrado. Se notó que otros tipos de membrana eran más económicos que el PVC; sin embargo, se determinó que la membrana de PVC es más resistente a las roturas, más fácil de conseguir en piezas grandes ya listas y más fácil de reparar en el sitio mismo de la obra. Por eso la Bureau of Reclamation adoptó el PVC como regla fija para revestir los canales más grandes.

Para asegurar una larga vida de servicio, es de mayor importancia que el PVC sea protegido de los rayos del sol. Después de pocos años, los rayos ultravioleta del sol reducen la flexibilidad de la membrana y la hacen quebradiza; sin embargo

bien cubierta pueden durar hasta 40 años o más, John Duffy, Vicepresidente de Watersaver International, [1].

5.1 Su Desarrollo

El uso de geomembranas para almacenamiento y transporte de gas comenzó a raíz de los experimentos realizados en la Universidad de Utah y la U.S Bureau of Reclamation, con el objeto de conservar el agua, y solucionar problemas críticos de desarrollo agrícola y ganadero en diferentes regiones carentes de este recurso.

Originalmente el revestimiento de canales se hacía comúnmente en tierra o arcilla y concreto, pero la investigación se desarrollaba buscando un revestimiento para disminuir las pérdidas por filtración al menor costo. La Compañía Unión Carbide presentó como propuesta películas de Cloruro de Polivinilo (PVC) y Polietileno (PE) como barrera impermeable, y fue la película PVC la que obtuvo mejor comportamiento en los experimentos recubierto con una capa de tierra o gravilla protegiéndola de las cargas mecánicas.

Definido el comportamiento de este sistema, el servicio de investigaciones agrícolas de U.S.A. y la Bureau of Reclamation especificaron la utilización de este revestimiento bajo la norma AP 340.1.

A partir de 1960 se inició el uso de geomembranas para control de filtraciones contaminantes en lagunas de tratamiento, y la Agencia de Protección Ambiental (EPA) solicitó asistencia para dar una solución al problema de polución en rellenos sanitarios, con el objeto de establecer especificaciones. Esta asistencia fue dada por la Fundación Nacional Sanitaria (NSF) que después de largos estudios con el soporte de consultores y proveedores de geomembranas, especificó la utilización de geomembranas en rellenos sanitarios. La EPA a su turno adoptó esta solución para su especificación en control de poluciones tanto en rellenos sanitarios como en el tratamiento de aguas residuales.

Con el tiempo han surgido diferentes aplicaciones en la ingeniería, y es lógico pensar que el futuro de las geomembranas es promisorio, no solo por las aplicaciones usuales sino por su desarrollo permanentemente desde 1976. En la Tabla N° 1 se muestra el crecimiento aproximado de las geomembranas en el mundo, se observa que el mayor crecimiento se produjo en el año 1984, a partir de ese año a mantenido un incremento en forma considerable. Los datos a partir de las fechas 1995 al 2002 han sido estimados, de acuerdo a informaciones proporcionadas por suministradores de estos materiales.

Tabla N° 1
Crecimiento Aproximado de las Geomembranas en el Mundo

| Año | Uso de Geomembranas (millones de m2) | Porcentaje de Crecimiento |
|------------|---|--------------------------------------|
| 1976 | 9,0 | - |
| 1980 | 11,0 | 22 |
| 1981 | 12,0 | 9 |
| 1982 | 13,0 | 8 |
| 1983 | 15,0 | 15 |
| 1984 | 21,0 | 40 |
| 1985 | 26,0 | 24 |
| 1986 | 29,0 | 12 |
| 1987 | 31,0 | 7 |
| 1988 | 45,0 | 32 |
| 1990 | 50,0 | 10 |
| 1992 | 60,0 | 17 |
| 1994 | 70,0 | 15 |
| 1995 | 75,0 | 7 |
| 1996 | 80,0 | 7 |
| 1998 | 85,0 | 6 |
| 2002 | 90,0 | 6 |

5.2 Composición Categorías y Tipos de Geomembranas

Las geomembranas se componen por polímeros y aditivos, siendo los primeros compuestos químicos de alto peso molecular, elaborados por la industria petroquímica.

La categorización de la geomembranas se realiza por su proceso de fabricación

Los polímeros que se utilizan para producir geomembranas son:

- Termoplásticos

- Cloruro de Polivinilo (PVC)

Con el tiempo han surgido diferentes aplicaciones en la ingeniería, y es lógico pensar que el futuro de las geomembranas es promisorio, no solo por las aplicaciones usuales sino por su desarrollo permanentemente desde 1976. En la Tabla N° 1 se muestra el crecimiento aproximado de las geomembranas en el mundo, se observa que el mayor crecimiento se produjo en el año 1984, a partir de ese año a mantenido un incremento en forma considerable. Los datos a partir de las fechas 1995 al 2002 han sido estimados, de acuerdo a informaciones proporcionadas por suministradores de estos materiales.

Tabla N° 1
Crecimiento Aproximado de las Geomembranas en el Mundo

| Año | Uso de Geomembranas (millones de m2) | Porcentaje de Crecimiento |
|------------|---|--------------------------------------|
| 1976 | 9,0 | - |
| 1980 | 11,0 | 22 |
| 1981 | 12,0 | 9 |
| 1982 | 13,0 | 8 |
| 1983 | 15,0 | 15 |
| 1984 | 21,0 | 40 |
| 1985 | 26,0 | 24 |
| 1986 | 29,0 | 12 |
| 1987 | 31,0 | 7 |
| 1988 | 45,0 | 32 |
| 1990 | 50,0 | 10 |
| 1992 | 60,0 | 17 |
| 1994 | 70,0 | 15 |
| 1995 | 75,0 | 7 |
| 1996 | 80,0 | 7 |
| 1998 | 85,0 | 6 |
| 2002 | 90,0 | 6 |

5.2 Composición Categorías y Tipos de Geomembranas

Las geomembranas se componen por polímeros y aditivos, siendo los primeros compuestos químicos de alto peso molecular, elaborados por la industria petroquímica.

La categorización de la geomembranas se realiza por su proceso de fabricación
 Los polímeros que se utilizan para producir geomembranas son:

- Termoplásticos
 - Cloruro de Polivinilo (PVC)

- . Cloruro de polivinilo resistente al petróleo (PVC-OR)
- . Cloruro de polivinilo nitrato termoplástico (TN-PVC)
- . Aleación interpolimero etileno (EIA)
- . Poliamida o nilón (PA)

- Termoplásticos cristalinos
 - . Polietileno de baja densidad (LDPE)
 - . Polietileno de alta densidad (HDPE)
 - . Aleación de polietileno de alta densidad (HDPE-A)
 - . Polipropileno (PP)
 - . Poliolefina elastizada (ELPO o 3110)
 - . Poliéster terftalato (PET)

- Elastómeros Termoplásticos
 - . Polietileno clorado (CPE)
 - . Aleación de polietileno clorado (CPE-A)
 - . Polietileno clorosulfonado o hipalon (CSPE)
 - . Monómero dieno propileno etileno termoplástico (T-EPDM)
 - . Terpolímero propileno etileno (EPT)
 - . Acetato de vinilo etileno (EVA)

- Elastómeros Termoestables o hules
 - . Hule isobutileno isopreno o hule butilo (IIR)
 - . Monómero dieno propileno etileno (EPDM)
 - . Policloropreno o neopreno (CR)
 - . Hule epiclorohidrina (CO o ECO)

Las letras entre paréntesis, corresponden a la designación adoptada internacionalmente para nombrar los polímeros y se derivan de su nombre en lengua inglesa. El término termoplástico se refiere a la capacidad de volverse de consistencia blanda o plástica con la aplicación del calor; los elastómeros son conocidos comúnmente como hules y los hay termoplásticos que se ablandan con el calor y termoestables, que no poseen esa característica; el calificativo de cristalinos es debido a que en su masa se forman agrupaciones moleculares en formas de cristales.

Las geomembranas más usada son el PVC y el HDPE; los menos usados el EIA-R y el CPE-R.

En la siguiente tabla se presentan la composición en partes por peso de los polímeros y aditivos que forman la geomembrana:

Tabla N° 2
Componentes de las Geomembranas

| Componentes | Composición en Partes por Peso | | |
|--------------------------------|--------------------------------|--------------|----------------|
| | Termoplástico | Termoestable | Semicristalina |
| Polímero o polímero modificado | 100 | 100 | 100 |
| Plastificante | 5-55 | 5-40 | 0-10 |
| Antidegradante | 1-2 | 1-2 | 1 |
| Negro de humo | 5-40 | 5-40 | 2-5 |
| Estabilizadores | 0-1 | 0-1 | - |
| Antioxidantes | 0-1 | 0-1 | - |
| Funguicidas | 0-1 | 0-1 | - |
| Fillers | 5-40 | 5-40 | - |

Fuente: Koerner, 1999

5.3 Funciones Técnicas

El desarrollo de aplicaciones es tal que se conocen varias particulares en Ingeniería Civil, y actualmente se investigan y desarrollan nuevas aplicaciones.

Entre los usos que se ha dado a las geomembranas en actividades civiles, geotécnicas y ambientales se pueden citar las siguientes:

- Revestimiento en depósitos de agua potable.
- Revestimiento en depósitos de aguas industriales.
- Revestimiento en depósitos de agua residuales.
- Revestimiento en depósitos de desechos de bajo nivel radiactivo.
- Revestimientos en lagunas de evaporación.
- Revestimiento en depósitos de soluciones químicas.
- Revestimiento de canales para transporte de aguas.
- Revestimiento de rellenos sanitarios de primer, segundo y tercer orden.
- Barrera para control de filtraciones perimetrales de zonas contaminadas.
- Barrera para control de filtraciones en diques.
- Barrera para control de filtraciones en canales.

- Revestimiento interior en túneles.
- Revestimiento de diques en tierra y piedra.
- Revestimiento de diques para control de derrames en la periferia de tanques con hidrocarburos.
- Coberturas en depósitos para control de evaporación.
- Cobertura en depósitos para control de polución.
- Barrera para control de suelos expansivos o colapsables.
- Cobertura en rellenos sanitarios para controlar olores y generación de lixiviados para efectos de lluvia.
- Bajo capas de asfalto como estrato impermeable.
- Barrera impermeable secundaria de tanques enterrados.
- Revestimiento para corregir pérdidas en tanques existentes.
- Barrera a gases en biodigestores.
- Protección de estructuras en concreto.

Se debe resaltar la aplicación para revestimiento de canales para transporte de aguas, como barrera para control de filtraciones en canales, como barrera impermeable secundaria de tanques enterrados.

5.4 Aplicaciones

Según su objeto, las geomembranas tienen las siguientes aplicaciones, agrupadas como ambientales y geotécnicas:

Ambientales

- Depósitos de líquidos:
 - Revestimiento de lagunas o embalses.
 - Cobertura de embalses.
 - Barreras o pantallas para conducción de aguas.
 - Barreras para control de líquidos contaminantes.
- Depósitos de residuos sólidos:
 - Revestimiento en rellenos sanitarios.
 - Cobertura de rellenos sanitarios.
 - Revestimiento de lagunas de evaporación.
 - Revestimiento de desechos sólidos.

- . Control de vapores y gases.
- . Barrera a la humedad.
- . Barrera a gases.
- . Biodigestores.

Geotécnicas

- Impermeabilización de diques en tierra o piedra.
- Impermeabilización de diques y muros de contención estructurales o en mampostería.
- Impermeabilización de taludes.
- Revestimiento para control de filtraciones.
- Revestimiento de canales.
- Sistemas de distribución y control de aguas.
- Control de humedad en suelos expansivos.
- Revestimiento interior de túneles.
- Control de nivel freático.

En la Tabla N° 3 se presenta una relación de la cantidad de geomembrana instalada según áreas de aplicación.

Tablas N° 3
Áreas de Aplicación de las Geomebranas Vs. Cantidad Instalada

| Áreas de Aplicación | | Cantidad (millones de m2) |
|---------------------------|-------------|------------------------------|
| Ambientales | | |
| Depósitos líquidos | 22% | 6,8 |
| Depósitos sólidos | 53% | 16,4 |
| Barreras a gases | 5% | 1,6 |
| Geotécnicas | | |
| Todos los usos combinados | 20% | 6,2 |
| Total | 100% | 31,0 |

Fuente: Alejandro Ramirez M., Geo-productos Mexicanos S.A

5.5 Normas de Ensayos

Las normas particulares en las geomembranas se relacionan directamente con sus propiedades, que actuarán tanto en la fabricación, transporte e instalación como en su funcionamiento como material integrado de un proyecto.

El desarrollo de las normas existentes se ha llevado a cabo por las siguientes entidades:

- ASTM, Comité D-35: Subcomité GM
 - EPA, Ensayo 9090
 - NSF (National Sanitation Foundation). Norma 54
 - BUREAU (Bureau of reclamation). Canales
-
- **Ensayo de Tensión (ASTM D 638, NSF Mod.)**

La resistencia a la tensión de un material es un indicativo de la cantidad de esfuerzo, en tensión, que el material puede soportar antes de fallar. El método de ensayo especificado utiliza un espécimen con forma de "pesa de gimnasia" (con una pesa en el extremo) y proporciona información sobre las propiedades de tensión del material : resistencia a la fluencia (sólo material HDPE), resistencia a la rotura, elongación en fluencia (sólo materiales HDPE) y elongación en la rotura.

En el ensayo, el espécimen está unido a una mordaza fija y a una mordaza móvil de una máquina universal de ensayo a tensión. Un indicador de carga proporciona la carga de tensión (esfuerzo) experimentada por el espécimen así como la distancia recorrida (deformación).

- **Ensayos de Agrietamiento por Esfuerzo (ASTM D 1693, D 5397)**

Estos ensayos determinan la resistencia de la geomembrana al agrietamiento por esfuerzo ambiental. Una grieta de esfuerzo es una fractura frágil en el plástico causada por los esfuerzos de tensión, que son inferiores a la resistencia a la fluencia en tensión del material, aplicados durante largos períodos de tiempo.

Cuando se usa la ASTM D 1693, los especímenes son ranurados, doblados y colocados en las agarraderas. Las agarraderas son sumergidas en una solución surfactante mantenida a una temperatura elevada. Los especímenes son monitoreados a intervalos de tiempo específicos para determinar si se forma alguna grieta alrededor de la ranura monitoreada. Se considera que el material

pasa la prueba si no aparece ninguna grieta después de la cantidad de tiempo especificada.

Similarmente, cuando se usa la ASTM D 5397 (NCTL), se coloca un espécimen ranurado, con forma de pesa de gimnasia (con una pesa en el extremo) a tensión constante en una solución similar a una temperatura elevada. Este es un ensayo más agresivo que el D 1693. Se considera que el material pasa si no ocurre ninguna grieta antes de 200 horas de exposición cuando se somete al 30% de la resistencia a la fluencia del material.

- **Resistencia al Rasgado (ASTM D 1004)**

. Resistencia al Punzonamiento (FTMS 101 Método 2065)

El ensayo de resistencia al rasgado mide la fuerza requerida para iniciar el rasgado. La geometría del espécimen es tal que cuando se halla en tensión, hay una concentración de esfuerzos en el espécimen. El resultado del ensayo es determinado como el punto cuando se desarrolla la máxima carga de tensión.

Similarmente, el ensayo de punzonamiento mide la resistencia del material al punzonamiento. Una sonda con una geometría estandarizada en la punta es forzada a través del espécimen de geomembrana a una tasa fija. El resultado del ensayo es la fuerza requerida para punzonar el material.

Ambos ensayos son realizados rutinariamente como pruebas índice para reportar los valores del comportamiento del material. Los ensayos, aunque son ampliamente aceptados como pruebas de aseguramiento de la calidad, son simplemente ensayos índice y no necesariamente demuestran desempeño.

- **Contenido de Negro de Humo (ASTM D 1603)**

Los productos geosintéticos tales como las geomembranas y geomallas están comúnmente expuestos a los rayos UV por períodos extendidos de tiempo. La degradación debida a la exposición se puede minimizar utilizando resina de alta calidad mezclada con negro de humo de calidad. El negro de humo bien disperso,

en cantidades de 2 a 3%, proporcionará máxima protección contra la degradación UV.

El contenido de negro de humo es medido quemando el polietileno y otros aditivos dejando sólo el negro de humo. Pesando el material antes y después del quemado, se puede calcular el porcentaje de negro de humo en la muestra.



- **Ensayo de Tensión Tridimensional (Multiaxial) (ASTM D 5617)**

Tradicionalmente, los métodos de ensayo de la resistencia se han basado en pruebas de tensión unidimensionales tales como la ASTM D 638. Se ha desarrollado un método de ensayo alternativo para simular más exactamente la deformación fuera del plano que ocurre en muchos proyectos de revestimiento incluyendo cerramientos, donde puede ocurrir subsidencia. Este ensayo multiaxial estira un espécimen circular en todas las direcciones simultáneamente.

Usando una celda de presión y un caudal constante de agua o aire, el espécimen de geomembrana se deforma y elonga gradualmente. Se monitorean el punto pico de la deflexión, la tasa de flujo y la presión hasta una eventual ruptura del espécimen. Los datos recolectados ayudan en la determinación de la relación esfuerzo vs. deformación del espécimen, asumiendo una forma esférica o elíptica

de la deflexión. El perímetro del espécimen está fijo y por lo tanto se puede impedir que el resultado sea representativo del comportamiento en campo.



6. GEOTEXTIL

La norma INDECOPI 339.501 (ASTM D-4439) define un geotextil como: "*Un sintético permeable conformado por fibras, filamentos o combinaciones de ellos*". En general los geotéxtiles son telas permeables, que utilizadas en combinación con la cimentación, suelo, roca, tierra o cualquier otro material geotécnico, forma parte de un proyecto, estructura o sistema realizado por el hombre. Se componen de un grupo de polímeros denominados plásticos, se caracterizan por su flexibilidad y permeabilidad a los fluidos, capaces de retener partículas de suelo mayores que el tamaño de sus poros, estos representan el primer grupo en ventas de los geosintéticos en el mundo. Los geotextiles fueron inicialmente usados en el control de la erosión, como reemplazo de los filtros de suelos granulares, por lo que recibieron el nombre de tejidos filtros (fabric filter).

6.1 Su Desarrollo

Según Koerner su uso en los años 50, se describe como control de la erosión debajo de diques fabricados en obras marítimas, mostrando alto porcentaje de área de vacío y usando el tipo de filamento tejido. Asimismo en 1860 en Francia, se usa como refuerzo de caminos no pavimentados, en ferrocarriles, presas, etc., en la forma de filamentos no tejidos.

A su vez, en Holanda, Inglaterra y EEUU, comienza a difundirse la bondad del producto.

6.2 Tipos de Geotextil

Por su tipo de fabricación los geotextiles se dividen en dos grupos diferenciados:

- *No tejidos*
 - . Termosellado
 - . Entrelazados mecánicamente

- *Tejidos*

Existen tres variables importantes en la fabricación de los geotextiles: el tipo de polímero, el tipo de fibra o filamento, y la forma del tejido o acabado

- **Tipo de polímero**

Para la fabricación de los geotextiles se emplean predominantemente 4 tipos de polímeros:

- . Polipropileno.
- . Poliéster
- . Poliamida (Nylon)
- . Polietileno.

Estos polímeros deben transformarse primero en filamentos, para posteriormente, por un proceso textil, formar telas de diferentes características.

- **Tipo de fibras o filamentos**

Existen diferentes tipos de fibras o filamentos que son usados para fabricar un geotextil, dependiendo de la función que van a desempeñar. A estos llamaremos procesos primarios.

Los geotextiles no tejidos termosellados usa filamentos continuos de Polipropileno o Nylon / polietileno. Un porcentaje de los filamentos se funde primero, manteniéndose intacta la resistencia de los filamentos restantes.

Los geotextiles no tejidos entrelazados mecánicamente, usa filamentos continuos o bien fibra cortada (típicamente 0,15 m de longitud). Los polímeros mas usuales son el polipropileno y el poliéster.

Los geotextiles tejidos utiliza monofilamentos, multifilamentos o cintas planas (raffia). Los polímeros pueden ser polipropileno, poliéster o polietileno.

- **Tejido o proceso de acabado final**

El proceso de acabado final, o proceso secundario, de un geotextil se diferencia claramente de acuerdo a la fibra, filamento o cinta obtenida del proceso anterior.

Para los geotextiles no tejidos termosellados, en este proceso los filamentos se orientan en forma irregular, distribuyéndose en todos los sentidos. El sellado o unión por fusión se logra pasando el material entre rodillos calientes (calandreo), uniéndose las fibras en las zona donde se cruzan.

Geotextiles no tejidos entrelazados mecánicamente, por medio de la acción de agujas, las fibras se enredan entre sí.

Algunas veces se les imparte un acabado de impregnación de resinas de tipo acrílico, que aumenta la resistencia a la tensión, y a la perforación, pero reduce la elongación y la resistencia al rasgado, debiendo aplicarse un secado especial para restablecer la permeabilidad.

Geotextile tejidos, en este proceso los elementos individuales se entrelazan en disposiciones geométrica regular, perpendicularmente unos con respecto de otros.

6.3 Características

Los geotéxtiles presentan las siguientes características:

- Resistencia a la tensión.- Puede absorber esfuerzos de tensión cuando las estructuras son sometidas a carga.
- Elongación.- Propiedad importante de los geotéxtiles no tejidos que permite un mejor acomodo en terrenos irregulares, manteniendo su resistencia bajo deformaciones iniciales que presente la obra.
- Resistencia química.- Por ser fabricados en polipropileno, los geotéxtiles son resistentes a los ácidos, álcalis, insectos y microorganismos.
- Permeabilidad y flujo planar.- Los geotextiles no tejidos por ser punzados permite un mejor drenaje en el sentido del plano y en el sentido perpendicular de este.
- Resistencia a la temperatura.- El polipropileno es resistente a altas temperaturas que van desde el orden de 120 y 150 °C temperatura que es expuesta en repavimentación con la colocación del asfalto sobre este
- Capacidad de filtración.- Por su porosidad los geotextiles permiten el paso del agua y retienen los materiales finos.

6.4 Funciones Técnicas

El geotextil se usa en las siguientes condiciones, pero siguen apareciendo nuevos usos; solo señalaremos algunos:

- **Separación**

La capacidad del geotextil de impedir que se mezclen dos tipos de material con granulometría distinta, permitiendo una reducción de las sub-presiones y facilitando el flujo de agua en los dos sentidos.

- **Filtración**

Capacidad que tiene el geotextil de retener las partículas sólidas mientras permite que los líquidos y/o gases los atraviesen fácilmente. El agua es conducido a través del sistema hacia abajo, cuando hay lluvias, y hacia arriba por evaporización, transpiración o bombeo. Cuando este movimiento existe, sin la presencia de un geotextil, se producen deformaciones acompañadas de un proceso de lubricación.

- **Refuerzo**

Esta función es la capacidad del geotextil de aumentar la resistencia de otros productos. Los geotextiles proporcionan resistencias a la tracción. Usados correctamente, los geotextiles introducen un elemento que resiste a la tracción en una estructura que tradicionalmente sólo resiste compresiones. Poner geotextil es análogo a poner acero de refuerzo en el concreto.

- **Drenaje**

Esta función se refiere a la capacidad del geotextil de proporcionar un camino de menor resistencia al flujo de agua (o de gases) sobre el plano del tejido.

- **Protección**

El geotextil absorbe las tensiones locales que inciden directamente sobre el material en contacto, por ejemplo una geomembrana, protegiéndolo contra deformaciones, desgastes o punzonamiento.

6.5 Aplicaciones

- Repavimento asfáltico

Cuando se aplica sobre el pavimento antiguo, el geotextil retarda la propagación de las fisuras y se adhiere perfectamente la imprimación asfáltica, prolongando de esta manera la vida útil de los pavimentos viales, urbanos y de aeropuertos.

- Vías férreas

La aplicación de geotextil entre la base (o sub-base) y el terreno de apoyo, evita la formación de bolsones de arcilla. La base mantiene su integridad, quedando libre de la contaminación por finos del suelo, evitándose así la reducción de sus propiedades mecánicas. La elevada resistencia mecánica del geotextil permite una redistribución más suave y uniforme de las tensiones sobre la plataforma, lográndose una mejor estabilidad de la vía, una mayor vida útil y una sensible disminución de los costos de mantenimiento. Su espesor facilita el drenaje lateral.

- Represas

En las represas de tierra y/o rocas, el geotextil cumple dos funciones principales: actuar como filtro, remplazando el tradicional filtro de arena, y como elemento de transición, en lugar de una o más capas de elementos naturales, manteniendo constantes a través del tiempo, no sólo sus características mecánicas sino también sus características filtrantes.

- Drenes

En el drenaje profundo y subsuperficial, el geotextil evita el acarreo de partículas hacia el interior del dren, al mismo tiempo que permite un rápido escurrimiento del agua. Se logra una alta eficiencia como filtro a lo largo del tiempo y, como consecuencia, una mayor vida útil del sistema drenante, mayor economía de agregados naturales y una alta velocidad de ejecución

- **Áreas verdes**

El geotextil permite un rápido escurrimiento del agua de lluvias cuando se aplica en campos deportivos, jardines suspendidos y maceteros. De esa forma se evita los frecuentes problemas de obstrucción del medio drenante causados por los finos del suelo y por las inundaciones de la superficie. Con esto se reduce el número de capas de transición en los colchones drenantes, lográndose una mayor economía de agregados naturales, menos sobrecarga en las losas de los edificios y una humedad constante necesaria para el adecuado crecimiento de la vegetación.

- **Canales**

En los canales de revestimiento permeables, como gaviones o enrocados, o revestimiento impermeable, como canales de concreto, el geotextil retiene los finos del suelo y estabiliza las márgenes, proporcionando una rápida reducción de las subpresiones. Su alta flexibilidad permite una mejor adaptación a superficies irregulares, acompañando a eventuales asentamientos del revestimiento.

- **Protección de geomembranas**

En canales de irrigación, la utilización de geotextil asociado a una geomembrana, tiene por objeto aumentar la resistencia mecánica de la impermeabilización. El efecto drenante obtenido gracias al espesor del geotextil, permite la disipación y conducción de gases y/o líquidos en la superficie inferior de la impermeabilización. De ese modo se evita la formación de burbujas bajo la geomembrana y se disminuye el riesgo de deslizamiento y de pérdida de resistencia del suelo de fundación.

- **Terraplenes para carreteras**

El geotextil actúa principalmente como elemento de refuerzo cuando es aplicado entre el terraplén y un suelo compresible, redistribuyendo tensiones sobre el suelo de fundación y aumentando su capacidad de soporte. Al mismo tiempo, el geotextil minimiza los asentamientos diferenciales y la deformación horizontal de la fundación. El volumen de material necesario para el terraplén se reduce notablemente ya que el geotextil impide la

mezcla de este con el suelo de fundación. En patios de almacenaje, el geotextil actúa como capa separadora entre el suelo y el material granular del pavimento.

- **Control de la erosión**

El geotextil es usado para controlar la erosión en la orilla y márgenes. Colocar geotextil entre la roca y el suelo juntamente con una capa de suelo granular, evita que las partículas del suelo sean arrastradas por el agua.

- **Control de sedimentos**

El agua, el viento y la gravedad causan acumulación de sedimentos. Los controles de sedimentos que usan geotextiles incluyen cercas para el fango, bermas de piedra y estanques de sedimentación.

- **Muros de contención**

Los muros de contención con geotextiles ofrecen ventajas económicas comparadas con otras paredes de retención. Son flexibles durante la consolidación del material subyacente, permiten una construcción rápida y sencilla, usando equipos y materiales usualmente disponibles, y permiten instalar con comodidad el revestimiento de la estructura.

6.6 Normas de Ensayos

Las normas de ensayos de uso mas común actualmente son:

a. Para la caracterización de las propiedades mecánicas:

El estudio de las propiedades mecánicas tiene como finalidad:

- Caracterizar un geotextil.
Controlar sus cualidades.
Obtener parámetros para los proyectos.
- Conocer su comportamiento en determinadas condiciones de servicio.

Para ello se tienen las siguientes normas:

- a.1 Resistencia a la Tensión, Método Grab, Norma ASTM D-4632.
- a.2 Resistencia a la Tensión, Método de la tira ancha, Norma ASTM D-4595.
- a.3 Resistencia a la costura para geotextiles cosidos, Norma ASTM D-4533.
- a.4 Resistencia al punzonamiento, Norma ASTM D-4833.
- a.5 Resistencia al rasgado trapezoidal, Norma ASTM D-4533.
- a.6 Resistencia al estallido, Norma ASTM D-3786.

b. Para la caracterización de las propiedades hidráulicas:

- b.1 Tamaño de abertura aparente, Norma ASTM D-Resistencia a la Tensión, Método Grab, Norma ASTM D-4632.
- b.2 Resistencia a la Tensión, Método de la tira ancha, Norma ASTM D-4595.

c. Para la caracterización de las propiedades físicas:

- c.1 Determinación del espesor nominal de los geotextiles, Norma ASTM D-5199.
- c.2 Determinación de la masa por unidad de área de los geotextiles, Norma ASTM D-5261.

d. Para determinar la durabilidad de los geotextiles:

- d.1 Deterioro de los geotextiles bajo la exposición a la luz ultravioleta y al agua, Norma ASTM D-4355.

7. CONSIDERACIONES GENERALES DE DISEÑO

Durante los primeros años en que se utilizaron geosintéticos, fue usual emplear métodos empíricos para seleccionar los materiales. Es obvio que esta metodología se basa en experiencias previas, pero por ser materiales nuevos, el conocimiento era escaso y además los factores involucrados en una aplicación exitosa no eran del todo conocidos y mucho menos evaluados, por lo que resultó frecuente que obras diseñadas por receta fallaran notablemente.

Ante esa situación los fabricantes patrocinaron investigaciones que permitieron disponer de monogramas de diseño; sin embargo, el diseño a través de manuales tampoco resultó de una confiabilidad adecuada. Afortunadamente la intervención de ingenieros en la construcción y en la investigación en universidades, han permitido, en las décadas de los años 80 y 90, tener un mayor conocimiento de los factores físicos involucrados, de la respuesta fisicoquímica de los geoproductos y sobre todo, han logrado desarrollar herramientas teóricas de diseño adecuado; deben ser consideradas las condiciones de sollicitación a que estarán sometidos los materiales, no solo durante su vida útil, sino también previamente durante el transporte, manejo y construcción. Estos últimos aspectos escapan el control directo del diseñador, por lo que el único medio disponible para lograr la supervivencia de las geomembranas hasta la puesta en servicio de la obra, es por medio del establecimiento de rígidas especificaciones para el manejo e instalación del material y un adecuado programa de supervisión.

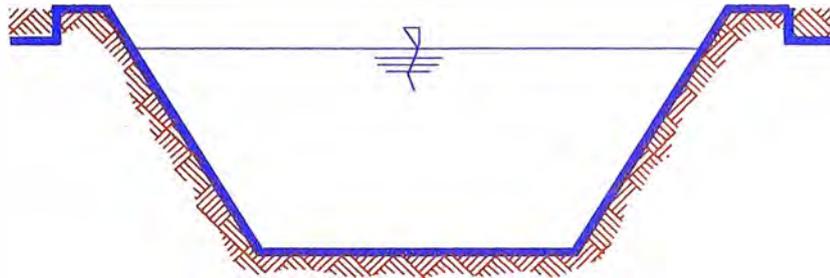
Las soluciones comunes en el caso de canales son las indicadas en la figura N° 3; en las secciones c y d de dicha figura se ha considerado la colocación de un geotextil bajo o sobre la geomembrana. El geotextil tiene como funciones proporcionar una superficie de trabajo limpia para realizar las juntas; funcionar como capa de amortiguamiento a golpes y picaduras; aumentar la fricción o adherencia entre membrana y suelo; y permitir el escape de gases del subsuelo o de subpresiones.

Para agua potable o para fines agrícolas, el PVC ha sido ampliamente usado en las décadas pasadas, tendencia que ha sido modificada por la aparición de geomembranas con mejor durabilidad expuesta como el HDPE y el CSPE grado potable. En caso de plantas de tratamiento para agua residual, los materiales que son aceptados en la actualidad son el HDPE, el CSPE industrial, el SPDM y el PVC resistente a los aceites.

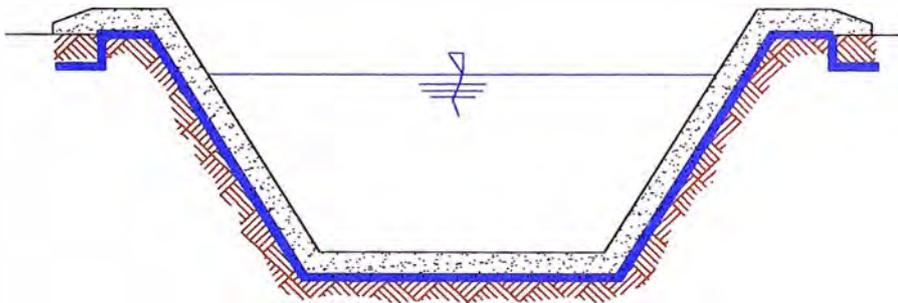
Las secciones comunes en conducciones a cielo abierto son la rectangular para concreto o mampostería, la trapezoidal para grandes canales y la triangular para canales pequeños. Una

Figura N°3

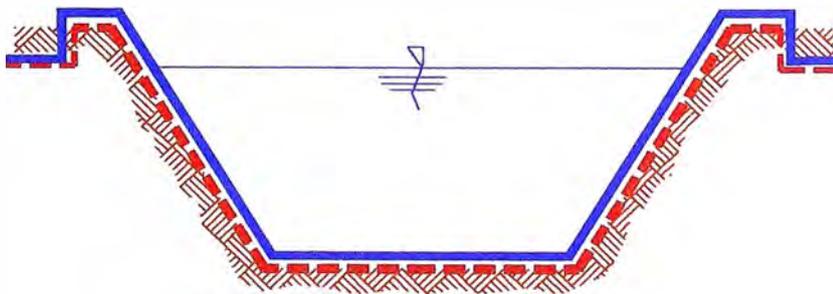
Alternativas de Revestimiento con Geomembranas (Koerner, 1999)



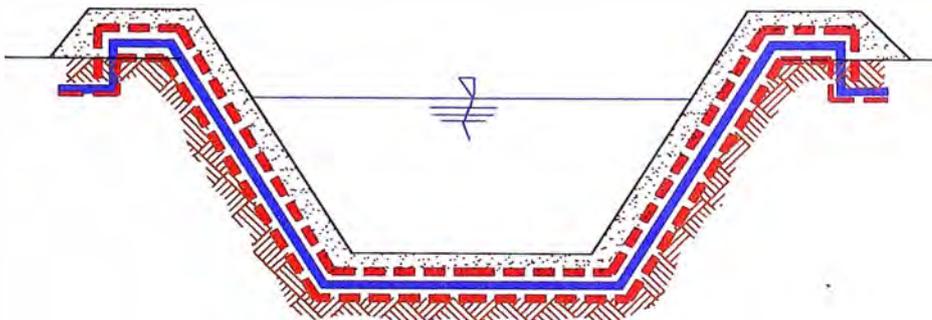
a) Geomembrana sin protección



b) Geomembrana con cobertura



c) Geomembrana sobre geotextil



d) Cobertura con geotextil abajo y arriba de la geomembrana

vez establecido los taludes y forma de la sección, el tirante que tendrá el canal puede ser determinado por la ecuación:

$$Ar^{2/3} = \frac{n \cdot Q}{S^{1/2}}$$

Donde:

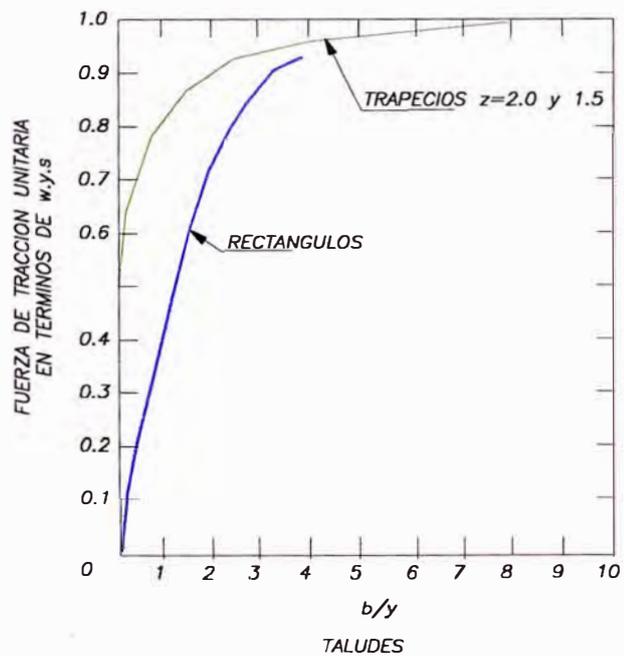
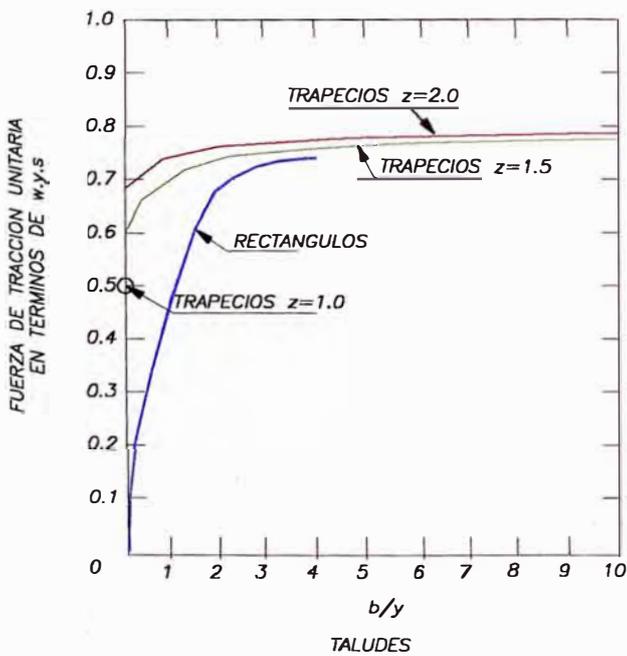
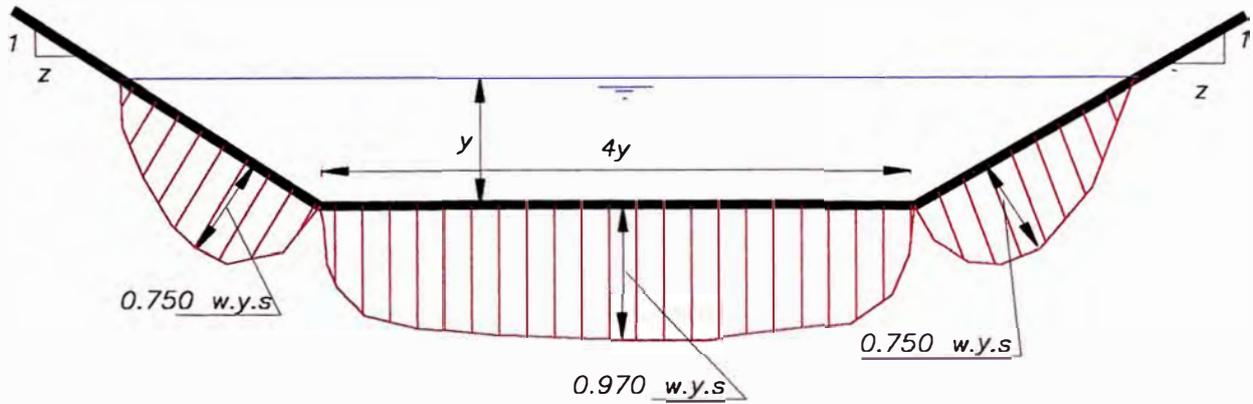
- A = área hidráulica (m²)
- r = radio hidráulico (m)
- n = coeficiente de Manning. (Ver las Tablas N° 4 y 5)
- n = 0,028 d₅₀^{1/6} (para d en m)
- d₅₀ = diámetro promedio de partículas de suelo (m)
- Q = gasto (m/s)
- S = pendiente de la superficie del agua

A diferencia de estanques en que el agua puede estar casi estática, en canales existen movimientos que provocan fuerzas de tracción en la superficie de la sección. La figura N° 4, permite determinar las fuerzas de tracción unitarias en canales rectangulares y trapezoidales con taludes 1,5:1 y 2:1. En canales con geomembranas de polímeros sin cubrir es conveniente considerar 1,5 m/s como velocidad máxima admisible, Hawkins, McCready 1984, [2]

Generalmente, cuando se usan geomembranas en canales, son cubiertas con una capa de suelo que tiene las funciones de soportar las fuerzas de tracción para evitar que dañen la membrana, principalmente en las uniones, que representan los sitios de mayor debilidad y además, para protegerla contra daños mecánicos, sin producir erosión de importancia.

En muchos casos, la protección a la membrana se realiza con concreto, pero se utiliza sin cobertura, a fin de abaratar costos. Esta condición significa exponer a las membranas a daños por tránsito de personas, ganado y por labores de mantenimiento, así como a vandalismo; en otros casos, la exposición directa acusa modificaciones en la membrana como pliegues o arrugas alterando las condiciones hidráulicas.

Figura N°4



DISTRIBUCION DE FUERZAS DE TRACCION EN CANALES TRAPEZOIDALES EN FUNCION DE $w.y.s$ (w =Peso volumetrico del agua, y =Tirante, s =pendiente, b =ancho de plantilla, z =relación de talud= H/V) (Chow, mencionado por Koerner, 1999) [3]

Tabla N° 4
Rugosidad Hidráulica K y Coeficientes de Manning
Resultados Experimental

| Geomembrana | Espesor (m) | K (m) | N | Textura | Flexibil. | Colocación (*) |
|------------------------------|-------------|-----------------------|--------|----------------------|-----------|----------------|
| PVC | 0,8 | $6,79 \times 10^{-4}$ | 0,0137 | Ligeramente Trenzada | Alta | Mala |
| PVC | 1,2 | $6,53 \times 10^{-4}$ | 0,0136 | Lisa | Media | Buena |
| HDPE | 1,0 | $6,04 \times 10^{-4}$ | 0,0135 | Lisa | Muy Baja | Mala |
| CSPE | 0,9 | $8,95 \times 10^{-4}$ | 0,0140 | Trenzada | Media | Regular |
| CSPE | 1,0 | $9,22 \times 10^{-4}$ | 0,0141 | Lisa | Media | Regular |
| EPDM | 1,14 | $10,7 \times 10^{-4}$ | 0,0143 | Ligeramente Trenzada | Alta | Media |
| EPDM | 1,0 | $18,0 \times 10^{-4}$ | 0,0150 | Punteada | Alta | Media |
| EPDM | 1,0 | $3,0 \times 10^{-4}$ | 0,0128 | Punteada | Alta | Media |
| Superficie de Apoyo Concreto | | 50×10^{-4} | 0,0168 | Aspera | | |

Fuente: Tecnología para Revestimiento de Canales, Ing Rodrigo Murillo Fernández (1993)

* La colocación se refiere a si la membrana quedo con sección uniforme a lo largo del canal

Tabla N° 5
Coefficientes de Manning de Materiales Usuales en Canales

| Tipo de Material | Coefficiente de Manning (n) |
|-------------------|-----------------------------|
| Tierra excavada | 0,022 |
| Concreto pulido | 0,011 |
| Concreto aplanado | 0,015 |
| Concreto lanzado | 0,019 |
| Asfalto liso | 0,013 |
| Asfalto rugoso | 0,016 |
| Roca uniforme | 0,035 |
| Roca irregular | 0,040 |
| Acero liso | 0,012 |

7.1 Selección de Geomembrana

Para su aplicación en canales es conveniente seleccionar los tipos de geomembrana mas adecuados a las condiciones del proyecto, teniendo en cuenta la economía. Para agua potable o agua para riego, se ha utilizado con mayor frecuencia PVC cubierto con suelo; recientemente se utilizan materiales como HDPE y el CSPE grado

potable. Las membranas de EPDM y Neopreno resultan por lo general prohibitivas por su alto costo.

En los últimos años, se ofrecen membranas de polietileno de baja densidad (LDPE), de polipropileno (PP), así como de aleaciones de vinil etileno (EVA) y elastómero de etileno, que también pueden ser utilizados.

Para agua potable, debe verificarse que la membrana no contenga metales pesados como el plomo.

Además de las necesidades mecánicas, químicas y de intemperismo del material, influye en su selección la disponibilidad, costo, forma de unión y de reparación, así como la experiencia previa del comportamiento de estos materiales.

7.2 Protección de la Geomembrana y Bordo Libre

- Selección de la cobertura de protección

Para protección mecánica de membranas en canales, es usual cubrirla con una capa de suelo. Por el flujo del agua, las probabilidades de que ocurra erosión es alto. Los objetivos que se persiguen al cubrirla son:

- . Resistir la erosión.
- . Mantener la membrana en posición.
- . Disipar las fuerzas de tracción.
- . Proteger de luz ultravioleta, ozono y viento a la membrana.
- . Proteger el recubrimiento de plantas, animales, vandalismo y trabajos de mantenimiento.

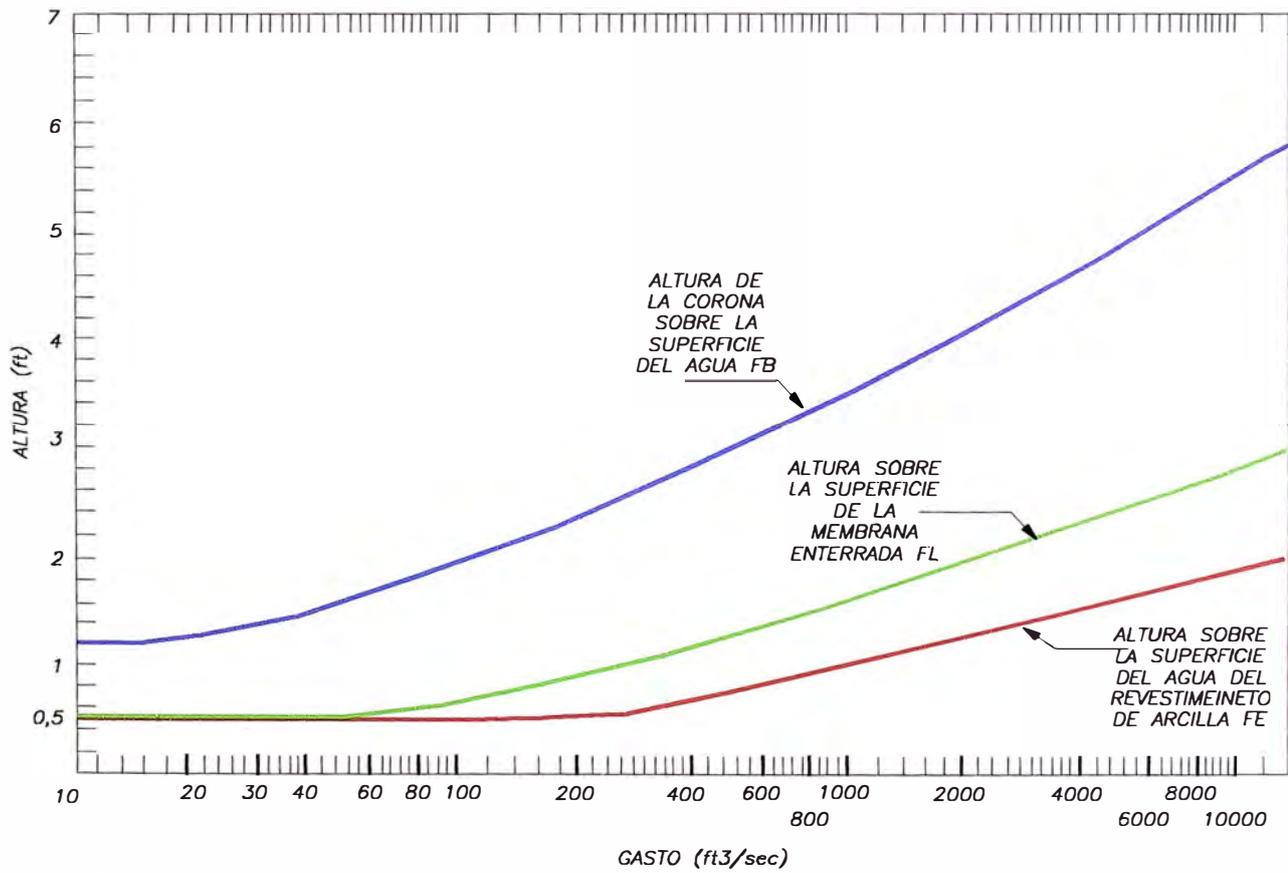
- Bordo libre

Debido a que el nivel del agua no permanece constante, debe seleccionarse un bordo libre (F_B), es decir, la diferencia entre el tirante normal del agua y la corona del talud y además, la diferencia entre el nivel del agua y el revestimiento. El USBR proporciona, de acuerdo a su experiencia, valores de estos desniveles (ver figura N° 5), en que distingue el desnivel libre entre la superficie del agua y el revestimiento, según sea de suelo compactado o

Figura N°5

BORDO LIBRE PARA CANALES

(Koerner, 1999)

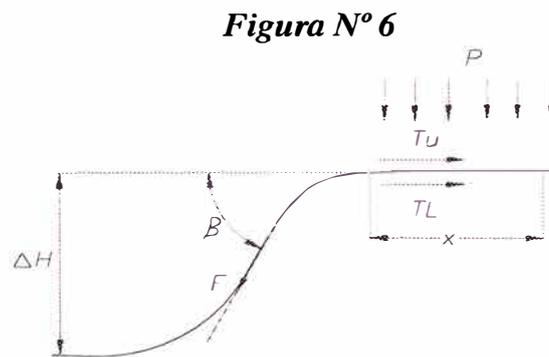


geomembrana (F_E o F_L), que consideran la posibilidad de que al aumentar el nivel del agua, ésta pueda socavar la trinchera de anclaje de las membranas.

7.3 Espesor de la Geomembrana

El espesor es una característica que debe ser revisada, ya que la resistencia del polímero tiene por lo general un intervalo reducido. La revisión se efectúa determinado la resistencia requerida ante las deformaciones del terreno debidas a asentamientos diferenciales, asentamiento de zonas de relleno, hundimientos puntuales en obras de arte o a tensiones por condiciones de colocación fuera de lo normal.

El modelo teórico se aprecia en la figura siguiente:



Donde

- ΔH = asentamiento que moviliza la tensión en la geomembrana.
- F = fuerza movilizada en la membrana.
- T_u = fuerza cortante sobre la membrana.
- T_L = fuerza cortante bajo la membrana.
- P = presión aplicada por el peso del agua.
- x = distancia en que se moviliza la deformación.
- β = ángulo del talud.

Considerando el equilibrio se tiene:

$$\sum F_x = 0$$

$$F \cos \beta = T_u + T_L$$

$$(\sigma_y \cdot t) \cos \beta = (P \cdot \tan \delta_u + \tan \delta_L) \cdot x$$

Donde

σ_v = esfuerzo de fluencia.

t = espesor de la membrana.

δ = ángulo de fricción suelo-geomembrana.

Entonces el espesor de la geomembrana (t) esta dado por:

$$t = P \cdot x \cdot (\tan\delta_u + \tan\delta_L) / (\cos\beta \cdot \sigma_y)$$

Los intervalos de las variables son:

P = 1500 a 15000 kg/m²

β = 0 a 45°

x = 1 a 7,5 cm

σ_y = 4,8 a 19,5x10⁵ kg/m²

δ_u = 0° para líquidos

δ_u = 20 a 40° para sólidos

δ_L = 20 a 40° para sólidos

En muchas ocasiones se colocan membranas con un espesor mayor al requerido por esfuerzos con el objeto de proporcionar una mayor durabilidad a la membrana, si ésta se encuentra sometida a efectos de intemperismos importantes. A este espesor adicional se le denomina "espesor de sacrificio".

7.4 Estabilidad de Taludes

El análisis de la estabilidad de taludes de canales se realiza de manera semejante a los cálculos normales de geotecnia, con algunas pequeñas variantes.

- Falla cilíndrica

Es usual utilizar el método sueco Fellenius, que consiste en considerar una falla rotacional en la que la superficie de falla es un cilindro cuya traza en el plano es un arco de circunferencia. El procedimiento implica proponer diversos cilindros al variar el origen del arco circular y su radio, evaluar las fuerzas que favorecen el desplazamiento y las que se oponen a éste. De su comparación se obtiene un

factor de seguridad (FS), que si resulta menor a uno, la falla ocurre, si es igual a 1 es un caso de equilibrio crítico inestable, y si resulta mayor que la unidad es estable. El procedimiento general establece dividir el talud analizando en cortes verticales o dovelas, para estimar las fuerzas actuantes y resistentes. Por lo general, se revisan tres casos de estabilidad: falla local, falla por el pie y falla por la base. Ver figura N° 7

La evaluación de equilibrio se realiza con la siguiente fórmula:

$$FS = \frac{\sum (W_i \cos \theta_i) \cdot \tan \phi + \Delta l_i \cdot c}{\sum (W_i \sin \theta_i) \cdot R} \cdot R$$

El efecto adicional que proporciona la membrana se considera modificando la fórmula de estabilidad:

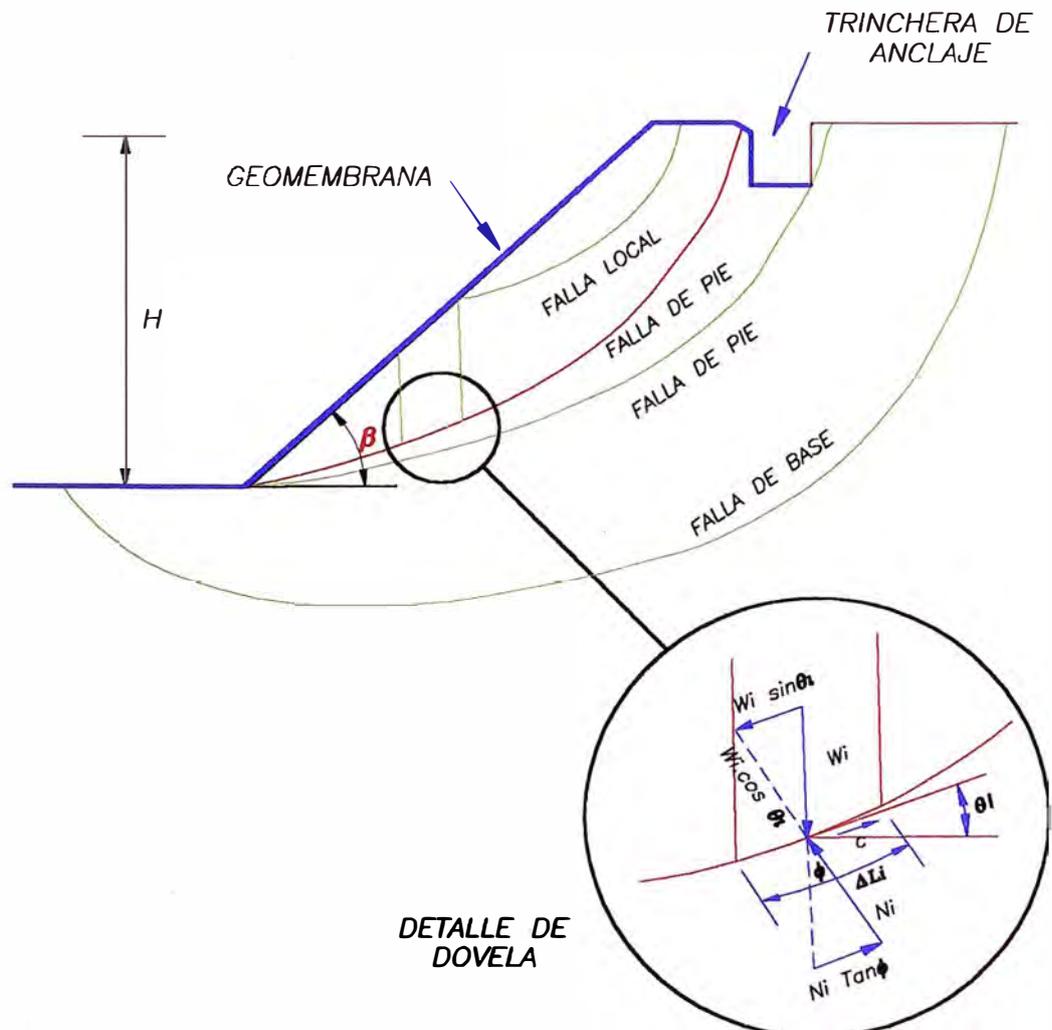
$$FS = \frac{\sum (W_i \cos \theta_i) \cdot \tan \phi + \Delta l_i \cdot c}{\sum (W_i \sin \theta_i) \cdot R} \cdot R + T_x$$

Donde:

- T = $\sigma_y \cdot t$ (fuerza resistente)
- σ_y = esfuerzo de fluencia de la membrana
- t = espesor de la membrana
- x = brazo de palanca (R como máximo)
- R = radio del círculo analizado
- W_i = peso de la dovela i
- θ_i = ángulo de la base de la dovela i con la horizontal
- c = cohesión del suelo
- ϕ = ángulo de fricción interna del suelo
- Δl_i = longitud de la base de la dovela

Si se utiliza un geotextil bajo la membrana, o abajo y sobre esta, se puede incluir su efecto en forma similar. Sin embargo, el solo efecto de la geomembrana no resulta significativo, por lo que en general no se considera y el análisis resulta un poco conservador.

Figura N°7

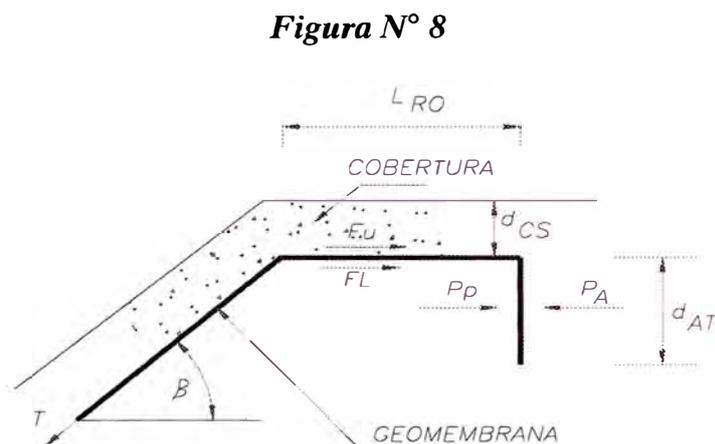


Circulos de falla de talud con geomembrana
(Koerner, 1999)

Como en cualquier talud, debe revisarse la estabilidad ante desplazamiento horizontal (traslación) si existen estratos de debilidad, así como la capacidad de carga del terreno cuando sean terraplenes.

7.5 Trinchera de Anclaje

Para asegurar una membrana en taludes, generalmente se excava una trinchera a corta distancia de la cabecera, en la que se coloca el extremo de la hoja y se cubre con el mismo producto de la excavación compactado en capas. El diseño se realiza en función de la longitud en que se desarrolla la fuerza de extracción (L_{RO}) y la profundidad de anclaje (d_{AT}), que se indican en la figura N° 8.



Distribución de presiones que actúan sobre la membrana en el Hombro del talud Diagrama general

Se muestra una cobertura que transmite una sobrecarga que cuando no hay cubierta de suelo, la sobrecarga es nula. Para el cálculo, se considera que la fuerza actuante T se desarrolla con la inclinación de talud. Esta fuerza moviliza la fricción en la distancia L_{RO} , la que puede alcanzar al anclaje vertical. Cuando ocurre esta condición, debe considerarse la fricción que se desarrolla en la geomenbrana en posición vertical debido al empuje del suelo, considerando el estado pasivo de Rankine. Las condiciones para obtener equilibrio horizontal son:

$$\sum F_i = 0$$

$$T \cos\beta (FS) + P_A = P_p + F_u + F_L$$

Donde:

- T = $\sigma_y t$ - fuerza actuante
t = espesor de membrana
 β = inclinación del talud

$$P_A = 0,5 \alpha d_{AT}^2 K_A + q d_{AT} K_A$$

- α = peso volumétrico del suelo
 d_{AT} = profundidad de anclaje de la membrana
 K_A = $\tan^2 (45^\circ - \delta/2)$ - coef. de empuje activo
 δ = ángulo de fricción suelo-geomembrana

$$P_p = 0,5 \alpha_c d_{AT}^2 K_p + q d_{AT} K_p$$

- K_p = $\tan^2 (45^\circ + \delta/2)$ - coef. de empuje pasivo

$$F_u = q \tan\delta (L_{RO}) - \text{fricción sobre la geomembrana}$$

- Q = $F_c \alpha_c$ - sobrecarga sobre la membrana
 d_c = espesor de la cobertura de suelo
 α_c = peso volumétrico de la cobertura
 L_{RO} = longitud en que se moviliza la fricción

$$F_L = (q + (0,5 T \sin\beta) / L_{RO}) \tan \delta (L_{RO}) - \text{fricción bajo la membrana}$$

- FS = factor de seguridad

El valor máximo de T esta limitado a la fluencia de la membrana (σ_y), no a su ruptura.

Sin cobertura de suelo, la longitud en que se moviliza la fricción pierde sentido y entonces es conveniente colocar la trinchera lo mas cerca posible del hombro. De

forma inversa, si el peso de la sobrecarga es importante, puede resultar innecesario anclar la membrana en una trinchera. En general, las recomendaciones de los fabricantes de anclar 60 cm la membrana a una distancia de 90 cm del hombro del talud, son muy conservadoras. En los casos en que se coloquen geotextiles, pueden realizarse análisis similares.

7.6 Pérdidas de Agua en Geomembrana

Aunque las membranas pueden considerarse impermeables, existirá un pequeño caudal por filtración, a través del espesor del revestimiento, que puede evaluarse como:

$$q = k A h / t$$

Donde:

- Q = gasto o caudal.
- K = K_g = Coeficiente de permeabilidad de la membrana.
- A = área expuesta al agua.
- h = tirante o carga hidráulica.
- t = espesor de la membrana.

Cabe destacar que este análisis no considera las pérdidas a través de agujero, picaduras o uniones mal selladas, cuya estimación puede realizarse con las herramientas matemáticas de la hidráulica, Murillo 1990,[4]

7.7 Necesidad de Drenaje

En las ocasiones en que se utilizan membranas expuestas al ambiente, se pueden generar gases bajo la barrera impermeable que pueden ocasionar su flotación. Ocurre principalmente en suelos que poseen un contenido importante de materia orgánica o están saturados con aguas residuales. También la presencia de niveles freáticos altos pueden ocasionar el levantamiento de la membrana por subpresión. En los dos casos, es posible diseñar una capa de drenaje para canales y embalses. Aún en membranas cubiertas, es conveniente revisar la posibilidad de levantamiento del revestimiento por gases o subpresión.

En todos los casos en que exista un tirante de agua mayor de 2,0 m, es necesario colocar un sistema de subdrenaje.

8. VENTAJAS

Rapidez en la instalación

En geomembranas los rendimientos llegan hasta 2,000 m²/día instalados por una cuadrilla de trabajo compuesto por 8 obreros (no calificados) y 2 técnicos instaladores, CIDELSA, [5]

Mayor eficiencia hidráulica

Ofrece una mayor eficiencia hidráulica ya que existe un aumento en la velocidad de conducción debido a que la fricción disminuye (superficie lisa). Este aumento esta en el orden de 5 a 12%, Ing Mansen V, [6]. Así mismo se reduce las pérdidas de carga.

El canal Vizcacha en Tacna, fue revestido con geomembrana de PVC de 1 mm de espesor y se dejó expuesta. La consecuencia inmediata por tener superficie lisa es aumentar su eficiencia hidráulica al disminuir considerablemente la pérdida de carga.

Filtraciones mínimas

Las pérdidas por filtraciones son reducidas considerablemente comparadas con otros materiales como el concreto, la arcilla, la bentonita, etc.

Soporta la fatiga térmica

En zonas donde existe un alto gradiente de temperatura, los materiales se dilatan y contraen constantemente cuando la temperatura pasa de una alta a una baja temperatura durante el día. Las geomembranas asumen los esfuerzos térmicos de esa índole

Gran flexibilidad y buena elongación

Cuando la geomembrana es instalada en suelos malos y/o blandos, estos sufren asentamientos (diferenciales, localizados, hundimientos, etc). La geomembrana cuenta con valores altos de elongación que le permite adaptarse a las diferentes formas que ofrece el terreno e ir acompañado sus deformaciones.

Ensayos normalizados para control de calidad

El recubrimiento sintético y los anclajes deben cumplir con los requisitos de la siguiente lista de normas y códigos:

| | | |
|------------|---|--------------------------|
| ASTM D792 | : | Calibre |
| ASTM D882 | : | Resistencia a la tensión |
| ASTM D882 | : | Elongación |
| ASTM D1922 | : | Rasgado propagación |
| ASTM D1204 | : | Estabilidad dimensional |
| ASTM D3083 | : | Resistencia al corte |
| ASTM D413 | : | Resistencia al despege |

No necesita sobre-excavación

Comúnmente los revestimientos a base de materiales de préstamo requieren ejecutar una sobre excavación, debido a que su espesor final varía en un intervalo de 20 a 30 cm. Este material hay que apilarlo y eliminarlo; y luego hay que trasladar el material de préstamo de la cantera elegida y conformar la superficie con el espesor de diseño.

La geomembrana se instala una vez que se ha realizado la conformación de los taludes y piso, después de su compactación; sin necesidad de sobre excavarla previamente.

Traslado de material nulo

El material que se va a utilizar (de préstamo) habrá que trasladarlo desde la cantera elegida, necesitando los volquetes transitar el número de veces que se necesite hasta trasladar el volumen deseado a pie de obra.

En el caso de la geomembrana no es necesario realizar esta partida.

Mayor rentabilidad

Son recuperables

El sistema de sellado químico en frío permite que la geomembranas sean fácilmente recuperables, pudiendo rehacerse o parchar.

Menor mantenimiento

El mantenimiento de los diferentes revestimientos que existen representan un costo, que para el caso del uso de geomembranas es mínimo, pues están orientados al uso de sellado químico en frío.

9. ALGUNOS CASOS EN EL PAÍS

9.1 Canales Revestidos con Geosintéticos

En nuestro país la introducción de los geosintéticos y sus aplicaciones en la construcción vienen realizándose desde hace más de 30 años.

Las geomembranas aparecen en la ingeniería civil como una solución geotécnica para la impermeabilización de estructuras hidráulicas, la aplicación en el revestimiento de canales sobre todo en zonas donde era imposible lograr una total impermeabilización con el uso del concreto, debido a los altos gradientes de temperatura (zona sur del país), inicialmente se desarrolló por el interés de dar soluciones prácticas y eficientes, carentes de una sustentación técnica, lo que llevó a fallas en los diseños y colapso de las obras; sin embargo con el rápido avance de estos productos, la normatividad en los diseños se han ido mejorando a nivel mundial, y en nuestro país se ha venido adoptando diseños y normas extranjeras.

En los últimos años (1998) se ha elaborado por el Comité Técnico Permanente de Geotecnia, las Normas Peruanas para Geosintéticos (NTP) basadas en las normas ASTM.

De esta manera en el Perú, la construcción de canales con revestimiento de geosintéticos con fines de riego y uso poblacional ha ido evolucionando favorablemente pudiendo mencionarse algunos casos:

- Canal Pañe – Sumbay, Arequipa, ejecutada en 1991; contempla un revestimiento de geomembrana de PVC de 1 mm de espesor expuesta, que ha resistido las fatigas térmicas del orden de 10° a 25° C y su consecuente intemperismo.
- Canal la Joya, Arequipa, revestimiento de geomembrana de PVC de 1 mm de espesor, expuesta.
- Canal Tambojaracocha, Huancavelica - Ica.
- Canal Vizcachas, Tacna, revestido con geomembrana de PVC de 1 mm de espesor, expuesta.

Canal Pasto Grande, Moquegua, revestido con geomembrana PVC de 1,2 mm de espesor sobre la mampostería y concreto existente, protegida por un revestimiento de concreto construido con losas prefabricadas, fuente: Expediente Técnico definitivo: Amsa Consultores, [7]

- Canal Humalso, Moquegua, revestido con una membrana impermeabilizante HDT de 1 mm de espesor, sobre geotextil de 200 gr/m² colgado sobre la mampostería y debajo del concreto colocado como revestimiento final y protección de la geomembrana. Fuente: Expediente Técnico definitivo: Cosapi E.M.A, [8]
- Canal Chen Chen - Jaguay (Moquegua); un primer tramo de 5,44 kms ejecutado con revestimiento de geomembrana HDPE de 0,75 mm de espesor cubierta con una losa de concreto con fibra de acero de 100 mm; sobre un geotextil de 175 gr/m²; y un segundo tramo en ejecución con revestimiento de geomembrana PVC de 1 mm, cubierta con una losa de concreto con fibra de acero de 75 mm sobre un geotextil de 175 gr/m². Fuente: Expediente Técnico definitivo: PyV-HC & Asociados, [9]
- Canal Apacheta - Choccoro, Ayacucho, con un tramo rehabilitado con geomembrana.
- Canal Chiara - Chontaca, Ayacucho, con un tramo rehabilitado

9.2 Canales con Problemas

Se han presentado problemas en los casos mostrados a continuación al usar geosintéticos en el revestimiento de canales, algunos problemas se han presentado por deficiencias en el diseño, fallas constructivas en otros casos por mala colocación de los geosintéticos.

- **Canal Pasto Grande**, con las siguientes características:

| | | |
|-----------------|------------------|--|
| Ubicación: | Sector | : Pasto Grande |
| | Distrito | : Carumas |
| | Provincia | : Mariscal Nieto |
| | Departamento | : Moquegua |
| | Coordenadas | : 16°45' y 17°15' Latitud Sur 70°10' y 70°30' Longitud Oeste |
| | Altitud | : 4500 msnm |
| Características | Longitud total | : 39 km |
| | Caudal | : 9 a 10 m ³ /s |
| Tipos de | | |
| Revestimiento | 0+280 al 11+680 | : Mampostería de piedra |
| | 12+140 al 39+000 | : Concreto revestido que incluye la utilización de geomembrana y geotextil utilizada con fines impermeabilizante |

- **Canal Humalso**, con las siguientes características:

| | | |
|------------------------|----------------|--|
| Ubicación | Sector | : Humalso |
| | Distrito | : Carumas |
| | Provincia | : Mariscal Nieto |
| | Departamento | : Moquegua |
| | Coordenadas | : 16°10' y 17°20' Latitud Sur 71°10' y 70°20' Longitud Oeste |
| Características | Altitud | : 4100 msnm |
| | Longitud total | : 48.5 km |
| | Caudal | : 8 m ³ /s |
| Tipos de Revestimiento | | : geomembrana de polietileno texturada de alta densidad (HDT), sobre geotextil de 200 gr/m ² , cubierta por una losa de concreto de 10 cm de espesor con un f'c=21Mpa, vaciado "In Situ". |

- **Canal Uchusuma (remodelación)**, con las siguientes características:

| | | |
|------------------------|----------------|---|
| Ubicación | Anexo | : Alto Perú |
| | Distrito | : Tacna y Palca |
| | Provincia | : Tacna |
| | Departamento | : Tacna |
| | Altitud | : 4000 y 4400 msnm |
| Características | Longitud total | : 49,4 km |
| | Caudal | : 4,50 m ³ /s |
| Tipos de Revestimiento | | : Geomembrana de polipropileno reforzado de 1,2mm además de una losa de concreto de 0,05 m de espesor apoyada sobre el fondo del canal. |

PARTE II

CASO: “REHABILITACIÓN CANAL CHEN CHEN - SAN ANTONIO”

10. INFORMACIÓN BÁSICA DEL CANAL CHEN CHEN - SAN ANTONIO

10.1 Respecto al Canal

El Canal Chen Chen - San Antonio de 5,44 Km de longitud es una parte del Proyecto Canal Moquegua - Ilo para el servicio de riego del Proyecto Pasto Grande de aproximadamente 11000 Ha, que comprende las siguientes áreas de riego:

- San Antonio con 800 Ha,
- Rinconada - Jaguay con 3500 Ha,
- Hospicio con 2000 Ha,
- Lomas de Ilo con 4700 Ha;
- Nuevos sectores de riego que se suman al existente de unas 2000 Ha en el valle de Moquegua

El canal se inicia en una progresiva arbitraria (7+360) y termina en la progresiva 12+800; diseñada para una capacidad de 5 m³/s para conducir los escurrimientos de agua de los tributarios del río Moquegua más los que provienen del Embalse Pasto Grande de 170 MMC, en la lámina N°1 se muestra la planta general.

El Canal Chen Chen - San Antonio forma parte del Proyecto Chen Chen - Jaguay de 22,5 Km; fue formulado por el Proyecto Especial Pasto Grande en 1995, fecha en que se elaboró el Expediente Técnico para su construcción.

El tramo Chen Chen - San Antonio se ejecutó el año 1998 a un costo de 3,8 millones de dólares, entrando en operación en Febrero del año 1999. En Junio del mismo año, a escasos 4 meses, se detectó asentamientos y fisuras en el revestimiento, así como en los rellenos de las juntas, que no fueron reparados hasta la fecha, produciéndose el colapso del canal en varios tramos importantes, tanto en secciones con revestimiento de concreto sobre el terreno, como en secciones con revestimiento de concreto sobre geotextil y geomembrana.

10.2 Ubicación y Vías de Acceso

El canal Chen Chen - San Antonio se encuentra ubicado en el departamento de Moquegua, Provincia de Mariscal Nieto, sub-región Moquegua, a una altitud entre

1,550 y 1,485 msnm; situado entre los 17°14'30" y 17°19' de latitud sur y 70°54'30" y 70°56'30" de longitud Oeste.

Se accede al canal desde la Carretera Binacional Ilo - Desaguadero por la Vía de Evitamiento de Moquegua. El inicio del canal se encuentra al pie de la carretera afirmada Moquegua - Toquepala, que se aproxima en varios puntos, existiendo varias trochas carrozables.

10.3 Características del Canal

El canal Chen Chen - San Antonio de sección trapezoidal de 5,44 Km y 5 m³/s, inicia su recorrido en una primera quebrada que la atraviesa con una sección rectangular cubierta de concreto armado; luego recorre laderas suaves en corte con sección trapezoidal; atraviesa una gran quebrada con un sifón invertido de 600 m de longitud construido con tuberías; continúa un pequeño tramo en corte en ladera con una sección trapezoidal con doble revestimiento (de concreto y geosintéticos); atraviesa un cerro con un túnel corto de 173 m, de sección baúl revestido en el fondo y hastiales; continúa con una sección trapezoidal, atravesando las quebradas con acueductos rectangulares; continúa en corte en ladera con doble revestimiento hasta el km 12+800, atravesando la carretera Moquegua - Toquepala con un conducto cubierto, llegando al final con la sección trapezoidal hasta la toma lateral para riego del sector San Antonio.

Las principales características son:

| | |
|--|---|
| Geometría del canal trapezoidal | : Base menor = 1,10 m Base mayor = 4,10 m Altura = 1,50 m |
| Geometría del conducto cubierto, acueducto y túnel | : Base = 2,50 m : Altura = 1,50 m |
| Tipos de revestimiento del canal | |
| Entre progresivas: 7+360-9+425 (Sin descontar obras de arte) | : Concreto simple 17,5 Mpa, e = 75 mm. |
| Entre progresivas: 7+425-12+800 (Sin descontar obras de arte) | : Concreto simple 17,5 Mpa, e = 75 mm con revestimiento de fibra de acero, sobre una manta de polietileno de 1mm y un geotextil |

- Tipo de revestimiento en acueducto, túneles, canoas, conductos cubiertos : Concreto de 21 Mpa, reforzado
- Rugosidad del concreto : $n = 0,014$
- Juntas de contracción
- . Separación : Cada 3 m
 - . Material sellante : Dinatred
- Juntas de dilatación
- . Separación : Cada 21 m
 - . Material sellante : Poliestireno expandido (tecnoport) y dinatred

En las láminas N°s 02 y 03 se presenta las secciones, tipo 1 y 2 respectivamente. En la Tabla N° 6 se presentan las estructuras que componen el canal.

Tabla N° 6
Estructuras Principales que Forman el Canal

| Estructura | Progresivas | | | Longitud |
|--|-------------|---|-----------|----------|
| | Km | a | Km | |
| Conducto Cubierto N°1 | 7+360 | | 7+480 | 120 |
| Canal Abierto Sección Trapezoidal | 7+480 | | 7+592 | 112 |
| Conducto Cubierto N°2 | 7+592 | | 7+605 | 13 |
| Canal Abierto Sección Trapezoidal | 7+605 | | 8+791 | 1186 |
| Sifón de Fierro Dúctil | 8+791 | | 9+425 | 634 |
| Canal con Revestimiento de fibra de Acero e Impermeabilizado con Malla Geoflex | 9+425 | | 10+018,50 | 593,50 |
| Túnel Cerro Blanco | 10+018,50 | | 10+191,50 | 173 |
| Canal con Revestimiento de fibra de Acero e Impermeabilizado con Malla Geoflex | 10+191,50 | | 10+304,50 | 113 |
| Acueducto N°1 Sección Rectangular | 10+304,50 | | 10+373 | 68,50 |
| Canal con Revestimiento de fibra de Acero e Impermeabilizado con Malla Geoflex | 10+373 | | 10+511 | 138 |
| Acueducto N°2 Sección Rectangular | 10+511 | | 10+595,30 | 84,30 |
| Canal con Revestimiento de fibra de Acero e Impermeabilizado con Malla Geoflex | 10+595,30 | | 11+883,15 | 1287,85 |
| Conducto Cubierto N°3 | 11+883,15 | | 12+119 | 235,85 |
| Canal con Revestimiento de fibra de Acero e Impermeabilizado con Malla Geoflex | 12+119 | | 12+602,50 | 483,50 |
| Conducto Cubierto N°4 | 12+602,50 | | 12+614,70 | 12,20 |
| Canal con Revestimiento de fibra de Acero e Impermeabilizado con Malla Geoflex | 12+614,70 | | 12+800 | 185,30 |

10.4 Climatología

El promedio anual de lluvias en Moquegua se estima en 16 mm. El régimen pluvial es netamente de verano; las lluvias se inician al finalizar la primavera aumentando su intensidad conforme avanza el verano, siendo mayores entre febrero y marzo, concluyendo en abril. En los meses de junio a agosto la precipitación prácticamente es nula; este cuadro se ha modificado en los últimos años con la presencia del fenómeno "El Niño".

La temperatura promedio anual alcanza los 17,5 °C. Según la estación climatológica de Moquegua las temperaturas presentan un régimen térmico con dos épocas bien marcadas durante el año; la temperatura promedio es mayor en verano (enero, febrero y marzo) alcanzando aproximadamente 21 °C y menor en invierno, con un valor más bajo de alrededor a 17 °C en los meses de junio, julio y agosto. Las temperaturas mensuales máxima y mínima extremas, registradas en la estación Moquegua, alcanzan valores de 28,7 °C en el mes de enero de 1966 y 7,5 °C en julio de 1971.

En la estación Moquegua se registra 52% de humedad relativa promedio anual. La evaporación promedio alcanza los 2,323 mm al año, registrándose los mayores valores entre mayo a diciembre (275,5 mm en octubre), los menores valores ocurren entre enero y abril (175 mm en abril).

10.5 Hidrología

El canal atraviesa quebradas secas pequeñas, medianas y grandes, por donde escurre ocasionalmente tirantes pequeños de agua; sin embargo, la geomorfología de los cauces y lomadas indican que en alguna época muy antigua, los cauces se formaron con escurrimientos importantes de agua que han dejado esa geomorfología.

Los caudales máximos instantáneos determinados en 1995 para las cuatro quebradas de mayor magnitud que atraviesa el canal son 1,41, 1,38, 3,44 y 18,83 m³/s.

10.6 Geología y Geotecnia

Geología general

El marco geológico en el que se implanta el Canal Chen Chen - San Antonio es el siguiente:

La geomorfología de este espacio involucró geformas suaves a moderadas, casi desprovistos de un relieve de rango muy accidentado. El eje del canal cruza hasta cuatro depresiones de importancia (quebradas secas, amplias, no muy profundas) siendo la mayor el tramo donde se ubica el sifón.

Los elementos litológicos que conforman el cuerpo de los "cerros" y relieves subyacentes corresponden fundamentalmente a depósitos granulares aluviales antiguos (aluvionales) y rocas sedimentarias del tipo areniscas con alternancias de niveles de limolitas compactas, de gran consistencia en estado seco, conocido como "Moro - Moro" por los lugareños (limolitas).

Los depósitos granulares (aluviales - aluvionales) están compuestos de gravas, cantos rodados de diversos tamaños y formas, con variaciones en el contenido de finos. Los fragmentos rocosos son preferentemente de naturaleza volcánica. Los fondos de las quebradas secas contienen también sedimentos de torrentes antiguos y/o recientes.

Los depósitos granulares influyen en el trazo del canal entre las progresivas 7+360 a 10+420, 11+900 a 12+200 y 12+580 a 12+770, presentando variaciones de consistencia desde sueltos a muy consistentes y moderadamente cementados. El resto de los sub-tramos está ocupado por los paquetes de areniscas de grano medio a fino y limolitas en estado seco de mediana a baja resistencia.

El ámbito de la zona forma parte de un ambiente árido, de temperaturas relativamente altas e importante incidencia de la acción eólica.

- **Geología local (ver lámina GE-1)**

En el primer tramo del canal (7+360 a 8+791) predominan los depósitos aluviales antiguos (aluvionales) de composición granular que no siempre mantienen una uniformidad granulométrica, grado de meteorización, compacidad y/o cementación de sus elementos. Se ha encontrado y zonificado dentro del depósito aluvional, cuerpos irregulares menores discontinuados de materiales limosos y arenosos compactos inmersos en los aluvionales consolidados, constituyendo cambios bruscos locales de material respecto al dominio granular de los aluvionales. También se debe mencionar la presencia errática de elementos volcánicos tobáceos con un avanzado grado de meteorización, como es el caso de

los tramos 7+627 - 7+673, y en torno al Km 8+170, que tienen propensión a la generación de suelos residuales con material fino.

Los sectores deteriorados ocurren en los sub-tramos de influencia de los suelos limo arenosos y/o donde se han presentado elementos volcánicos muy alterados. A continuación se presenta una breve descripción zonificada del canal Chen Chen - San Antonio:

| Tramo | Descripción |
|-------------------------|---|
| 7+348,6 - 7+480 | Conducto cubierto 1. |
| 7+480 - 7+592 | Aluvionales gravas, cantos y arenas con bajo contenido de finos suelos inactivos |
| 7+592 - 7+605 | Conducto cubierto 2 |
| 7+592 - 7+670,12 | Aluvionales gruesos conteniendo elementos volcánicos alterados, presentan actividad en contacto con el agua |
| 7+670,12 – 7+792 | Aluvionales con granulometría media y moderado contenido de finos, tienden a un suelo normal. |
| 7+792 - 7+985 | Influencia de un depósito remanente de limolitas y areniscas compactas interstratificadas, contiene un depósito aluvial subrayacente. El material es activo que ha dañado gran parte del canal. |
| 7+985 - 8+053 | Aluvionales gruesos con elementos volcánicos semialterados |
| 8+053 - 8+226 | Aluvionales de granulometría gruesa, contiene remanente de cuerpos de limolitas y areniscas |
| 8+226 - 8+277 | Aluvionales de granulometría de diámetro medio. Suelos con débil actividad. |
| 8+277 - 8+318 | Aluvionales de granulometría de diámetro medio, contiene un cuerpo errático de limolitas. |
| 8+318 – 8+462 | Aluvionales de granulometría de diámetro medio, desprovisto de concentraciones de limolitas. |
| 8+462 - 8+494 | Influencia de suelos limolítico - areniscas compacta. Suelos activos en contacto con el agua. |
| 8+494 - 8+567 | Depósitos aluvional de granulometría de diámetro medio, contiene aislados lentes de areniscas limolitas. |
| 8+567 - 8+575 | Presencia de un remanente de areniscas limolíticas aparentemente activos en presencia de agua. |
| 8+575 - 8+718 | Depósito aluvional gravas, arenas y algo limo. |
| 8+718 - 8+735 | Depósito aluvional de granulometría media. Presenta un incremento zonificado de limos arenosos. |
| 8+735 - 8+791 | Aluvionales de granulometría media |
| 8+791 - 9+425 | Cruce sifón. |
| 9+425 - 10+018 | Aluvionales (gravas, arenas, limos) de granulometría media más compacto y medianamente cementado |
| 10+018 - 10+191,50 | Túnel Cerro Blanco |
| 10+191,50 - 10+311 | Aluvional de granulometría media, mayor compacidad y medianamente cementada. |
| 10+311 - 10+376 | Acueducto 1. |
| 10+376 - 10+440 | Aluvial de granulometría media, que aflora en la base del talud de corte. |
| 10+440 - 10+511 | Areniscas y limolitas, color beige de baja resistencia. |
| 10+511 - 10+595,30 | Acueducto 2. |
| 10+595,30- 11+885,97 | Capas de areniscas y limolitas color beige fracturados y de baja resistencia. |

| | |
|--------------------|--|
| 11+883,15 - 12+119 | Conducto cubierto 3. |
| 12+119 - 12+200 | Aluviales (gravas, arenas) de granulometría media con bajo contenido de finos. |
| 12+200 - 12+570 | Capas areniscas y limolitas, color beige fracturadas |
| 12+570 - 12+800 | Aluviales con mediano contenido de finos. Alternan concentraciones de limos. |

- Geotecnia

La evaluación geotécnica a lo largo del trazo del canal Chen Chen - San Antonio, ha sido extraído del expediente técnico de 1995.

Se consigna la apertura de 63 calicatas a lo largo del trazo del canal, aproximadamente cada 500 m (en atención a las exigencias de los términos de referencia), y en cada una de ellas la toma de muestras.

Del perfil estratigráfico de toda la línea del trazo, se describe que "desde la progresiva 7+360 a la km 12+000, existe un material preponderantemente gravoso GP, GM, GW con algunas trazas de ML".

A partir del análisis de las muestras de las calicatas en las progresivas del trazo 7+370, 7+870, 8+370, 8+850, 9+650, 9+980, 10+250, 10+480, 10+630, 11+030, 11+510 y 12+125, se identificó la existencia del material Moro Moro (limolitas), entre las progresivas 9+425 al 11+800, material que tiene la particularidad de disgregarse y perder resistencia con el contacto del agua. Sus características son las siguiente:

Peso específico de sólidos : entre 2,47 a 2,66

Porosidad : 24 al 29,8 %

Densidad seca : 1,9 Tn/m³

Ensayo de corte directo : En estado seco

Resistencia al esfuerzo cortante

Angulo de fricción interna (ϕ) = 79,5°

Cohesión (C) = 1,86 Kg/m²

En estado saturado

Resistencia al esfuerzo cortante

Angulo de fricción interna (ϕ) = 25°

Cohesión (C) = desaparece

Ensayo de consolidación unidimensional

Se registra ensayos hasta una carga de $3,2 \text{ Kg/cm}^2$. Saturando la muestra al aplicar una carga de $0,4 \text{ Kg/cm}^2$, el proceso de deformación es normal; no existe deformación del tipo colapsable, debido a la baja porosidad del material que es del orden de 24%.

Ensayos químicos

En algunas progresivas los resultados muestran trazas de yeso y sales; los porcentajes son aceptables y no revisten mayor trascendencia respecto a su disolución con el agua. En otras progresivas aparecen altos contenidos de sales, donde se recomienda para mayor seguridad un tratamiento de impermeabilización.

El contenido de sales en los materiales gruesos de la cantera de la quebrada Montalvo es poco significativo, por lo que no se requiere recomendar ningún tipo de tratamiento o lavado.

10.7 Sismicidad

Dada la historia sísmica de la región, los proyectos hidráulicos de significativa amplitud e importancia estudiados en el sur del Perú, disponen estudios básicos de Riesgo Sísmico donde se evalúa el peligro sísmico y se ofrece los valores del coeficiente sísmico para el diseño estructural para cimentaciones en roca firme y/o suelos.

Dentro de esos estudios resalta el de la "Presa Humalso y Obras Conexas", preparado en 1994.[10]

Para el estudio de la distribución espacial de los sismos, dentro de los alcances de la evaluación de la sismicidad histórica del área de influencia del proyecto de la presa Humalso, se preparó un perfil transversal del eje perpendicular a la costa pasando por el área de la presa, que abarca en proyección una franja de terreno de 100 Km a cada lado de dicho eje sobre el cual se han cartografiado las diferentes profundidades focales de todos los sismos ocurridos en el periodo 1963-1989, con magnitudes en función de las ondas del cuerpo.

El diseño del canal Chen Chen - San Antonio se basó, con las reservas del caso, en las conclusiones del estudio de riesgo sísmico de la presa Humalso. Para adoptar esos resultados, se consideró la magnitud del proyecto Humalso y la dimensión y forma de su estructura en relación con la magnitud y dimensión del Canal Chen Chen - Jaguay, en lo que se refiere a los periodos de retorno que podrían adoptarse para el estudio del canal y la magnitud de los eventos sísmicos a considerar para la zona de subducción.

Conforme se menciona en el estudio, el efecto de la atenuación de los efectos epicentrales al lugar de interés han sido poco estudiado en el país, aunque se dispone de una ley de atenuación (Casaverde y Vargas, 1980) para zonas de subducción en el Perú; asimismo, para cuantificar los efectos de los eventos sísmicos en un lugar dado, desde su origen, se consideró los valores de la ampliación estructural, reducciones por ductibilidad, además del amortiguamiento y los respectivos coeficientes de seguridad que posteriormente se aplicaron en los diseños.

Como conclusión, se adoptó el valor de $a = 0,20$ g para el diseño sismo-resistente de las obras del canal Chen Chen - Jaguay (1995) cuyo primer tramo es el canal Chen Chen - San Antonio.

11. DETERIORO Y COLAPSO DEL CANAL

Hasta 1995 las obras del canal Moquegua - Ilo se habían construido hasta la zona denominada Chen Chen, lugar donde el PEPG ha construido la nueva planta de tratamiento de agua potable de Moquegua.

En el año 1997, el PEPG decidió continuar la ejecución del canal Moquegua - Ilo preparando el expediente técnico para la construcción de la obra que se materializó en el año 1998.

El objeto del canal fue dotar de agua al Sector de Riego San Antonio de unas 800 Ha, tierras agrícolas recientemente adjudicadas a un grupo privado de agricultores, quienes utilizarían unos 400 l/s de agua del canal.

Prácticamente desde la puesta en operación del Canal Chen Chen - San Antonio en febrero de 1999, el PEPG observó la presencia de fisuras en el revestimiento de concreto y en el material de las juntas; en el Informe de la Dirección de Obras del PEPG del 25 de junio de 1999, a escasos 4 meses de la recepción de la obra, consta que el deterioro comprometía unos 12 paños con una longitud total de 30 m (longitud promedio del paño o losa 2,5 m); posteriormente el deterioro en el material de las juntas y las fisuras en el revestimiento se agudizó, y no se aplicó las medidas correctivas señaladas en el Manual de Operación y Mantenimiento preparado en 1995.

En Marzo del 2001, el PEPG efectuó el último diagnóstico donde señala el creciente deterioro, inicialmente manifestado en fisuras, que al no ser reparadas de inmediato han permitido el ingreso del agua del canal al sub-suelo de fundación, cada vez en forma descontrolada, acción inesperada que ha sucedido incluso en tramos con revestimiento especial de geosintéticos bajo la losa de revestimiento, lo que acentuó cada vez más el deterioro en el canal que de 12 losas con 30 m de deterioro inicial, en Marzo del 2001 aparecen 9 tramos de canal deteriorado y colapsado que suman más de 600 m.

A dos años y medio del término de esa obra, se indica en el diagnóstico del PEPG de marzo del 2001, la magnitud de los daños se ha extendido significativamente; el agua fluyó libremente por el subsuelo, alterando cada vez más las condiciones de la cimentación, provocando la inestabilidad y completo deterioro de las estructuras; en algunos casos ha puesto de manifiesto la presencia de "limos expansivos" de grado menores a medio, que aumentaron el deterioro en 2 de los 9 tramos colapsados.

En esa situación caótica, para atender las necesidades de agua de los terrenos adjudicados a la Asociación de Regantes de San Antonio, el PEPG instaló en los tramos dañados una línea de tubería PVC de 12" dentro de la caja del canal; la urgente rehabilitación del canal para que cumpla su función motivo al PEPG a extraer la tubería de la caja, e instalarla lateralmente entre la progresiva 7+360 a la entrada al sifón (8+791) una tubería, conducto con el cual se abastece actualmente a San Antonio.

11.1 Inventario de Daños

- Inventario de daños a Junio de 1999

A sólo 4,5 meses de la recepción de las obras del canal Chen Chen - San Antonio, la Dirección de Obras del PEPG efectuó el primer inventario de daños, donde se dio a conocer los siguientes daños:

| Progresiva | Descripción de los Daños |
|------------|--|
| 7+800 | 2 Juntas de dinatred dañadas. |
| 7+830 | 1 Paño talud izquierdo con fisura longitudinal |
| 7+834 | 2 Paños levantados - talud derecho (2 cm desnivel) |
| 7+880 | 1 Paño levantado - talud izquierdo y derecho (1 cm desnivel) |
| 7+980 | 1 Paño levantado - talud derecho (1 cm desnivel) |
| 8+131 | 1 Paño levantado - talud izquierdo y derecho (1 cm desnivel) |
| 8+220 | 1 Paño fisura longitudinal - talud izquierdo |
| 8+462 | 1 Paño levantado - talud izquierdo (1 cm desnivel) |
| 12+800 | 2 Paños levantados - talud izquierdo (1 cm desnivel) 1 Paño levantado - talud derecho (1 cm desnivel) |

A esa fecha los daños físicos eran relativamente ligeros; sin embargo, el hecho que en la progresiva 7+800 el material de la junta estaba dañada, habría posibilitado un ingreso importante de agua que ha producido el mayor tramo deteriorado del canal de 210,84 m.

A esa fecha y con esos daños aparentemente menores se conducía agua por el canal, agua que ingresaba directamente al subsuelo por las 8 losas "levantadas" en el primer tramo revestido con concreto sin geomembrana, alterando cada vez más las condiciones geotécnicas de la cimentación de la obra, como se puede apreciar en el inventario de marzo del 2001, que se explica enseguida.

Entre junio de 1999 y marzo del 2001, se han efectuado varios inventarios de daños por el PEPG, en lo que se concluye que el deterioro se incrementa, y donde

se detecta que el colapso de varios tramos del canal, con signos claros de deterioro aún en el tramo con cobertura de geosintéticos y concreto con fibra de acero, que llevan a la conclusión que la construcción fue deficiente.

- **Inventario de daños a Marzo del 2001**

En el mes de marzo del presente año se realizó un nuevo inventario de daños con el objeto de que la alta Dirección del PEPG gestione su inmediata rehabilitación.

El inventario muestra tramos con daños más severos, donde el canal ha colapsado totalmente, tramos que no deben conducir agua, porque el canal se está destruyendo aún más; y daños menos severos, caso de fisuras en la base y juntas deterioradas en la caja del canal, cuya reparación es de menor costo, aunque son generadores de una mayor destrucción del canal. Debe recordarse que los "daños menos severos" (aberturas en las juntas y fisuras) produjeron con el transcurrir del tiempo los daños más severos.

Se ha determinado tres tipos de deterioro severo:

- Tipo 1 : Se denominan a los tramos de canal colapsado donde no hay geosintéticos, ubicado entre la progresiva 7+360, progresiva 7+625 y la entrada al sifón.
- Tipo 2 : Es el tramo de canal entre el sifón y el Km 12+750, donde hay revestimiento de concreto y geosintéticos; se aprecia un tramo de canal deteriorado.
- Tipo 3 : Al fin del canal, en unos 50 m entre las progresivas 12+750 a la 12+800, donde no se aprecia ningún deterioro visual, se ha encontrado una contrapendiente del fondo del canal, con un desnivel de hasta 30 cm, lo que no permite el flujo normal de agua, producto de deficiencias durante el proceso constructivo.

Para los 5 m³/s de caudal normal el remanso aguas arriba elevaría el tirante por encima de la caja del canal, desbordándolo.

Los sub-tramos del canal con mayor deterioro son los siguientes:

| Tipo de Deterioro | Tramo Deteriorado | | Longitud (m) | |
|-------------------|-------------------|-----------|--------------|---------------|
| | Inicio | Fin | Parcial | Sub-Total |
| 1 | 7+625,65 | 7+673,12 | 47,47 | 540,94 |
| | 7+715,12 | 7+718,91 | 3,79 | |
| | 7+783,85 | 7+994,69 | 210,84 | |
| | 8+050,20 | 8+228,89 | 178,69 | |
| | 8+279,88 | 8+318,29 | 38,41 | |
| | 8+462,07 | 8+484,41 | 22,34 | |
| | 8+567,03 | 8+574,40 | 7,37 | |
| | 8+715,34 | 8+747,37 | 32,03 | |
| 2 | 11+813,22 | 11+883,15 | 69,93 | 69,93 |
| 3 | 12+751,27 | 12+800,00 | 48,73 | 48,73 |
| Total | | | | 659,60 |

Los daños menos severos son fisuras y grietas en la losa de revestimiento y en el material de las juntas de cimentación; en la mayoría de los casos las juntas tienen anchos mayores a 2 cm; todos están abiertos hasta el fondo como juntas de dilatación; también existen desniveles entre las losas contiguas por el mal acabado del revestimiento, apareciendo el dinatred como relleno de losas y no de juntas para canales; las viguetas de apoyo diseñadas para ubicarse bajo las juntas de dilatación, en el tramo de canal con geomembrana, no han sido construidas.

A continuación se resumen los daños menos severos en el canal:

| Progresivas | | Longitud (m) | Observaciones |
|--------------|----------|--------------|---|
| Inicio | Fin | | |
| 7+480,00 | 7+625,65 | 145,65 | Aparecen fisuras y diferencias de nivel entre losas. |
| 7+673,12 | 7+783,85 | 110,73 | Aparecen juntas con material comprimido. |
| 7+994,69 | 8+050,20 | 55,51 | Aparecen juntas resanadas con mortero y fallas en dinatred. |
| 8+228,89 | 8+279,88 | 50,99 | En buen estado. |
| 8+318,29 | 8+462,07 | 143,78 | Aparecen juntas con dinatred desprendido de losa izquierda. |
| 8+484,41 | 8+567,03 | 82,62 | En buen estado. |
| 8+574,40 | 8+720,87 | 146,47 | Aparecen juntas con dinatred fisurado y desprendido; además juntas resanadas con mortero. |
| 8+747,37 | 8+791,00 | 43,63 | Desniveles entre losas; dinatred fisurado y deteriorado. |
| Sifón | | | |

| | | | |
|-----------|-----------|---------|--|
| 9+419,50 | 11+813,22 | 2393,72 | Aparecen juntas con dinatred fisurado, descompuesto, despegado, esponjado; en algunos casos resanado con mortero. Fisuras longitudinales en el piso en un gran número de paños; en algunos paños hay fisuras en esquinas de losas de taludes. También se observa pisos y paredes con mal acabado, al parecer por frotado con cemento, que da apariencia de dibujos tipo panal de abeja o tela de araña, o presencia de sales. |
| 11+883,15 | 12+751,27 | 868,12 | Igual que tramo anterior. |

En los anexos N°s 1 al 3 se presentan los detalles del inventario de daños.

- Daños en el túnel cerro Blanco

El inventario de daños también incluyó al túnel Cerro Blanco, donde se observó que en las losas de revestimiento de 9 m de longitud, se presentan fisuras transversales en los hastiales izquierdo y derecho, fisuras que se inician a medio hastial creciendo en ancho hacia la parte superior hasta aprox. 1 mm de abertura; en algunos casos dichas fisuras continúan en la bóveda, siguiendo un trazo irregular. A la salida del túnel, las cimbras y calaminas aparecen descubiertas. En el anexo N° 4 se presenta el inventario de fisuras en el túnel.

- Daños en las canoas

En general las canoas se encontraron en buen estado; sin embargo en la losa de salida antes del badén que cruza el camino de servicio se observó fisuras transversales; en la canoa ubicada en la progresiva 7+820 se presentan fisuras en los muros y en la losa de ingreso. Los detalles se presentan en el anexo N° 5.

- Daños en el camino de servicio

En el camino que recorre junto al canal, por el lado derecho, se presentan largas manchas de color oscuro por tramos, principalmente antes del sifón debido a las sales en el material de relleno que han aflorado por el ingreso del agua desde el canal. Asimismo se encontró agrietamientos en la berma izquierda del camino junto al canal, que en algunos casos aparecen hasta el centro del camino. En los anexos N° 1, 2 y 6 se presenta el inventario respectivo.

Daños en la berma izquierda del canal

Se observó manchas de color oscuro en algunos tramos debido a la presencia de sales en el suelo que, con la alta humedad desde el canal ha provocado la

destrucción de su estructura. En los anexos N° 1 y 2 se presenta el inventario respectivo.

- **Daños en las quebradas**

Las quebradas que atraviesan el canal, aparecen con bancos de escombros que cubren su cauce reduciendo la sección de escurrimiento.

- **Daños en el medio ambiente**

Alrededor de la progresiva 7+600 hacia los taludes de corte inferiores al canal, aparecen bancos de escombros con trozos de losas del revestimiento removido en la fase construcción, los que según el cuaderno de obra corresponden a fallas de construcción como agrietamientos y roturas, lo que obligó a la remoción del revestimiento colapsado en esa oportunidad.

11.2 Evaluación de los Daños

- **Primera evaluación (1999)**

En Septiembre de 1999, se produjo un primer informe técnico denominado "Estudio de suelos con fines de verificación de las condiciones de cimentación del canal Chen Chen- San Antonio".[11] Dicho informe contiene la descripción de los trabajos de exploración de campo y de los ensayos de laboratorio; se define el perfil estratigráfico de la zona en estudio, y se da a conocer las propiedades de esfuerzo, deformación y expansión.

Dicho informe concluye que sólo el análisis de una muestra del material de cimentación recogida en el estrato profundo de una sola calicata, por debajo de la rasante del canal y en un sitio donde no se acusaba daños, los desplazamientos de las losas en las zonas de las juntas entre las progresivas Km 7+360 y 8+791, así como los paños rajados, se han producido por la presencia de suelos limosos endurecidos (moro-moro), que presentan características expansivas en contacto con el agua, desarrollando una presión de expansión de $P_o = 4,54 \text{ kg/cm}^2$ y una expansión libre de $\Delta H = 29,71\%$.

Los suelos limosos endurecidos presentan un potencial de colapso bajo de $C_p = 1,016\%$, en contacto con el agua, bajo una presión normal de $2,00 \text{ Kg/cm}^2$.

A fin de impedir la formación de grietas y desplazamientos de los paños producidos por la expansión de los suelos y limos endurecidos, en dicho informe se recomienda el reemplazo del material alrededor del canal en un espesor de 1m por un material granular con matriz arenosa de granulometría abierta, inerte, así como impermeabilizar el canal con una geomembrana.

- Segunda evaluación (2001)

En Marzo del 2001, el PEPG realizó la segunda evaluación de los deterioros y fallas en el canal Chen Chen - San Antonio [12] (se efectuó trabajos de topografía, geología, geotecnia, hidráulica y evaluación de la construcción), mediante la evaluación topográfica en campo y gabinete, ensayos de laboratorio de contenido de humedad natural, límites de Atterberg, granulometría, ensayos de expansión y consolidación, llegando a las siguientes conclusiones:

- El canal ha sido construido deficientemente, incumpliendo las especificaciones y los diseños, aplicando procedimientos constructivos inadecuados, que ha dado lugar a los daños y a un acabado de obra de muy mala calidad.
- No se aplicó la sección de diseño con geomembrana y geotextil, que las especificaciones indicaban debía construirse cuando se encontrara material Moro-Moro durante las excavaciones.
- La calidad del concreto en el tramo analizado, con presencia de cangrejeras, ha aumentando la permeabilidad y generado el humedecimiento de la fundación, alterándolo.
- La sobreexcavación en la caja del canal, donde se utilizó un solado o concreto de regulación, según el análisis del material fotográfico, muestra que la fundación Moro-Moro ha sido seriamente humedecida, provocando su colapso.
- El tratamiento de las juntas es deficiente; no cumplen las dimensiones del diseño, dificultando el sellado, el cual tampoco cumple las especificaciones en cuanto a espesor y forma de colocación.

En el informe se recomienda que en las zonas a rehabilitar se considere el reemplazo con material inerte, grueso, alrededor del canal, para minimizar los daños por presencia de aguas desde dentro o fuera del canal.

Así mismo se recomienda la protección de las canoas construidas en fundaciones con limolitas, y el uso de un sellador de juntas de buena calidad, que pueda soportar los requerimientos del clima local; se recomienda analizar el planteamiento de tapajuntas embebidos en el concreto de las losas; señala además que se deberá evitar resanar juntas con mortero, utilizando en su lugar dinatred como, se especifica en el diseño original.

La identificación de los daños en el canal, así como del perfil geológico con algunas características básicas como la litología, problemas geotécnicos, uso de geomembrana y problemas geotécnicos, se presenta en las láminas GE-1 (2 Hojas).

11.3 Evaluación Geotécnica en las Zonas Deterioradas del Canal

La evaluación tiene por objetivo investigar las condiciones geotécnicas del suelo de cimentación del Canal Chen Chen - San Antonio, y las causas que motivaron el deterioro del canal en los tramos afectados, para lo cual se realizaron diversos estudios que se describen a continuación.

- Investigaciones realizadas

a. Trabajo de campo

Se realizaron visitas de reconocimiento para identificar las zonas donde el canal presentaba signos exteriores de fallamiento y deterioro. Se efectuó la rotura y levantamiento de la losa de revestimiento del canal en las progresivas 7+800, 8+170 y 8+300, obteniéndose muestras alteradas del suelo ubicado bajo el revestimiento.

b. Ensayos de laboratorio

Las muestras fueron enviadas a laboratorios especializadas de Lima para su procesamiento, donde se efectuaron los siguientes ensayos:

| Ensayo | | Cantidad Sobre Muestra (Km) | | |
|--------|--|-----------------------------|-------|-------|
| | | 7+800 | 8+170 | 8+300 |
| 1 | Granulometría por tamices | 1 | 1 | 1 |
| 2 | Limite Liquido | 1 | 1 | 1 |
| 3 | Limite Plástico | 1 | 1 | 1 |
| 4 | Limite de contracción | 1 | 1 | 1 |
| 5 | Clasificación de suelos SUCS | 1 | 1 | 1 |
| 6 | Contenido de humedad (en cond. naturales) | 1 | 1 | 1 |
| 7 | Peso específico relativo de sólidos | 1 | 1 | 1 |
| 8 | Peso volumétrico de masa | 1 | 1 | 1 |
| 9 | Ensayo de compactación Proctor Estándar | 1 | 1 | 1 |
| 10 | Ensayo de Expansión Libre | 1 | 1 | 1 |
| 11 | Ensayo de Expansión Controlada | 1 | 1 | 1 |
| 12 | Ensayo de Colapso Unidimensional | 1 | 1 | 1 |
| 13 | Ensayo de Consolidación Unidimensional | 1 | 1 | 1 |
| 14 | Ensayo para la determinación de sales solubles en muestra de suelo | 1 | 1 | 1 |
| 15 | Análisis mineralógico por difracción de rayos X | 1 | 1 | 1 |

Análisis de resultados

a. Ensayos estándar

Los resultados de los ensayos estándar de humedad natural, límites de Atterberg etc, la clasificación, peso específico, etc, son los siguientes:

| Ensayo | Unidad | Kilometro | | |
|--|--------------------|-----------|--------|-------|
| | | 7+800 | 8+170 | 8+300 |
| Limite Liquido | % | 42 | 50 | 37,4 |
| Limite Plástico | % | 29 | 30,2 | 27,1 |
| Índice de Plasticidad | % | 13 | 19,8 | 10,4 |
| Limite de contracción | % | 23,8 | 23,9 | S/D |
| Clasificación de suelos SUCS | | SM | ML | SM |
| Contenido de humedad | % | 20,8 * | 15,1 * | 9,5 |
| Peso específico relativo de sólidos (Gs) | % | 2,7 | 2,6 | 2,6 |
| Peso volumétrico | gr/cm ³ | 2,07 | 1,98 | 2,1 |
| Densidad seca máxima | gr/cm ³ | 1,643 | 1,832 | 1,583 |
| Optimo contenido humedad | % | 20,5 | 10,0 | 21 |
| Porcentaje de finos que pasa malla # 200 | % | 48,5 | 70,8 | 46,9 |
| Relación de vacíos | | 0,412 | 0,481 | 0,714 |

(*) Representan la humedad que conservan producto de las filtraciones que ocasionó el deterioro del canal. Las muestras fueron extraídas del suelo bajo la losa del canal.

Interpretación de los resultados

La humedad natural 9,5% encontrada en la muestra 8+300, es mayor a la máxima humedad de los suelos de la primera evaluación (1999), donde se encontraron humedades de 2, 8, 9 y 9,19% .

En general las humedades naturales se sitúan muy por encima de las humedades naturales encontradas en los estudios de 1995, como se observa en la Tabla N° 7.

Tabla N° 7
Humedades Naturales en la Fundación del Canal

| Calicata | Progresiva (Km) | Profundidad (m) | Contenido de Humedad (%) |
|-------------------|------------------------|------------------------|---------------------------------|
| Estudio de 1995: | | | |
| CCPG N° 1 | 7+370 | 0,80 - 2,00 | 0,9 |
| CCPG N° 2 | 7+870 | 0,50 - 1,60 | 3,8 |
| CCPG N° 2 | 7+870 | 1,60 - 2,00 | 5,6 |
| CCPG N° 3 | 8+370 | 0,00 - 1,00 | 3,0 |
| Estudio del 2001: | | | |
| | 7+800 | Bajo la loza | 20,8 |
| | 8+170 | Bajo la loza | 15,1 |
| | 8+300 | Bajo la loza | 9,5 |

Un primer conocimiento es el del contenido de humedad natural inicial, antes de la construcción; en el tramo es variable entre 0,9 y 5,6%.

Un segundo conocimiento es que en esa longitud del canal aparecen los tramos con mas colapso (47 m entre las progresivas 7+626 a la 7+673; 211 m entre las progresivas 7+784 a la 7+995; 179 m entre las progresivas 8+050 a la 8+229; 38 m entre las progresivas 8+280 a la 8+318).

Un tercer conocimiento es que el contenido de humedad se incrementó de 3,8 a 20,8% alrededor de la progresiva 7+800, y de 3.0 a 9,5% alrededor de la progresiva 8+300, entre 1995 y 2001.

Se concluye que el humedecimiento de la fundación del canal llegó hasta la saturación, dejando una cimentación húmeda colapsada, que necesariamente debe removerse.

Aun varios meses después de haberse producido la filtración que provocó el deterioro del canal o probablemente con el humedecimiento del proceso constructivo, el suelo mantiene la humedad por encima del 15%, el recubrimiento de concreto cubre el terreno e impide la evaporación induciendo por lo menos a una conservación de la humedad bajo el mismo.

Esto se debe a que las construcciones que cubren este tipo de suelo hacen que se enfríe unos pocos grados. Esto puede ser causa de hinchamiento mayor.

El peso volumétrico se encuentra en un promedio de $2,1 \text{ gr/cm}^3$, lo cual demuestra que el suelo no es liviano.

La naturaleza de las fallas y algunos de los resultados de los ensayos estándar, llevan a la posibilidad que los suelos analizados puedan ser expansivos o colapsables, lo que exige analizar los resultados siguiendo diversos criterios de análisis.

De cualquier forma no existe ningún ensayo de identificación que nos permita asegurar que un suelo arcilloso va a producir o no daños por expansión o colapso. Es necesario comparar varios resultados y ver si sus indicaciones coinciden.

- Criterio 1: Índice de plasticidad

El índice de plasticidad se considera que es uno de los datos mas significativos, según el siguiente criterio, Holtz, 1959 y 1970, [13]

| Índice de Plasticidad | 0 – 15 | 15 - 30 | 30 a más |
|----------------------------------|--------|-----------------|-------------------|
| Potencial de Hinchamiento | Poca | Poca a moderada | Moderada a severa |

Considerando los resultados obtenidos en las muestras se tendría:

| Muestra | Índice de Plasticidad: IP | Potencial de Hinchamiento | Clasificación SUCS |
|----------------|--------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------|
| Km 7+800 | 13,0 | Poca | SM |
| Km 8+170 | 19,8 | Poca a Moderada | ML |
| Km 8+300 | 10,4 | Poca | SM |

- Criterio 2: Límite de contracción

Existe otro criterio relacionado con el límite de contracción:

| | | | |
|--------------------------------|------|------------------|--------------------|
| Límite de Contracción | >12 | 10 - 12 | <10 |
| Peligro de Hinchamiento | Poca | Poca a moderadas | Moderadas a severa |

Al aplicar este criterio sobre los resultados de las muestras se tendrían:

| Muestra | Índice de Contracción | Peligro de Hinchamiento | Clasificación SUCS |
|----------------|------------------------------|--------------------------------|---------------------------|
| Km 7+800 | 23,8 | Poca | SM |
| Km 8+170 | 23,9 | Poca | ML |
| Km 8+300 | S/D | S/D* | SM |

* S/D= Sin dato

Pero el límite de contracción se usa muy poco hoy, en parte por haberse comprobado que las diferentes normas que existían para su determinación daban resultados totalmente diferentes y probablemente como causa principal, el que aunque las arcillas con peligro de bajo hinchamiento son frecuentemente expansivas, hay muchas otras que también son expansiva sin cumplir esas condiciones (precisamente muchas muy montmorilloníticas).

- Criterio 3

Con los datos del análisis granulométrico por sedimentación se pueden seguir dos criterios. El primero y más antiguo (también de Holtz y Gibbs, 1954) se basa en el tanto por ciento de partículas inferiores a 1 µm.

| | | | | |
|----------------------------------|------|---------|---------|----------|
| % 0,001 mm | < 15 | 13 - 23 | 20 - 30 | > 28 |
| Potencial de Hinchamiento | Bajo | Medio | Alto | Muy Alto |

que no puede aplicarse al no haberse realizado análisis granulométricos por sedimentación.

Este criterio no tiene en cuenta la especie mineralógica de esos finos por lo que Seed (1962), intentan introducirlos a través del concepto de

“Actividad”. Este índice en la nomenclatura corriente, es la relación entre el índice de plasticidad y el % de partículas menores de 2 µm.

Seed, Woodward y Lundgren, [14], modifican esta definición sin embargo de la manera siguiente:

$$\text{Actividad (según Seed, Woodward, Lundgren)} = \frac{\text{Índice de Plasticidad}}{(\% < 2\mu\text{m}) - 10}$$

Que tampoco puede aplicarse, porque no se realizó análisis granulométricos por sedimentación.

- Criterio 4

Criterio de Ranganathan y Satyanarayana (1965), [15]: basado en correlaciones del potencial de expansión con el índice de contracción (Is = Limite liquido - Limite de contracción) y propusieron la siguiente clasificación:

| Is (%) | Potencial de Expansión (%) | Grado de Expansión |
|---------|----------------------------|--------------------|
| 0 - 20 | 0 - 1,5 | Bajo |
| 20 - 30 | 1,5 - 5 | Medio |
| 30 - 60 | 5 - 25 | Alto |
| >60 | >25 | Muy Alto |

El potencial de expansión es calculado con la siguiente ecuación empírica:

$$h (\%) = 41,13 \cdot 10^{-5} \cdot Is^{2,67}$$

| Muestra | Is (%) | Potencial de Expansión (%) | Grado de Expansión |
|----------|--------|----------------------------|--------------------|
| Km 7+800 | 18,2 | 0,95 | Bajo |
| Km 8+170 | 26,1 | 2,49 | Medio |
| Km 8+300 | S/D | S/D | S/D |

Con estas evaluaciones, siguiendo criterios experimentales y ensayos estándar sencillos se llega a la conclusión de que la matriz limosa de los suelos analizados tienen un grado de expansión bajo a medio.

b. Ensayos especiales

Están dirigidos al análisis de la capacidad de hinchamiento o de colapso del suelo, a partir de los resultados de los siguientes ensayos:

- Ensayo de expansión libre

El método consiste en poner una muestra ya sea no disturbada o remoldeada en el laboratorio en un edómetro, inundar el espécimen y registrar las deformaciones después de varios lapsos de tiempo. Las lecturas se registran hasta que el hinchamiento primario se complete.

El porcentaje de expansión es aquel que se calcula con la expresión:

$$\left(\frac{\Delta h}{h_0} \right) \times 100$$

Los resultados obtenidos con este ensayo son:

| Muestra | % de Expansión |
|----------|----------------|
| Km 7+800 | 0,4 |
| Km 8+170 | 0,3 |
| Km 8+300 | 0,05 |

- Ensayo de expansión controlada

Corresponde al Método C de la norma ASTM D 4546; consiste en aplicar un esfuerzo inicial equivalente a una presión vertical denominada presión de hinchamiento, dentro de los primeros cinco minutos e inundar con agua el espécimen inmediatamente. Aplicar incrementos de esfuerzos verticales como sea necesario para prevenir hinchamientos. Leer las variaciones de la deformación y los esfuerzos.

Los resultados se obtienen a partir del gráfico de Presión vs. Relación de vacíos. El cálculo de los porcentajes de hinchamiento se elaboraron siguiendo lo indicado en la norma ASTM D 4546; habiendo obtenido los siguientes resultados:

| Muestra | % de Expansión |
|----------|----------------|
| Km 7+800 | 0,9 |
| Km 8+170 | - 4,52 (*) |
| Km 8+300 | 0,35 |

(*) Los resultados obtenidos en la muestra 8+170 indican un comportamiento colapsable.

- Ensayo de colapso unidimensional

El procedimiento requiere que la muestra sea inundada a una carga de 200 KPa. En la muestra 7+800 se observa que al ser inundada, esta se expande. En el caso de la muestra 8+170, existe una reducción drástica en la relación de vacíos para la misma carga aplicada, lo cual indica que no hay un comportamiento expansivo sino más bien colapsable.

Los resultados obtenidos a partir de los resultados de los ensayos de laboratorio son los siguientes:

| Muestra | Potencial de Colapso (%) |
|----------|--------------------------|
| Km 7+800 | - 0,2 |
| Km 8+170 | 13,9 |
| Km 8+300 | 0,03 |

En el caso de la muestra 8+300, no se observa un comportamiento definido de expansión o colapso. En la muestra 8+170 si se aprecia notoriamente un comportamiento colapsable del material.

Haciendo una interpretación de los resultados de todos los ensayos especiales se puede concluir que existe una tendencia del terreno a un comportamiento colapsable con signos de expansividad bajas.

Cabe mencionar que los resultados obtenidos por los métodos descritos suelen presentar dispersión, esto se debe a la gran sensibilidad de las magnitudes observadas (hinchamiento, colapso, presión de hinchamiento etc.); a las variaciones de densidad y humedad de un lugar a otro del terreno

y a su sensibilidad a las causas de perturbación de las muestras (deseccación, descompresión, apertura de fisuras etc).

c. Análisis mineralógico

Se considera que la identificación de los minerales se realizó sobre las tres muestras, a través del análisis petrográficos realizados en los laboratorios de la facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica de la Universidad Nacional de Ingeniería. Se realizaron también análisis mineralógico por difracción de rayos X.

- Análisis petrográfico

Descripción microscópica

Muestra 7+800

Compuesta por clastos subangulosos de 1 a 2" constituidos mayormente por material de origen volcánico (tufos) y volcánico - sedimentario (tufitas). Mas del 98% corresponden a estos clastos y menos del 2% a esquirlas de clastos.

Muestra 8+170

Constituido por clastos, gravilla y material fino. Los clastos son de tres tipos: clastos de color blanco tamaños variados menores a 3", se disgregan con facilidad y predominan en la muestra. Clastos de color pardo tienen bordes subredondeados, presentan estratificación, se encuentran en un 10% y por ultimo clastos de colores variados menores a 2,5"y border irregulares, constituyen el 30%.

Muestra 8+300

Constituida por clastos subangulosos y subredondeados de color pardo claros de tamaños variado. Su composición varía entre tufos y tufitas.

La mineralogía encontrada es la siguiente:

| Matriz Detrítica | % | | |
|-------------------------|----------|----------|----------|
| | Km 7+800 | Km 8+170 | Km 8+300 |
| Feldespatos argilizados | 31 | 20 | 20 |
| Cuarzo | 22 | 10 | 17 |
| Biotita | 5 | 3 | 2 |
| Anfiboles | 2 | 2 | 5 |
| Fragmentos | 3 | 15 | 10 |
| Carbonatos | 2 | 4 | 4 |
| Yeso | --- | 6 | 2 |
| Arcillas Expansivas | 5 | 3 | --- |
| Matriz arcillosa | 30 | 37 | 40 |

El yeso se presenta como en forma de costras o como parte del material cementante.

Estudio de difracción de rayos X

Estos estudios mineralógicos sobre partículas menores de 0,076 mm, indican la presencia de montmorillonita en forma abundante o muy abundante en las muestras obtenidas en los Km. 7+800 y 8+170. La montmorillonita es un mineral de arcilla que posee una mayor susceptibilidad a la disolución en comparación con otros minerales de arcillas.

El estudio indica también una importante presencia de yeso en las muestras 8+300 y 8+170. La calcita o carbonato de calcio se presenta en forma escasa.

Las características anteriores indican que las fuerzas de cementación se desarrollan en la fracción fina, los minerales cementantes son principalmente la montmorillonita y el yeso. La saturación de los materiales produce la disolución de la montmorillonita y el yeso perdiendo resistencia al corte, produciéndose el colapso del suelo.

d. Análisis químico

Se solicitó análisis químico de la masa de los suelos para obtener el pH, contenido de sales solubles totales, contenido de sulfatos y cloruros. Los siguientes en los resultados:

| Ensayos | % | | |
|-------------------------------------|----------|----------|----------|
| | Km 7+800 | Km 8+170 | Km 8+300 |
| Contenido de sales solubles totales | 0,257 | 1,308 | 1,966 |
| Contenido de sulfatos | 0,217 | 0,955 | 1,047 |
| Contenido de cloruros | 0,006 | 0,011 | 0,228 |
| Contenido de pH | 7,82 | 7,14 | 7,18 |

El pH se encuentra por encima de 7,14 siendo el promedio de 7,4, desde este punto de vista las muestras no presentan indicios de ser solubles y tienen un comportamiento ligeramente ácido.

Se observa un alto contenido de sulfatos en las muestras por encima de los porcentajes solubles en agua permitidos en relación al grado de agresividad al concreto; siendo esta agresividad de considerable a severa.

La disolución de estas sales solubles con el agua puede comprometer la estructura del suelo.

- Conclusiones

Los resultados de los ensayos estándar y especiales; los métodos empíricos para evaluar el grado de expansión del suelo basados en índices sencillos y de rápida obtención; así como los métodos de cálculo basados en ensayos de inundación con el edómetro, han proporcionado un indicador de los suelos en cuanto a su peligrosidad.

Atendiendo solamente a los resultados numéricos de los ensayos se puede decir que los materiales analizados presentan variaciones de volumen en presencia de agua, siendo esta característica variada. Los cambios volumétricos de los suelos analizados están asociados a pequeñas expansiones y a manifestaciones de colapso.

Las estimaciones empíricas basadas en el límite líquido y el índice de plasticidad normalmente se correlacionan bastante bien con el potencial de expansión, ya que estos dependen del tipo y cantidad de minerales de arcilla. En el caso de las muestras analizadas estos dan un potencial hinchamiento bajo a medio.

Los ensayos especiales efectuados con el edómetro indican un potencial de expansión bajo a medio; sin embargo pone en evidencia un comportamiento colapsable en una de las muestras.

Los estudios mineralógicos evidencian la presencia de montmorillonita y yeso (minerales arcillosos altamente inestables), en la matriz cementante de dos de las tres muestras analizadas.

Con relación a la agresividad de los suelos debido a la presencia de sustancias agresivas cabe destacar que el contenido de sales solubles totales y sulfatos es importante que llegan incluso a magnitudes superiores a 1,9 % y 1% respectivamente.

Es evidente el contenido y proporción de los minerales inestables es disperso de un sitio a otro a lo largo del terreno de cimentación del canal. Entonces, desde el punto de vista de la expansividad y colapsibilidad, la heterogeneidad es considerable.

Cabe mencionar que el grado de expansión o colapso del material depende de la composición mineralógica de la muestra representativa extraída. Los resultados de los ensayos están asociados a esa dispersión.

11.4 Conclusiones y Recomendaciones

En base a las evaluaciones realizadas (1999 y 2001), al inventario de daños (Marzo 2001), y de la evaluación geotécnica (2001), se puede concluir lo siguiente:

- El canal de Irrigación Chen Chen - San Antonio, comprendido entre las progresivas 7+360 y 12+800 con una longitud total de 5,44 km, construido entre 1997 y 1998, ha presentado daños en las losas casi inmediatamente después de su puesta en operación, como consta en el reporte del 25 de junio de 1999; actualmente los daños se han extendido significativamente, alcanzando aproximadamente unos 635 m (aproximadamente 11,5% del canal),

En los subtramos de canal Chen Chen - San Antonio construidos sin tratamiento especial, los efectos principales observados son: disminución drástica de la capacidad resistente como consecuencia del humedecimiento durante el proceso constructivo, y más tarde saturación del suelo de cimentación por ingreso continuo del agua; contracción del terreno por secado; agrietamientos longitudinales en el camino de servicio; en algunos subtramos presencia notoria de altas concentraciones de sales solubles en el suelo y asentamientos provocados por la alteración de la estructura del suelo con el agua del canal; en

algunas losas, falla del revestimiento de concreto como consecuencia del desarrollo de posibles manifestaciones de colapso del suelo o de posibles presiones de expansión en el terreno confinado por la losa. La ocurrencia de estos fenómenos produjo la pérdida de las características resistentes del suelo de cimentación.

Se observa claramente que los tramos en los que se han desarrollado estos fenómenos corresponden a zonas donde se aprecia alternancia de material Moro Moro y alto contenido de sales solubles.

- En los subtramos de canal Chen Chen - San Antonio construidos con tratamiento especial, el comportamiento de la estructura hidráulica se mantiene normal debido a la impermeabilización con geomembrana y concreto con fibras para evitar la microfisuración.

Este tramo comprendido entre las progresivas 9+428 y 11+817, fue construido con un tratamiento especial de impermeabilización, cuyo revestimiento consiste en la colocación de una geomembrana HDPE de 1 mm de espesor y geotextil que cubre la caja excavada, construyéndose sobre dicha impermeabilización la losa de concreto de 100 mm de espesor, de 21 Mpa, con un contenido de 40 Kg de fibra de acero. Los primeros indicios de deterioro que se observa en algunas secciones, se debería a fuga de agua por punzonamiento de la geomembrana o defectos en las soldaduras, entre otros.

- El humedecimiento parcial o la saturación del suelo a causa de diversas fuentes han provocado y provocarán como respuesta del suelo durante y después del humedecimiento la pérdida de sus características resistentes y su falla que puede producirse con su propio peso o con una carga adicional. Esta situación debe evitarse, principalmente en la etapa de construcción donde se inicia el colapso de los materiales y la falla del revestimiento en forma local, para después volverse incontrolable sino se realiza una reparación inmediata de la losa afectada.
- Podemos concluir, que los tramos colapsados se encuentran localizados en la zona donde no se adoptó la sección de doble revestimiento (concreto + geosintético) para tramos con cimentación en materiales Moro-Moro del diseño original (1995), por lo que para el planteamiento de alternativas se partió de dicho diseño.

- Del inventario de daños los tramos a rehabilitar son los siguientes

| Tramos Deteriorado | | |
|---------------------------|------------|---------------------|
| Inicio | Fin | Longitud (m) |
| 7+625,65 | 7+673,12 | 47,47 |
| 7+715,12 | 7+718,91 | 3,79 |
| 7+783,85 | 7+994,69 | 210,84 |
| 8+050,20 | 8+228,89 | 178,69 |
| 8+279,88 | 8+318,29 | 38,41 |
| 8+462,07 | 8+484,41 | 22,34 |
| 8+567,03 | 8+574,40 | 7,37 |
| 8+715,34 | 8+747,37 | 32,03 |
| 11+813,22 | 11+883,15 | 69,93 |
| 12+751,27 | 12+800,00 | 48,73 |
| Total | | 659,60 |

- Una conclusión importante es que las evaluaciones geotécnicas realizadas en 1999 y el 2001, sólo recogen resultados puntuales que no pueden caracterizar todas las condiciones de suelos encontrados a lo largo del trazo; asimismo no se realizaron todas los ensayos, incluso directos en el campo como la prueba de carga, que hubiera dado resultados más confiables.

Otra conclusión importante es que el incumplimiento del necesario mantenimiento preventivo, por ejemplo cuando aparecieron las primeras fisuras en los materiales de las juntas y en las losas, ha determinado que la obra colapse, apareciendo un gran perjuicio para el estado.

12. PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS DE REVESTIMIENTO

Basándose en la propuesta de diseño original del expediente de 1995 para tramos con Moro-Moro con tratamiento especial y de dos diseños propuestos en el año 2000 por la consultora Electrowatt, se ha estudiado 4 alternativas de diseño, planteándose en total 7 diseños de revestimiento.

La geomembrana propuesta para las alternativas 4, 4A y 5 es la misma propuesta del expediente original, Manta de Polietileno (HDPE) de 1 mm; el geotextil propuesto es de polipropileno de 175 gr/m², que cumple con la función de proteger la geomembrana contra el punzamiento; ambos geosintéticos se extienden a ambos lados del canal para alargar el camino de las filtraciones en época de lluvias.

Las tres últimas alternativas planteadas, 6, 6A y 7, son una variante de las anteriores donde se cambia la geomembrana HDPE por PVC, para aprovechar su mayor flexibilidad, y menor costo actual respecto a la geomembrana HDPE del expediente técnico.

Se han planteado las alternativas de revestimiento que se detallan a continuación:

Tipo 1 Revestimiento de Concreto simple 175 Kg/cm², e = 75mm con fibra de acero, geomembrana HDPE de 1mm; el geotextil propuesto es de polipropileno de 175 gr/m², según el Proyecto Original (lámina N° 3). La caja es de 1,40 de altura correspondiente a una pendiente de 0,0015.

Tipo 2 Consiste en una solución con geomembrana tipo RPP 45 Mils, tal como es mostrado en la sección típica anexada (lámina N° 5). La ventaja de esta solución en comparación con el proyecto original es su flexibilidad para absorber posibles movimientos del subsuelo sin causar daños en la estructura. La sección corresponde a una pendiente de S = 0,0015. La rugosidad considerada es n = 0,012 y resulta de la composición con el piso de concreto.

La desventaja de esta alternativa, verificada en otros proyectos, es que la geomembrana está sujeta al vandalismo o hurto de mantas para ser utilizadas en otros fines, razón por la cual no resulta conveniente dejarla expuesta.

Tipo 3 Esta alternativa mantiene el principio fundamental de la Alternativa tipo 2, atendiendo de manera parcial el posible problema de daños intencionados y

robos de la geomembrana. Esta alternativa prácticamente no tiene membrana libre por encima de la línea de agua (lámina N° 6). La sección corresponde a una pendiente de $S = 0,0015$ y una rugosidad compuesta de 0,012.

Tipo 4 Revestimiento constituido por una manta HDPE sobre geotextil y recubrimiento de concreto de 7,5 cm de espesor y fibra de polipropileno en una proporción de 1 kg/m^3 . Básicamente es el diseño original reemplazando el solado de concreto pobre por los dos geosintéticos con el objeto de impermeabilizar el sistema evitando que el agua filtre hacia el terreno de cimentación; la microfisuración planteada en 1995 con fibra de acero ahora se plantea con fibra de polipropileno.

La manta que cubre la caja de canal es de 1 mm de espesor, texturada en una cara con el objeto de tener una mejor adherencia con el concreto de revestimiento. El geotextil de 175 gr/m^2 , cuyo objeto es evitar los efectos del punzamiento sobre la geomembrana, irá colocado debajo de está en la caja del canal.

La geomembrana será anclada lateralmente a ambos lados del canal mediante pequeñas zanjás rellenas con material de afirmado. Ver lámina N° 7.

Tipo 4a Esta solución es una variante de la sección tipo 4 antes descrita en la que se considera la colocación de concreto de regularización en lugar del geotextil en los lugares donde no es posible lograr un buen perfilado de la caja del canal debido al contenido de partículas gruesas del terreno natural. Se exige un espesor mínimo de la capa de concreto de regularización para evitar la transferencia de agua al subsuelo de fundación, acción que desestabiliza la cimentación. Ver lámina N° 8.

La mezcla del concreto de regularización deberá ser ejecutada utilizando cemento tipo V porque el contenido de sales en el suelo es muy alto; en caso de menores contenidos de sales se usará cemento puzolánico con una relación agua/cemento entre 0,4 y 0,5.

Tipo 5 Esta solución consiste en efectuar un reemplazo de material en la caja del canal utilizando un material inerte, con un espesor de 40 cm en las zonas del canal en las que por la naturaleza del material existente no es posible el

perfilado del terreno natural y las sobre excavaciones serían muy significativas.

Como se puede observar en la lámina N° 9, para conseguir una adecuada compactación del material de reemplazo será necesario que éste tenga un sobreebanco que será perfilado después hasta la superficie teórica de la caja del canal.

La manta que cubre la caja de canal será de polietileno texturada en una cara con el objeto de tener una mejor adherencia con el concreto de revestimiento. El geotextil cuyo objeto es evitar los efectos del punzonamiento sobre la geomembrana, irá colocado debajo en la caja del canal.

La cantera recomendada para la extracción del material de reemplazo se encuentra ubicada al lado derecho del Km 1+450 de la trocha de acceso al túnel "Montón de trigo". El tamaño máximo de las partículas gruesas deberá limitarse a 1" para conseguir un adecuado perfilado de la caja del canal. Será necesario realizar ensayos para descartar los materiales que contengan sales y/o presenten rastros del material denominado "Moro Moro", garantizándose que el material a utilizar en el reemplazo sea inerte y no sujeto a los fenómenos de colapso y/o expansión.

- Tipo 6 Similar al tipo 4, con la diferencia de emplear PVC de 0,75 mm (en lugar de la manta HDPE) envuelto abajo y arriba por geotextil, para facilitar el revestimiento con concreto, dado que la textura del PVC facilita el deslizamiento de la mezcla. Ver lámina N° 10
- Tipo 6a Similar al tipo 4a, con la diferencia de emplear PVC de 0,75 mm (en lugar de la manta HDPE), cubierto por un geotextil para facilitar el revestimiento con concreto. Ver lámina N° 11 y Tabla N° 8 que corresponde a la verificación del espesor de la geomembrana.
- Tipo 7 Similar al tipo 5, con la diferencia de emplear PVC de 0,75 mm (en lugar de la manta HDPE), cubierto por un geotextil para facilitar el revestimiento con concreto. Ver lámina N° 12.

TABLA N° 8

Pág: 1/3

VERIFICACION DEL ESPESOR DE LA GEOMEMBRANA

VERIFICACION DE LA GEOMEMBRANA / SUELO

Tipo: PVC

Espesor 0.75 mm, será verificado mediante los cálculos de resistencia a la tensión de la geomembrana.

Resistencia al peso propio de la geomembrana

- G = 1.27 (gravedad especifica de la geomembrana - según especificacion tecnica del proyecto)
- γW = 1000 Kg/m³ (Peso especifico del fluido)
- A = Sección transversal de una franja unitaria de geomembrana (l x t)
- β = 45 ° (Inclinacion del talud)
- δ = 15 ° (angulo de fricción geomembrana de PVC – arcilla)
- H = 1.5 m (altura del talud)
- σ_{TU} = 1300 kg/cm Resistencia última de la geomembrana ver especificaciones tecnicas)

Peso de la geomembrana (W)

$$W = G \cdot \gamma W \cdot t \cdot 10^{-3} \cdot l \cdot H / \text{sen } \beta$$

$$W = 1.27 \cdot 1000 \cdot 0.75 \cdot 0.001 \cdot 1 \cdot 1.5 / 0.707$$

$$W = 2.02 \text{ Kg}$$

Resistencia a la fricción en la interfaz geomembrana-suelo (F)

$$F = W \cdot \cos \beta \cdot \text{Tg } \delta$$

$$F = 2.02 \cdot 0.707 \cdot 0.268$$

$$F = 0.38284 \text{ Kg}$$

Esfuerzo de tension aplicado σ_{TA}

$$\sigma_{TA} = \frac{W \cdot \text{sen } \beta + F}{l \cdot t}$$

$$\sigma_{TA} = \frac{2.02 \cdot 0.707 + 0.383}{1 \cdot 0.75 \cdot 10^{-3}}$$

$$\sigma_{TA} = 1394.62 \text{ kg/m}$$

Factor de seguridad (FS)

$$FS = \frac{\sigma_{TU}}{\sigma_{TA}} > 1$$

$$FS = 1300 / 1394.6$$

$$FS = 0.93215 < 1 \quad \text{NO PASA}$$

- * Los factores de seguridad apropiado son del orden de 10 a 100
- * Si aumentáramos el espesor de la geomembrana a 1mm no alcanzaria estar dentro del rango permisible
- * Se concluye que la geomembrana propuesta no resiste su peso propio por si misma, por lo tanto debe ser anclada o debe mejorarse su angulo de fricción en su parte inferior colocandose un geotextil para lo cual analizaremos este caso considerando el angulo de fricción geotextil-geomembrana

VERIFICACION DE LA GEOMEMBRANA / GEOTEXTIL

Tipo: PVC
Espesor: 0.75 mm

Resistencia al peso propio de la geomembrana

G = 1.27 (gravedad especifica de la geomembrana - según especificacion tecnica del proyecto)
 γW = 1000 Kg/m³ (Peso especifico del fluido)
 A = Sección transversal de una franja unitaria de geomembrana (l x t)
 β = 45 ° (Inclinacion del talud)
 δ = 21 ° (angulo de fricción geomembrana de geotextil – geomembrana)
 H = 1.5 m (altura del talud)
 σ_{TU} = 1300 kg/cm Resistencia última de la geomembrana ver especificaciones tecnicas)

Peso de la geomembrana (W)

$$W = G \cdot \gamma W \cdot t \cdot 10^{-3} \cdot l \cdot H / \text{sen } \beta$$

$$W = 1.27 \cdot 1000 \cdot 0.75 \cdot 0.001 \cdot 1 \cdot 1.5 / 0.707$$

$$W = 2.02 \text{ Kg}$$

Resistencia a la fricción en la interfaz geomembrana-suelo (F)

$$F = W \cdot \cos \beta \cdot \text{Tg } \delta$$

$$F = 2.02 \cdot 0.707 \cdot 0.384$$

$$F = 0.54845 \text{ Kg}$$

Esfuerzo de tension aplicado σ_{TA}

$$\sigma_{TA} = \frac{W \cdot \text{sen } \beta - F}{l \cdot t}$$

$$\sigma_{TA} = \frac{2.02 \cdot 0.707 - 0.548}{1 \cdot 0.75 \cdot 10^{-3}}$$

$$\sigma_{TA} = 1173.8 \text{ kg/m}$$

Factor de seguridad (FS)

$$FS = \frac{\sigma_{TU}}{\sigma_{TA}} > 1$$

$$FS = 1300 / 1173.8$$

$$FS = 1.10751 > 1 \text{ OK}$$

- * El factor de seguridad apenas aumenta sin alcanzar el rango permisible
- * Por lo tanto se requiere anclar el sistema geomembrana - geotextil
- * Además el ángulo de fricción entre geotextil no tejido agujado y el suelo, en la condición mas desfavorable, es de unos 15°, lo que confirma la necesidad de anclar el sistema

VERIFICACION DE ANCLAJE

$$T = F_u + F_L + 2F_{AT}$$

Donde:

T = fuerza de tension en la geomembrana

F_u = fuerza de fricción sobre la geomembranas(se asume que es despreciable dado que la cobertura de suelo se mueve con la geomembrana)

$$F_L = q \tan\delta(L)$$

d = 0.1 m Profundidad de la cobertura de suelo
 g = 2.4 Ton/m³ Peso unitario de la cobertura de suelo (losa de concreto)
 q = γd Presion de sobrecarga
q = 0.24 Ton/ m²

d = 21 ° Angulo de fricción de la interfaz (ángulo de fricción geomembrana-geotextil)
 L = 0.2 m Longitud del anclaje (margen derecha)
 $F_L = 18.43 \text{ kg/m}$

$$F_{AT} = (\sigma_h) \tan\delta(D_{AT})$$

$\sigma_h = k_o \sigma_v$ Esfuerzo horizontal promedio en la trinchera de anclaje
 $K_o = 1 - \text{sen}\phi$ Coeficiente de presion lateral en reposo
 $\phi = 30^\circ$ Angulo de resistencia al corte del suelo de relleno -suelo de relleno areno limoso
 $K_o = 0.50$
 $\sigma_v = \gamma \text{Have}$
 $\gamma = 2 \text{ Ton/m}^3$ Peso unitario de la cobertura de suelo
 $\text{Have} = 0.15 \text{ m}$ Profundidad promedio de la trinchera de anclaje (requiere un estimado)
 $\sigma_v = 0.3 \text{ Ton/m}^2$
 $\sigma_h = 0.15 \text{ Ton/m}^2$
 $F_{AT} = (\sigma_h) \tan\delta(D_{AT})$
 $D_{AT} = 0.3 \text{ m}$ Profundidad de la trinchera de anclaje(desconocida)
 $F_{AT} = 17.274 \text{ kg/m}$

T = 52.973 kg/m
T peso= 2 kg/m

FS = T / T peso > 1

FS = 26.487 > OK

13. EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS Y SELECCIÓN DE LA OPTIMA

En principio cabe señalar que según el diseño original la caja de canal de 1,40 m de altura corresponde a la pendiente de 0,0015, lo que llevó a que todas las alternativas se plantearon iguales para hacer una evaluación económica comparativa; complementariamente, se adoptó un borde libre de 0,25 m para canales con caudal de 5 m³/s según el U.S. Bureau of Reclamation.

Se han analizado las ventajas y desventajas de las 7 propuestas de adecuación del diseño de la caja del canal, desde el punto de vista técnico-económico.

13.1 Criterio Técnico

Impermeabilidad

Estas alternativas consideran la utilización de geomembranas para impermeabilizar el canal; en los cuadros siguiente se presentan las ventajas y desventajas de los tres tipos de membranas HDPE, PVC y PP existentes en el mercado.

Comparación Cualitativa entre Geomembranas para Canal

| Descripcion | HDPE-ST | PVC | PP |
|--|---------|-----|----|
| Equipos móviles para realizar el sellado por fusión en la misma obra | SI | SI | SI |
| Equipos estacionarios para realizar el sellado en planta | NO | SI | SI |
| Control de calidad exhaustivo | SI | SI | SI |
| Elasticidad mayor que 100% no es susceptible a las deformaciones del terreno | NO | SI | NO |
| Flexibilidad para doblarlo a más de 300° para embalarlo en bultos | NO | SI | SI |
| Necesita un geotextil para recibir un vaciado de mortero o concreto | NO | SI | SI |
| Necesita de técnicos especializados para la calibración de los equipos | SI | SI | SI |
| Material casi inerte a diferentes soluciones químicas | SI | NO | SI |
| Utiliza pegamentos en frío para unirse entre sí | NO | SI | NO |
| Resistente al impacto | SI | NO | NO |
| Fácil transporte a cualquier lugar | NO | SI | SI |
| Fácil de reparar | NO | SI | NO |
| Menor número de juntas en campo | NO | SI | SI |
| Densidad mayor que el agua | NO | SI | NO |
| Resistencia al punzonamiento | NO | SI | SI |
| Menor posibilidad de ataque de roedores expuesto | SI | NO | SI |
| Mejor comportamiento frente a los rayos ultravioleta (UV) | SI | NO | SI |

Comparación de Geomembranas PVC y HDPE

| Variables | PVC | HDPE |
|----------------------------------|---|--|
| - Resistencia a la Tensión | La resistencia a la tensión del PVC es el punto de ruptura por encima del 300%, esto significa que no hay un adelgazamiento excesivo cuando es sometido a fuerzas o stress. | El HDPE tiene una resistencia a la tensión de 15%. Después de este punto, va a ocurrir el adelgazamiento de toda la membrana de un punto específico. |
| - Elongación multiaxial | El PVC se comporta bien bajo esta prueba, donde se elonga encima del 300%. | El HDPE falla rápidamente, con cercanía a un 10%. |
| - Espesor mínimo | La recomendación del EPA como espesor es de 30 mils, y el equivalente es HDPE de 60 mils (1,0 mm). | La recomendación del EPA como espesor es de 60 mils, debido a la facilidad de soldar en estos espesores. |
| - Cracking | El PVC es amorfo y no experimenta stress cracking. | El HDPE es cristalino y experimenta fallas al stress cracking. |
| - Plastificante | El PVC se hace flexible porque usa plastificantes. Algunos de los plastificantes usados en su composición se puede ir perdiendo por acción de altas concentraciones de solventes. | El HDPE no contiene plastificantes. |
| - Expansión y contracción termal | El PVC tiene un bajo coeficiente de expansión, por lo que no es un factor importante en la instalación. | El HDPE tiene un alto coeficiente de expansión y debido a su rigidez se puede originar un stress excesivo en la instalación llevando a que ocurran fallas. |

Las aparentes desventajas de menor flexibilidad, elasticidad y resistencia al punzonamiento de la membrana de HDPE frente a la de PVC se controlan con la colocación de un recubrimiento de concreto sobre ella, a la cual se adhiere mediante el texturado de su cara superior. Asimismo, la membrana de HDPE no requiere geotextil para un vaciado de concreto sobre ella como lo requiere el PVC y una menor posibilidad de ser atacada por roedores al carecer de olor.

Sin embargo el PVC, aunque ligeramente más costosa a precios actuales, mantiene una gran ventaja en la soldadura en los tramos en curva ya que no requiere fijarse como el HDPE, por tanto el control de calidad de fugas es más ventajoso, elemento

TABLA N° 9

Evaluación de costos de las variantes al diseño original

| Und. | P.U. | Tipo 1 | | Tipo 2 | | Tipo 3 | | Tipo 4 | | Tipo 4 a | | Tipo 5 | | Tipo 6 | | Tipo 6 a | | Tipo 7 | | |
|---|------|------------|-------|---------------|-------|---------------|-------|---------------|-------|---------------|-------|---------------|-------|---------------|-------|---------------|-------|---------------|-------|---------------|
| | | H = 1.40 m | | H = 1.20 m | | H = 1.20 m | | H = 1.40 m | | |
| | | Met. | Costo | Met. | Costo | Met. | Costo | Met. | Costo | Met. | Costo | Met. | Costo | Met. | Costo | Met. | Costo | Met. | Costo | |
| Excavación | m3 | 4.69 | 3.90 | 18.29 | 4.06 | 19.04 | 3.82 | 17.92 | 4.44 | 20.82 | 4.44 | 20.82 | 6.05 | 28.37 | 4.44 | 20.82 | 4.44 | 20.82 | 6.05 | 28.37 |
| Excavación para Perfilado | m3 | 4.69 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | 1.41 | 6.61 | --- | --- | --- | --- | 1.41 | 6.61 |
| Concreto 17.5 Mpa, Rev. Canal e = 7.5 cm, fibra de polip. | m2 | 28.93 | 5.74 | 166.06 | --- | --- | --- | --- | 5.74 | 166.06 | 5.74 | 166.06 | 5.74 | 166.06 | 5.74 | 166.06 | 5.74 | 166.06 | 5.74 | 166.06 |
| Concreto 10 Mpa Solado e = 5 cm | m3 | 314.03 | 0.29 | 90.13 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Concreto 10 Mpa Regular. Prom. e = 2.5 cm | m2 | 9.83 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | 5.06 | 49.74 | --- | --- | --- | --- | --- | 5.06 | 49.74 | --- | --- |
| Grava | m3 | 15.50 | --- | --- | 0.20 | 3.10 | 0.20 | 3.10 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Arena | m3 | 14.00 | --- | --- | 0.06 | 0.84 | 0.06 | 0.84 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Concreto 21 Mpa | m3 | 359.69 | --- | --- | 0.055 | 19.78 | 0.153 | 55.03 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Geotextil 180 gr/m2 | m2 | 2.64 | --- | --- | 6.76 | 17.85 | 6.40 | 16.90 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Membrana RPP 45 mils | m2 | 24.90 | --- | --- | 8.05 | 200.45 | 6.29 | 156.62 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Relleno | m3 | 6.16 | --- | --- | 0.32 | 1.97 | --- | --- | 0.41 | 2.53 | 0.41 | 2.53 | 0.41 | 2.53 | 0.41 | 2.53 | 0.41 | 2.53 | 0.41 | 2.53 |
| Relleno para reemplazo de material | m3 | 14.49 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | 3.56 | 51.58 | --- | --- | --- | --- | 3.56 | 51.58 |
| Manta HDPE Text. una cara de 1 mm | m2 | 10.36 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | 8.33 | 86.30 | 8.33 | 86.30 | 8.33 | 86.30 | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Manta PVC de 0.75mm | m2 | 11.30 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | 8.33 | 94.13 | 8.33 | 94.13 | 8.33 | 94.13 |
| Geotextil 175 gr/m2 | m2 | 2.82 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | 9.16 | 25.83 | 4.10 | 11.56 | 9.16 | 25.83 | 14.22 | 40.10 | 9.16 | 25.83 | 14.22 | 40.10 |
| Costo Directo | | | | 274.48 | | 263.03 | | 250.41 | | 301.54 | | 337.01 | | 367.29 | | 323.64 | | 359.11 | | 389.39 |
| G.G. + Util. (25.81%) | | | | 70.84 | | 67.89 | | 64.63 | | 77.83 | | 86.98 | | 94.80 | | 83.53 | | 92.69 | | 100.50 |
| Sub-Total | | | | 345.32 | | 330.91 | | 315.03 | | 379.36 | | 423.99 | | 462.08 | | 407.17 | | 451.79 | | 489.89 |
| I.G.V. (18%) | | | | 62.16 | | 59.56 | | 56.71 | | 68.29 | | 76.32 | | 83.17 | | 73.29 | | 81.32 | | 88.18 |
| Costo Total por M.L. (S/.) | | | | 407.48 | | 390.48 | | 371.74 | | 447.65 | | 500.31 | | 545.26 | | 480.46 | | 533.12 | | 578.06 |
| Porcentaje de Comparación con el Tipo 1 | | | | 100.00% | | 95.83% | | 91.23% | | 109.86% | | 122.78% | | 133.81% | | 117.91% | | 130.83% | | 141.86% |

Notas: - Costos en nuevos soles

- Para propósito de comparación, solo se utilizó la caja con 1.4 m de altura.

fundamente en la elección del recubrimiento. Siendo las alternativas 2, 3, 6, 6a y 7 las que no esta considerado el HDPE como manta impemeabilizante
 Respecto a las membranas de PP, posee ventajas comparativas mejores que el HDPE, en condición de manta expuesta que no es el caso, no requiriéndose menos un uso de material reforzado (RPP).

El revestimiento de concreto es necesario para controlar el vandalismo de los pobladores de las zonas aledañas a las obras, como ha sido comprobado en diversos proyectos en el país; también evita la acción de los rayos ultravioleta sobre la geomembrana. Con ello se descarta las alternativas 2 y 3

Considerando que en los tramos a rehabilitar el suelo de cimentación se encuentra húmedo, se considera el reemplazo de este material por otro inerte, recuperando de este modo las condiciones de cimentación.

13.2 Criterio Económico

En el siguiente cuadro se aprecia los costos unitarios de los tres tipos de geomembranas considerados, (HDPE, PVC y PP) en los que se incluyen los costos de fabricación, transporte e instalación, incluyendo el de las pruebas y controles de calidad. Según dichos precios la geomembrana de HDPE es más económica (9% menos del costo del PVC).

Evaluación de Costo de las Variantes de Geosintéticos Considerados

| Descripción | Precio/m ² (*) |
|------------------------------------|---------------------------|
| | S/. |
| Manta HDPE Text. una cara de 1 mm | 10,36 |
| Manta No Reforzada PVC - 0,75 mm | 11,30 |
| Membrana PP 30 mils | 16,90 |
| Geotextil (175 gr/m ²) | 2,82 |

(*) Incluye suministro del material, flete e instalación y pruebas.

En la Tabla N° 9. se presenta el análisis de los costos de las alternativas propuestas.

13.3 Alternativa Seleccionada

Considerando en la selección que para la rehabilitación del canal se requiere un tratamiento especial de impermeabilización, de las 7 alternativas de diseño para la rehabilitación del canal, el diseño tipo 7 es el recomendado finalmente.

Se remarca la necesidad de un estricto control durante la ejecución de las juntas en el concreto, de tal manera de asegurar su impermeabilidad.

Los rellenos de la plataforma que albergará la caja del canal, deberán ser ejecutados con material inerte, es decir exentos de contenido de sales y del material "Moro-Moro". La cantidad de agua será la mínima necesaria para conseguir una compactación adecuada, evitando durante todo el proceso constructivo el humedecimiento de la fundación, entendiéndose que 1 a 2% de humedad adicional a la humedad natural de los suelos de cimentación alteran de inmediato su estructura produciendo su expansión y colapso, según sea la presencia (baja o moderada) de arcillas o limos expansivos.

13.4 Memoria Descriptiva de la Rehabilitación del Canal

En este ítem se describen las soluciones adoptadas solo para la rehabilitación del canal, en el presente informe no he querido detallar las soluciones adoptadas para las obras de arte y camino de servicio afectados mencionados en el inventario de evaluación de daños en términos generales la rehabilitación involucra:

- Demolición, reemplazo de material y reposición de los tramos dañados del canal.
- Reparación de fisuras y juntas en el canal.
- Rehabilitación del camino de servicio. (Sin detallarlo).
- Rehabilitación de las obras de arte. (Sin detallarlo).

Como anexo al presente informe, se acompaña las especificaciones técnicas que contiene toda la información para ejecutar la obra.

a. Demolición, Reemplazo de Material y Reposición de los Tramos Dañados del Canal

- Tramo entre Progresivas 7+480 a 8+791

En los tramos de canal que requieren demolición y reconstrucción, la reposición del canal debe efectuarse siguiendo los diseños originales del Proyecto 1995, con tratamiento especial de impermeabilización que se indica en la lámina N° 13 y que se describe a continuación:

Las demoliciones serán efectuadas de acuerdo a lo indicado en las especificaciones técnicas. Se sobre-excavará el terreno afectado en todo al perímetro de la capa hasta una profundidad de 0,40 m.

Se efectuará el reemplazo del material sobreexcavado con el material inerte extraído de la cantera que se ubica en el lado derecho del km 1+540 de la trocha de acceso al túnel "Montón de Trigo". El uso del material deberá verificarse con ensayos de laboratorio; el tamaño máximo de las partículas gruesas deberá limitarse a 1" para conseguir un adecuado perfilado de la caja del canal. Para conseguir una adecuada compactación del material de reemplazo será necesario que éste tenga un sobreancho que será perfilado después hasta la superficie teórica de la caja del canal.

Se cubrirá la caja excavada y refinada con geomembrana PVC de 0,75 mm envuelto abajo y arriba con geotextil de 175 gr/m². (Ver especificaciones Tabla N° 10) Sobre los geosintéticos se colocará el revestimiento de concreto de 7,5 cm de espesor al que se le incorporará fibra de polipropileno. La calidad de concreto será de $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ con permeabilidad de 10^{-11} cm/seg

El diseño de mezcla del concreto debe ser efectuado de tal manera que tenga una trabajabilidad adecuada que permita su vaciado sobre la geomembrana, que debe contar con la aprobación de la Supervisión; para lo cual serán necesarios los equipos adecuados para la ejecución del revestimiento.

El proceso constructivo de esa obra de rehabilitación requiere especial cuidado en el sellado de las juntas de geomembrana tanto en planta como en la obra, que deben responder a una ingeniería de detalle que debe ser aprobada por la Supervisión.

En obra se debe seguir cuidadosamente el protocolo de sellado de juntas, con una evaluación permanente de éstas, del equipo a utilizar y del operador de la misma, y debe contar con la aprobación de la Supervisión.

Se remarca nuevamente la necesidad de un estricto control durante la ejecución de las juntas en el concreto, de tal manera de asegurar la impermeabilidad del canal.

Los rellenos de la plataforma que albergará la caja del canal, deberán ser ejecutados con material inerte, es decir exentos de contenido de sales y del material "Moro-Moro". La cantidad de agua será la mínima necesaria para conseguir una compactación adecuada.

TABLA N° 10

ESPECIFICACIONES INTERNACIONALES PARA
GEOTEXTIL NO TEJIDO

| CARACTERÍSTICAS | NORMA | UNIDAD | VALORES MARV. |
|------------------------------------|-------------|------------------|---------------------|
| PROPIEDAD MECÁNICA | | | |
| Método Grab | | | |
| Resistencia a la tensión | ASTM D-4832 | N (lb) | 520 (116) |
| Elongación | | % | 55 |
| Resistencia en las Costuras | ASTM D-4632 | N (lb) | 470 (105) |
| Resistencia al Punzonamiento | ASTM D-4833 | N (lb) | 280 (63) |
| Resistencia al Rasgado Trapezoidal | ASTM D-4533 | N (lb) | 210 (47) |
| Resistencia a Rayos UV | ASTM D-4355 | % a 500 Hrs. | 70.0 |
| Método Mulien Burst | | | |
| Resistencia al estallido | ASTM D-3786 | kPa (psi) | 1570 (227) |
| PROPIEDAD HIDRÁULICAS | | | |
| Tamaño de Abertura Aparente | ASTM D-4751 | mm (No Tamiz) | 0.180 (80) * |
| Permeabilidad | ASTM D-4491 | cm/s | 34×10^{-2} |
| Permisividad | ASTM D-4491 | | 2.13 |
| Espesor | ASTM D-5199 | mm | 1.60 |
| PRESENTACIÓN | | | |
| Tipo de Polímero | Fabricante | | PP |
| Relación Peso/Área | ASTM D-3776 | g/m ² | 175 |
| Rollo Ancho/Largo | Medido | m | 3.80/130 |
| Rollo Área | Calculado | m ² | 494 |
| Rollo Peso Bruto | Medido | kg | 95 |

MARV. = Valores Mínimos Promedio por Rollo

PP = Polipropileno

* Unico valor que se toma como máximo

Se considera que la impermeabilización del canal es un elemento importante ya que los materiales con alto contenido de finos tipo moro-moro son activados por la humedad del medio produciendo la falla estructural del terreno de cimentación. Este cuidado, que se ha tenido en el diseño de la rehabilitación se hace extensivo al proceso constructivo durante el cual se deberá extremar esfuerzos a fin de usar la mínima cantidad de agua en los rellenos, en la colocación y en el control de calidad de los elementos impermeabilizantes tales como geomembrana, geotextil y revestimiento de concreto.

El empalme entre el canal existente y el canal nuevo será ejecutado utilizando la junta indicada en la lámina N° 13, detalle 1. La longitud de la losa del canal existente será ampliada en 32,5 cm, utilizando un aditivo adherente de resina epóxica entre el concreto nuevo y el antiguo. En la porción ampliada el espesor del revestimiento será ensanchado a 15 cm para colocar la junta impermeable de unión con el canal nuevo, en la cual se colocará el sello water stop de 6" con separación entre paredes de 20 mm.

Es importante que exista un estricto control de calidad de la construcción.

- Tramo entre progresivas 9+419,5 a 12+800

La rehabilitación del tramo del canal con tratamiento requiere que los trabajos de demolición sean efectuados con mucho cuidado de manera de no dañar la porción de geomembrana del canal antiguo que permita el empalme con la geomembrana del canal nuevo.

Los tramos que requieren ser demolidos se indican en el ítem 11.4. El empalme entre el canal existente y el canal nuevo será ejecutado utilizando la junta indicada en la lámina N° 13, detalle 2.

La unión es similar a la unión indicada anteriormente, con el empalme y la soldadura de la geomembrana antigua y la nueva, cuyas características corresponderán a lo indicado en las especificaciones técnicas.

- Protección del sistema de impermeabilización en el empalme del canal existente y el nuevo tramo km 7+624 al 8+745

A lo largo del canal trapezoidal entre las progresivas indicadas, se debe construir una protección del sistema de impermeabilización contra el ingreso

de agua proveniente de precipitaciones muy intensas provocados por la ocurrencia de eventos como los del fenómeno de El Niño, que pueden dar lugar a la disolución de sales en el terreno con el consiguiente colapso del material.

Esta protección consistirá en la construcción de una barrera de material inerte de cantera, según diseño mostrado en la lámina N°13.

b. Reparación de las Fisuras y Juntas

- Fisuras

El tratamiento para el resane de las fisuras consistirá en lo siguiente: picado de la fisura; ensanchado de la fisura con un punzón, limpieza y seguidamente sellado aplicando un aditivo adherente a base de resinas y sistemas epóxicos.

- Juntas

Este trabajo comprende la reparación de todas las juntas de dilatación y de contracción del canal existente que no será demolido.

La separación entre juntas de dilatación según diseño debe ser de 15 m, en el canal nuevo rehabilitado y cada 5 paños en el canal existente.

La separación entre juntas de contracción debe ser cada 2,5 m en el canal nuevo y cada 1 paño en el canal existente.

En el canal existente muchas juntas de contracción que han sido construidas de manera similar a las juntas de dilatación, esto debe ser corregido.

Siguiendo los criterios arriba indicados se deberá replantear en obra las juntas ubicando los dos tipos de junta a lo largo tanto de los tramos del canal nuevo rehabilitado como del canal existente, considerando que en este último todas las juntas deberán ser rehabilitadas.

El Supervisor se encargará de resolver en obra cualquier discrepancia encontrada.

La reparación de juntas serán efectuadas como sigue:

Juntas de dilatación

Los sellos de las juntas deterioradas que tengan el ancho especificado deberán ser extraídos completamente. Se deberá limpiar toda la junta y de ser necesario se deberá pulir la superficie interna de ambas losas antes de reponer la junta. Si las juntas tiene un mayor ancho se deberá rellenar con mortero previa limpieza del cara de la losa a unir mediante resina epóxica, colocando tecnopor de 20 mm de separación y en la parte superior una tira de madera de las dimensiones del diseño del elastómero. Una vez fraguado el mortero se procederá a aplicar el imprimante antes del elastómero.

El sellado de las juntas se efectuará con material elastomérico que puede ser de poliuretano o de resina epóxica cuyas normas y requerimientos se indican en las especificaciones técnicas respectivas. Previamente a la aplicación del material elastomérico se imprimirá las superficies de concreto de la junta y se colocará el tecnopor.

El experto del suministrador participará en la preparación, colocación y pruebas de calidad del material sintético durante la obra, debiendo subsanar cualquier anomalía que se presente durante la misma.

Juntas de contracción

Si la junta ha sido construida sin separación de losas, la reparación consistirá en la eliminación completa de las juntas y en la limpieza total de la bruña, antes de proceder a la reposición de la junta y del sello con el material elastomérico, siguiendo todo lo indicado en las especificaciones técnicas.

De existir separación de losas; todo el material de la junta será extraído completamente y previa limpieza de las paredes de las losas se colocará mortero al que se incluirá un aditivo adherente de resina epóxica para sellar la junta dejando una bruña, cuyo detalle se indica en la lámina N° 13: junta de contracción transversal.

c. Pruebas Hidráulicas

Esta obra requiere que antes de su entrega sea debidamente comprobada su estanqueidad, ya que debe precisarse que los suelos Moro Moro se alteran

abruptamente cuando se eleva ligeramente el contenido de humedad natural.

Para ello se ha considerado la ejecución de Pruebas Hidráulicas de Estanqueidad, las que deben realizarse en cada uno de los tramos a rehabilitar, trabajo que no debe considerarse como parte de la Ejecución de la Obra, sino como la demostración de que la Obra fue bien ejecutada.

En las Especificaciones Técnicas se describe el proceso general cuyo período de ejecución se prevee realizar a partir del día 45 de la ejecución de obra hasta unos 15 días después de la terminación de ella.

14. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Una solución actual para impermeabilizar se logra con el uso de los geosintéticos cuya aplicación no signifique repetir otro diseño sino debe estudiarse e implementarse la solución para cada caso. Esto implica el conocimiento de todos los materiales de geomembrana, para escoger el que mejor se adapte técnica y económicamente, teniendo en cuenta además que el(los) geosintético(s) son sólo una parte de la solución de la ingeniería de impermeabilización, ya que será necesario por ejemplo reemplazar material de fundación, construir obras de drenaje, etc.
2. La selección del material de geosintéticos es el primer paso en la implementación de este tipo de revestimiento. Mayor importancia adquiere la ingeniería de detalle del geosintético y de la precisión de las especificaciones correspondientes, ya que el mejor material seleccionado, no será una buena capa impermeable si no pone atención por ejemplo a la confección de los paneles, como lo hace un sastre para confeccionar un terno; se parte del conocimiento del rollo de tela, cual es su ancho y su longitud, ya que eso determinará las costuras o soldaduras para el caso de las geomembranas. Consiguientemente una parte importante del revestimiento será la especificación del control de calidad de la confección de los paneles que deben cubrir el canal, prácticamente en forma exacta en la obra, para lo cual deberá tenerse en cuenta por ejemplo las condiciones climáticas de la obra, para "incrementar" las dimensiones y evitar "faltantes" en la obra, cuya consecuencia es la falla del sistema de impermeabilización establecido en los diseños, y la paralización de las obras, con las consiguientes deseconomías.
3. La geomembrana es el material impermeabilizante; sin embargo muchas veces debe ir acompañada, por ejemplo, de geotextiles que lo protejan durante el proceso constructivo y la operación de la obra.
4. El uso de la geomembrana trae consigo, si se utiliza un revestimiento de concreto sobre ella, un diseño especial de los encofrados, ya que dicho material no puede ser dañado durante la construcción.
5. Debido a las características de las geomembranas (por ejemplo de su elongación), los procesos constructivos incluidos en las especificaciones técnicas deben recoger dichas características, no solo con una mención, sino estableciendo por ejemplo los turnos de trabajo para la colocación de estos materiales, señalando incluso las horas mas apropiadas; al respecto debe mencionarse que las tensiones en el material por los cambios de temperatura causan variaciones en los espesores de los revestimientos de concreto que lo cubren, que produce fisuramiento y agrietamiento en el concreto.

6. En el caso de la rehabilitación del canal Chen Chen - San Antonio, en base a las evaluaciones realizadas (1999 y 2001), al inventario de daños (Marzo 2001), y de la evaluación geotécnica (2001), se puede concluir lo siguiente:

- El canal de Irrigación Chen Chen - San Antonio, comprendido entre las progresivas 7+360 y 12+800 con una longitud total de 5,44 km, construido entre 1997 y 1998, ha presentado daños en las losas casi inmediatamente después de su puesta en operación, como consta en el reporte del 25 de junio de 1999; actualmente los daños se han extendido significativamente, alcanzando aproximadamente unos 635 m (aproximadamente 11,5% del canal),

En los subtramos de canal Chen Chen - San Antonio construidos sin tratamiento especial, los efectos principales observados son: disminución drástica de la capacidad resistente como consecuencia del humedecimiento durante el proceso constructivo, y más tarde saturación del suelo de cimentación por ingreso continuo del agua; contracción del terreno por secado; agrietamientos longitudinales en el camino de servicio; en algunos subtramos presencia notoria de altas concentraciones de sales solubles en el suelo y asentamientos provocados por la alteración de la estructura del suelo con el agua del canal; en algunas losas, falla del revestimiento de concreto como consecuencia del desarrollo de posibles manifestaciones de colapso del suelo o de posibles presiones de expansión en el terreno confinado por la losa. La ocurrencia de estos fenómenos produjo la pérdida de las características resistentes del suelo de cimentación.

Se observa claramente que los tramos en los que se han desarrollado estos fenómenos corresponden a zonas donde se aprecia alternancia de material Moro Moro y alto contenido de sales solubles.

- En los subtramos de canal Chen Chen - San Antonio construidos con tratamiento especial, el comportamiento de la estructura hidráulica se mantiene normal debido a la impermeabilización con geomembrana y concreto con fibras para evitar la microfisuración.

Este tramo comprendido entre las progresivas 9+428 y 11+817, fue construido con un tratamiento especial de impermeabilización, cuyo revestimiento consiste en la colocación de una geomembrana HDPE de 1 mm de espesor y geotextil que cubre la caja excavada, construyéndose sobre dicha impermeabilización la losa de

concreto de 100 mm de espesor, de 21 Mpa, con un contenido de 40 Kg de fibra de acero. Los primeros indicios de deterioro que se observa en algunas secciones, se debería a fuga de agua por punzonamiento de la geomembrana o defectos en las soldaduras, entre otros.

- El humedecimiento parcial o la saturación del suelo a causa de diversas fuentes han provocado y provocarán como respuesta del suelo durante y después del humedecimiento la pérdida de sus características resistentes y su falla que puede producirse con su propio peso o con una carga adicional. Esta situación debe evitarse, principalmente en la etapa de construcción donde se inicia el colapso de los materiales y la falla del revestimiento en forma local, para después volverse incontrolable sino se realiza una reparación inmediata de la losa afectada.
- Podemos concluir, que los tramos colapsados se encuentran localizados en la zona donde no se adoptó la sección de doble revestimiento (concreto + geosintético) para tramos con cimentación en materiales Moro-Moro del diseño original (1995), por lo que para el planteamiento de alternativas se partió de dicho diseño.
- Del inventario de daños los tramos a rehabilitar son los siguientes

| Tramos Deteriorado | | |
|---------------------------|------------|---------------------|
| Inicio | Fin | Longitud (m) |
| 7+625,65 | 7+673,12 | 47,47 |
| 7+715,12 | 7+718,91 | 3,79 |
| 7+783,85 | 7+994,69 | 210,84 |
| 8+050,20 | 8+228,89 | 178,69 |
| 8+279,88 | 8+318,29 | 38,41 |
| 8+462,07 | 8+484,41 | 22,34 |
| 8+567,03 | 8+574,40 | 7,37 |
| 8+715,34 | 8+747,37 | 32,03 |
| 11+813,22 | 11+883,15 | 69,93 |
| 12+751,27 | 12+800,00 | 48,73 |
| Total | | 659,60 |

- Una conclusión importante es que las evaluaciones geotécnicas realizadas en 1999 y el 2001, sólo recogen resultados puntuales que no pueden caracterizar todas las condiciones de suelos encontrados a lo largo del trazo; asimismo no se realizaron todas los ensayos, incluso directos en el campo como la prueba de carga, que hubiera dado resultados más confiables.

Otra conclusión importante es que el incumplimiento del necesario mantenimiento preventivo, por ejemplo cuando aparecieron las primeras fisuras en los materiales de las juntas y en las losas, ha determinado que la obra colapse, apareciendo un gran perjuicio para el estado.

7. Para la rehabilitación del canal Chen Chen – San Antonio, la utilización de los geosintéticos nace como una alternativa para lograr además de la impermeabilización del canal, evitar que el material de fundación del canal sea afectado por cualquier fuente de agua ya que esto alteraría sus propiedades geotécnicas.
8. En base a los estudios mencionados líneas arriba se efectuó una evaluación técnica y económica de 7 alternativas de diseño del revestimiento, además del diseño original, los que representan soluciones factibles para resolver el problema de reparación de la obra, y se eligió a la que tuvo los mejores méritos técnicos y económicos.
9. Se consideró como la alternativa más óptima aquella cuyo revestimiento constaba de material del suelo de cimentación que se encuentra húmedo, manta de geotextil de 175 gr/m² como protector de la geomembrana PVC de 1mm colocada sobre este, cubierta por una manta de geotextil de 175 gr/m² cuya función es la de facilitar el vaciado del concreto, cobertura final del canal cuya finalidad es de proteger a la geomembrana de los rayos ultra violeta y de deterioros por hurto o vandalismo.
10. Las labores de rehabilitación consideraban también además de la impermeabilización del revestimiento en el canal, la reparación de las juntas, fisuras, camino de servicio y obras de arte afectadas, ya que en su conjunta lograrían el total funcionamiento del canal.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

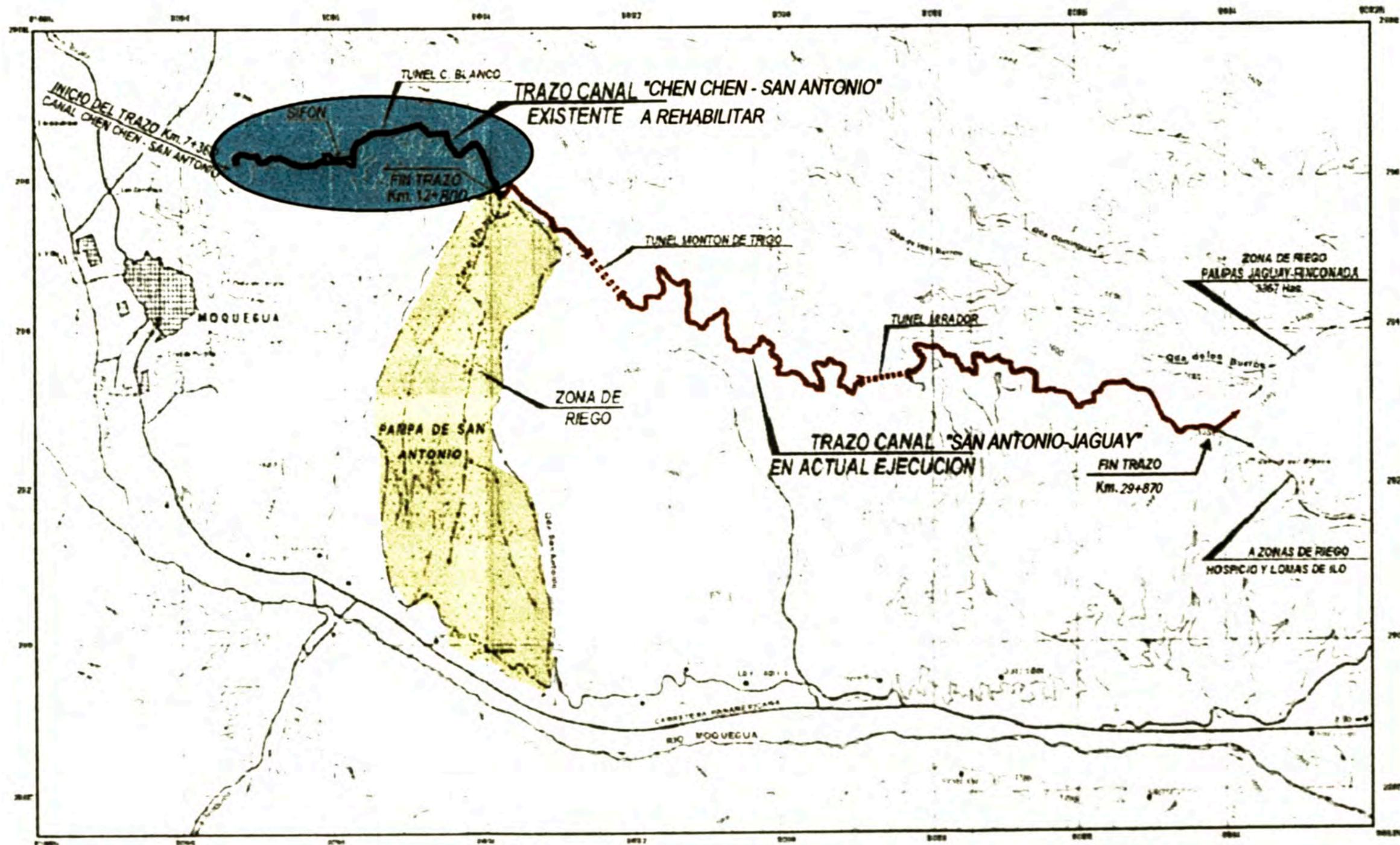
1. John Duffy, Vicepresidente de Watersaver International, "Reportaje especial Revista Minería", 1990
2. Hawkins, McCready, "Establishing Acceptance Standars for Use of Plastic Membranes in Canal Construction Worldwide", 1984
3. Robert Koerner, "Designing With Geosynthetics", 1999
4. Rodrigo Murillo Fernandez, "Hidráulica de los Geosintéticos", 1990, parte II
5. CIDELSA, "Comercial Industrial Delta S.A.", Consulta Técnica
6. Alfredo Mansen, German Vivar, "Diseño y aplicación de los Geosintéticos en las Obras de Ingeniería", 1995
7. AMSA Consultores, "Expediente Técnico Definitivo Ampliación y Construcción del Saldo del Canal Pasto Grande", Moquegua, 1993
8. COSAPI S.A E. M. A "Expediente Técnico Definitivo Ampliación y Mejoramiento del Canal Humalso", 1994
9. Asociación De Consultores Pasto Grande PyV-HC & Asociados, "Expediente Técnico definitivo del Canal Huaracane– Ilo Tramo Chen Chen - Jaguay ", 1995
10. S&Z Consultores, "Presa Humalso y Obras Conexas", 1994
11. CAA Ingenieros Consultores, "Estudio de suelos con fines de verificación de las condiciones de cimentación del canal Chen Chen San Antonio", 1999
12. Proyecto Especial Pasto Grande (PEPG), "Inventario y Evaluación de Daños en el Canal Chen Chen - San Antonio", 2001
13. Holtz, Criterio del índice de plasticidad para suelos expansivos, 1959
14. Seed, Woodward y Lundgren, Criterios aplicados a suelos colapsables, 1965
15. Ranganathan y Satyanarayana, Criterios aplicados a suelos colapsables, 1965

BIBLIOGRAFIA

1. Alfredo Mansen, German Vivar, "Diseño y aplicación de los Geosintéticos en las Obras de Ingeniería", 1995
2. AMSA Consultores, "Expediente Técnico Definitivo Ampliación y Construcción del Saldo del Canal Pasto Grande", Moquegua, 1993
3. ANDEX del Norte, "Proveedor de Geosintéticos", Consulta Técnica, 2001
4. Asociación De Consultores Pasto Grande PyV - HC & Asociados, "Expediente Técnico definitivo del Canal Huaracané– Ilo Tramo Chen Chen - Jaguay ", 1995
5. Asociación De Consultores Pasto Grande PyV - HC & Asociados, "Proyecto del manual de Operación y Mantenimiento de las Obras, del Canal Huaracané – Ilo Tramo Chen Chen - Jaguay ", 1995
6. BIDIM, " Manual Técnico Pruebas y Ensayos para Geosintéticos", 1999
7. CAA Ingenieros Consultores, "Estudio de suelos con fines de verificación de las condiciones de cimentación del canal Chen Chen San Antonio", 1999
8. CIDELSA, "Comercial Industrial Delta S.A.", Consulta Técnica, 2001
9. Colegio de Ingenieros del Perú, Consejo Departamental Moquegua, "Informe de Evaluación del canal Pasto Grande Tramo Chen Chen-San Antonio", 2001
10. COSAPI S.A E. M. A "Expediente Técnico Definitivo Ampliación y Mejoramiento del Canal Humalso", 1994
11. Dirección de Obras, Proyecto Especial Pasto Grande, Consultas técnicas, 2001
12. Felipe Corrales R, "Conceptos Generales Sobre Geomembranas", Bogota 1993
13. Fernández Sixto, "Investigación del conglomerado Colapsable de La Cano, Vitor-Arequipa", 1997
14. Gundle Lining Systems Inc, Departamento Internacional, "Sistemas de Impermeabilización"

15. Hawkins, Gordon, "Development & Use of Membrane Linings for Canal Construction Worldwide", 1998
16. Hawkins, McCready, "Establishing Acceptance Standars for Use of Plastic Membranes in Canal Construction Worldwide", 1984
17. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, "Tecnología para Revestimiento de Canales", 1993
18. John Duffy, "Reportaje especial Revista Minería", 1990
19. Morrison, William R, "Performance of Plastic Canal Linings", Conferencia Internacional de Geomembranas, Denver USA
20. Proyecto Especial Pasto Grande (PEPG),"Inventario y Evaluación de Daños en el Canal Chen Chen- San Antonio", 2001
21. Robert Koerner, "Designing With Geosynthetics", 1999
22. Rodrigo Murillo Fernandez, "Hidráulica de los Geosintéticos", 1990, parte II
23. S&Z Consultores, "Presa Humalso y Obras Conexas", 1994
24. Timblin, L.O., Jr, Bureau of reclamation, USA, "Selection of Geosynthetic Materials for Canal Liner", Geosynthetic '87 Conference, New Orleans, USA
25. U.S. Bureau of Reclamation - Water and Power Resources Service, "Design of Small Canal Structures", 1974
26. U.S. Bureau of Reclamation, "Concrete Manual", 1993
27. Víctor Castellares, Marco Espezua, Cesar Olano, "Sellado de Juntas de los Canales Trapezoidales en el Proyecto Especial CHAVIMOCHIC", IX Congreso Nacional de Ingeniería Civil Ponencia
28. Willian R. Morrison, "Bureau of Reclamation Experiences with PVC Seams", 1990

PLANOS



FUENTE:
 ASOCIACION DE INGENIEROS TORRES
 PASTO GRANDE ORENQUEN JAGUAY
 P. y V. Ingenieros S.A.
 HC & ASOCIADOS 1981



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
 FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
 TITULACION POR EXAMEN PROFESIONAL
 MODALIDAD ACTUALIZACION DE CONOCIMIENTOS

REVESTIMIENTO DE CANALES CON GEOSINTETICOS
 CASO: "REHABILITACION CANAL CHEN CHEN - SAN ANTONIO"
 PLANTA GENERAL

LAMINA IV

01

ELABORADO POR: JUAN GONZALEZ (PROYECTISTA) REVISADO POR: APROBADO POR: FECHA: ESCALA: HOJA: 01

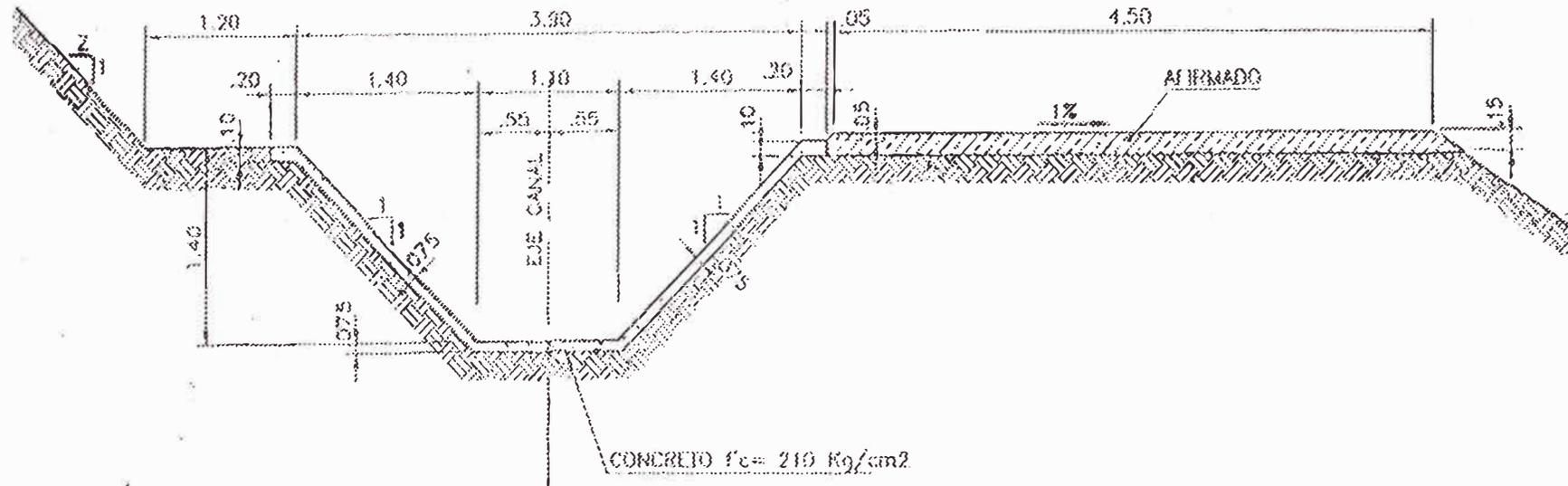
PROYECTO ESPECIAL PASTO GRANDE

TRAMO: SAN ANTONIO – JAGUAY

SECCION TIPICA – PROYECTO ORIGINAL (HC-PyV)

$Q=5.00\text{m}^3/\text{s}$. $S=0.0015$

ESCALA: 1/50



FUENTE:
ASOCIACION DE CONSULTORES
PASTO GRANDE CHENCHEN JAGUAY
P. y V. Ingenieros S.A.
CONSULTORES, PROYECTISTAS, SUPERVISORES
1984 - 1993
HC & ASOCIADOS SRL
CONSULTORES EN PROYECTOS DE INVERSION Y DESARROLLO DE RECURSOS



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
TITULACION POR EXAMEN PROFESIONAL
MODALIDAD ACTUALIZACION DE CONOCIMIENTOS

REVESTIMIENTO DE CANALES CON GEOSINTETICOS
CASO: "REHABILITACION CANAL CHEN CHEN – SAN ANTONIO"
SECCION TIPICA I - DISEÑO ORIGINAL 1995

LAMINA N°

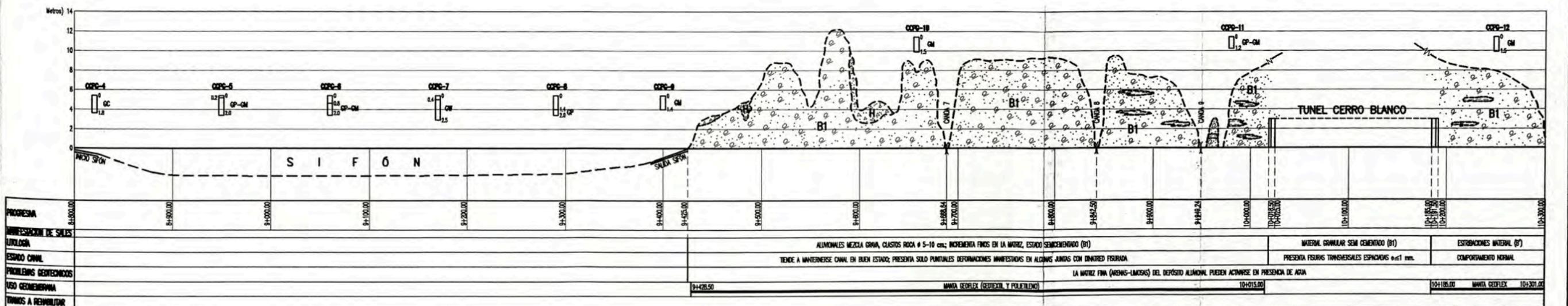
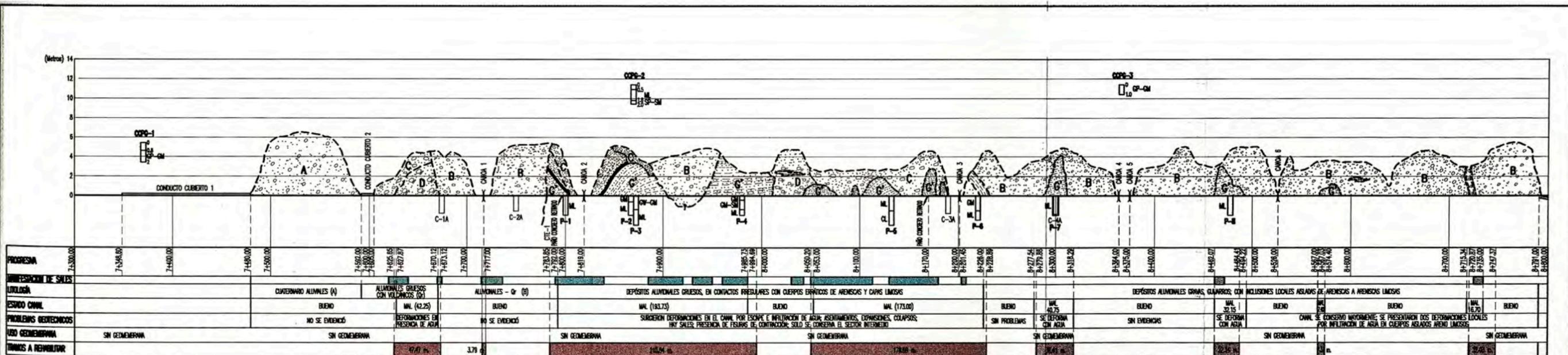
2

TESISTA : ULIANA GONZALEZ URIBAGAMON

ASESORA : MARISA SILVA ORTIZ

ESC : 1/ 50

FECHA : 2001



LEYENDA

- (A) DEPÓSITOS ALUMINALES COMPUESTO POR GRAVAS ARENSOSAS CON # PREDOMINANTES ENTRE 1 a 5 cm.; EN MENOR CANTIDAD HASTA 30 cm. DE #; POCOS FINOS; COMPACTO, SUELO NORMAL.
- (B) DEPÓSITO ALUMINAL CONTIENE CLUSTOS DE ROCA DE 1 a 10 cm. DE # PREDOMINANTEMENTE, TAMAÑOS MAYORES HASTA 30 cm.; COMPACTO, LIGERO INCREMENTO DE FINOS, TIENDE A UN SUELO CON DEBIL A MODERADA ACTIVIDAD.
- (B1) DEPÓSITO ALUMINAL TIENE SEMEJANTES CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS CON (B); SE INCREMENTA LOS FINOS EN LA MATRIZ, CONTIENE AISLADOS LENTES DE FINOS LIMOSOS; MAS COMPACTO Y MODERADAMENTE CEMENTADO; PRESENTA PATINAS BLANCAS, MODERADA ACTIVIDAD A ACTIVO.
- (C) ALUMINALES DE REGÍMENES MAS TURBULENTOS, CONTENIENDO FRAGMENTOS O BOLONERA MAS GROSAS MAS O MENOS DE 10 a 30 cm. DE #; MATRIZ ARENO LIMOSO CON MATEOS BLANQUECINOS, SON SUELOS CON ACTIVIDAD.
- (C1) DEPÓSITOS CONGLOMERÁTICOS CEMENTADOS, MODERADO A DEBIL ACTIVIDAD.
- (D) DEPÓSITO ALUMINAL CON FRAGMENTOS GROSOS EN MATRIZ ARENO LIMOSA; TUFACEA; CONTIENE FRAGMENTOS DE ROCA VOLCÁNICA ROSADO ALTERADA Y LENTES ERRÁTICOS DE LIMOLITAS BEG. EL SUELO TIENE ACTIVIDAD EN CONTACTO CON EL AGUA.
- (C) PAQUETES TÍPICOS (CAPAS) DE LA FM MOQUEGUA SUPERIOR COMPUESTO DE ARENSAS CON ALTERNANCIA DE LIMOLITAS COLOR BEG. PROPENSA A ALTERNAR Y PERDER CONSISTENCIA CON EL AGUA, MATERIAL CON ACTIVIDAD.
- (C') CUERPOS REMANENTES, ERRÁTICOS DE ARENSAS Y LIMOLITAS EN VARIAS CAPAS DE NATURALEZA TUFACEA, ESTÁN METIDOS DENTRO DEL CUERPO ALUMINAL QUE DOMINA ENTRE EL KM. 7+360 - 8+791; LOS SUELOS ARENO LIMOSOS AISLADOS MANTIENEN ACTIVIDAD EN PRESENCIA DE AGUA.
- (H) DEPÓSITOS COLUMNALES.

DATOS REFERENCIALES

- CALICATAS C0PG-1 a 19 EJECUTADAS EN 1995 POR LA ASOCIACION DE CONSULTORES PASTO GRANDE.
- CALICATAS P-1 a 8 EJECUTADAS EN SETIEMBRE 1999 POR CAL.
- CALICATAS O-1A a 4A EJECUTADAS EN FEBRERO DEL 2001 POR CP. MOQUEGUA.
- PLANOS COMO CONSTRUCCIONES P.P.-01 AL P.P.-05

FUENTE:
ASOCIACION DE CONSULTORES
PASTO GRANDE CHENCHEN JAGUAY
P. y V. Ingenieros S.A.
CONSULTORES - PROYECTOS - MONITOREO
LIMA - PERU
HC & ASOCIADOS SRL
CONSULTORES EN PROYECTO DE DISEÑO Y DESARROLLO DE TRACCION



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
TITULACION POR EXAMEN PROFESIONAL
MODALIDAD ACTUALIZACION DE CONOCIMIENTOS

REVESTIMIENTO DE CANALES CON GEOSINTETICOS
CASO: "REHABILITACION CANAL CHEN CHEN - SAN ANTONIO"
PERFIL GEOLÓGICO Y TRAMOS A REHABILITAR
KM. 7+360 AL KM. 12+800

Nº PLANO
GE-1
(1 DE 2)

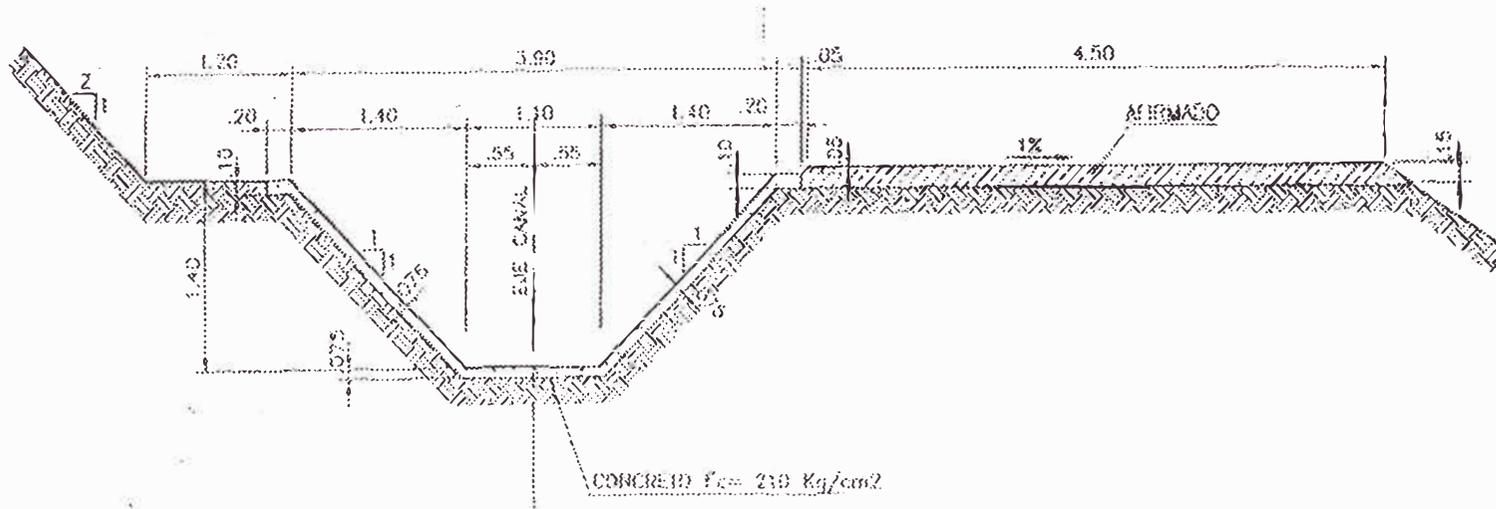
TESISTA : LILIANA GONZALES URBIZAGASTI

ASESORA : MARISA SILVA DAVILA

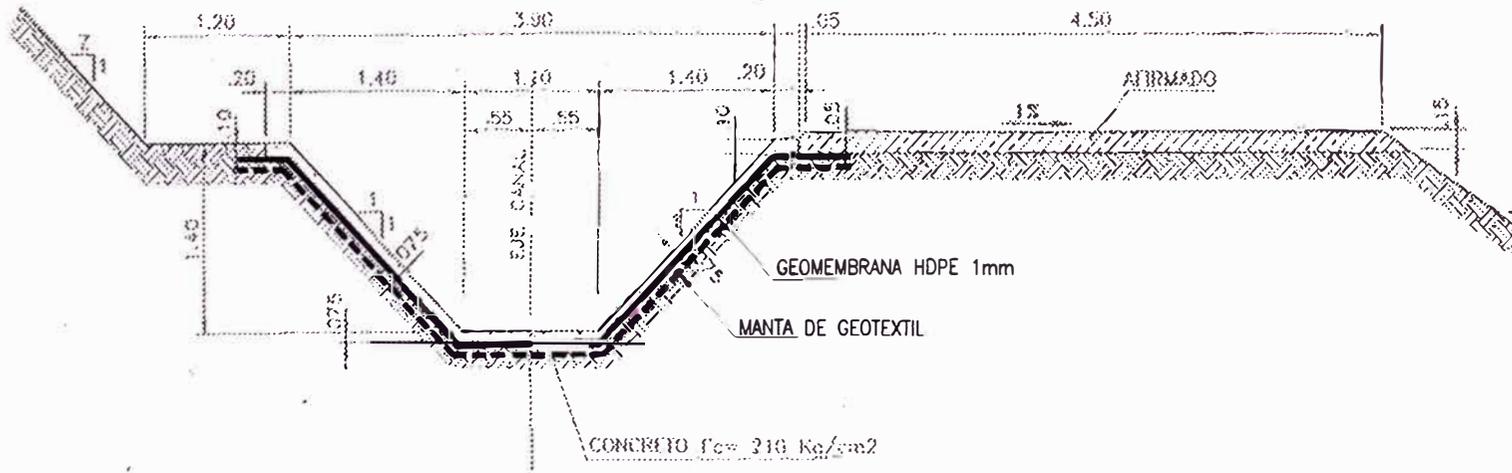
ESC. : 1/ 50

FECHA : 2001

ALTERNATIVA 1

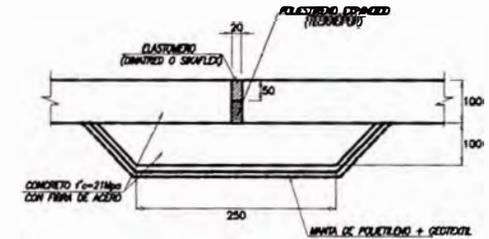


SECCION TIPO I

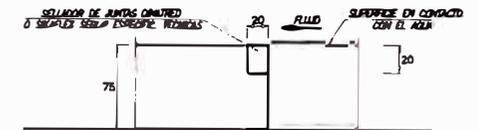


SECCION TIPO II (MATERIAL CON MORO MORO)

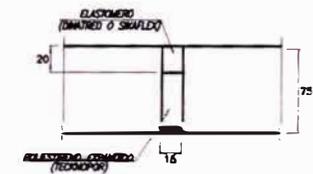
DETALLE JUNTA DE EXPANSION
ZONA MORO MORO C/15 m



JUNTA DE CONTRACCION TRANSVERSA @ 3,00 m.



JUNTA DE DEFORMACION TRANSVERSA @ 21,00 m.



NOTA: LAS MEDIDAS GENERALES ESTAN DADAS EN MILIMETROS.

FUENTE:
ASOCIACION DE CONSULTORES
PASTO GRANDE CHENCHEN JAGUAY
P. y V. Ingenieros S.A.
CONSULTORES, PROYECTISTAS - SUPERVISORES
LIMA, PERU
HC & ASOCIADOS SRL
CORREJ. POR EN PROYECTOS DE INYERZION Y DESARROLLO DE RECURSOS



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
TITULACION POR EXAMEN PROFESIONAL
MODALIDAD ACTUALIZACION DE CONOCIMIENTOS

REVESTIMIENTO DE CANALES CON GEOSINTETICOS
CASO: "REHABILITACION CANAL CHEN CHEN - SAN ANTONIO"
DISEÑO ORIGINAL PyV - HC & Asociados - 1995

CARTELA No. 04

4

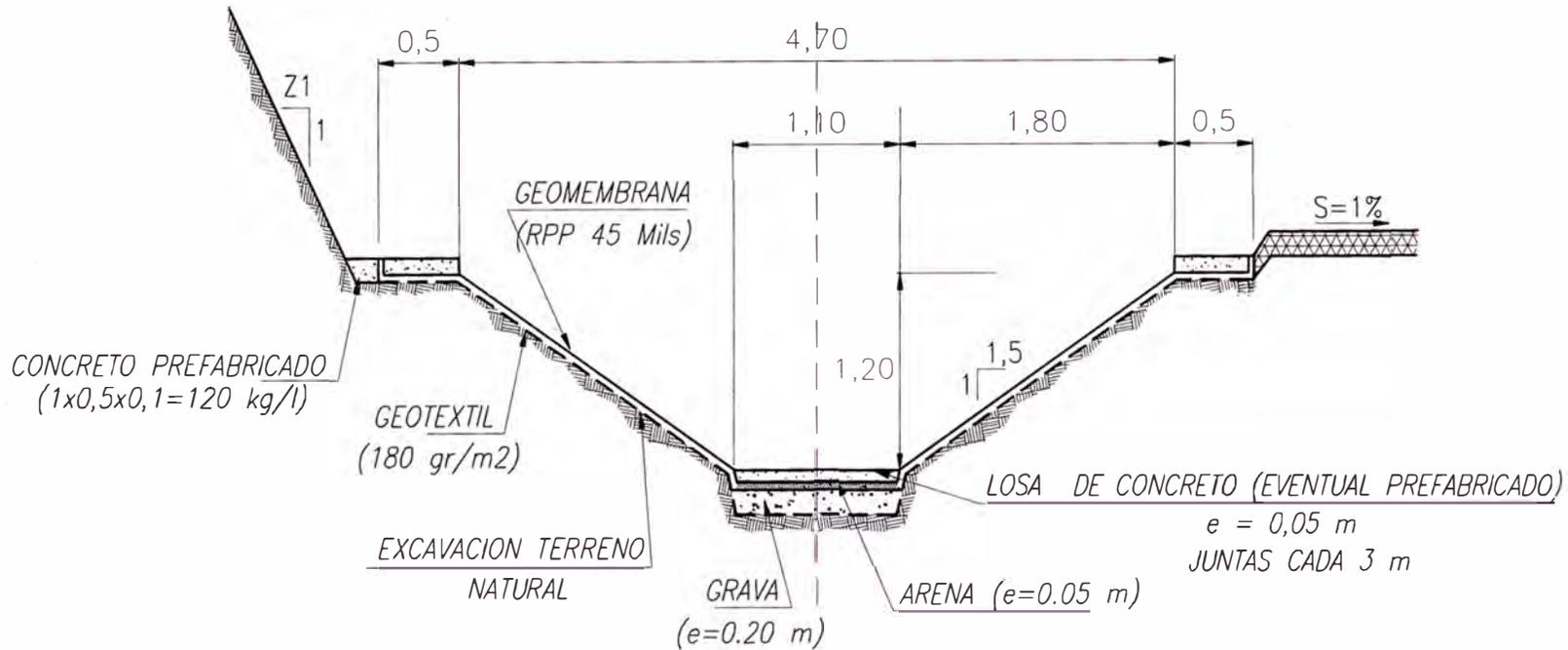
TESISTA : LILIANA GONZALES URBIZABAL

ASESORA : MARISA SILVA DAVILA

ESC : CITEFA

FECHA : 2001

ALTERNATIVA 3



FUENTE:

ELECTROWATT



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
 FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
 TITULACION POR EXAMEN PROFESIONAL
 MODALIDAD ACTUALIZACION DE CONOCIMIENTOS

REVESTIMIENTO DE CANALES CON GEOSINTETICOS
 CASO: "REHABILITACION CANAL CHEN CHEN - SAN ANTONIO"
 EVALUACION DE ALTERNATIVAS PARA LA REMODELACION
 ALTERNATIVA 3

LAMINA IV

06

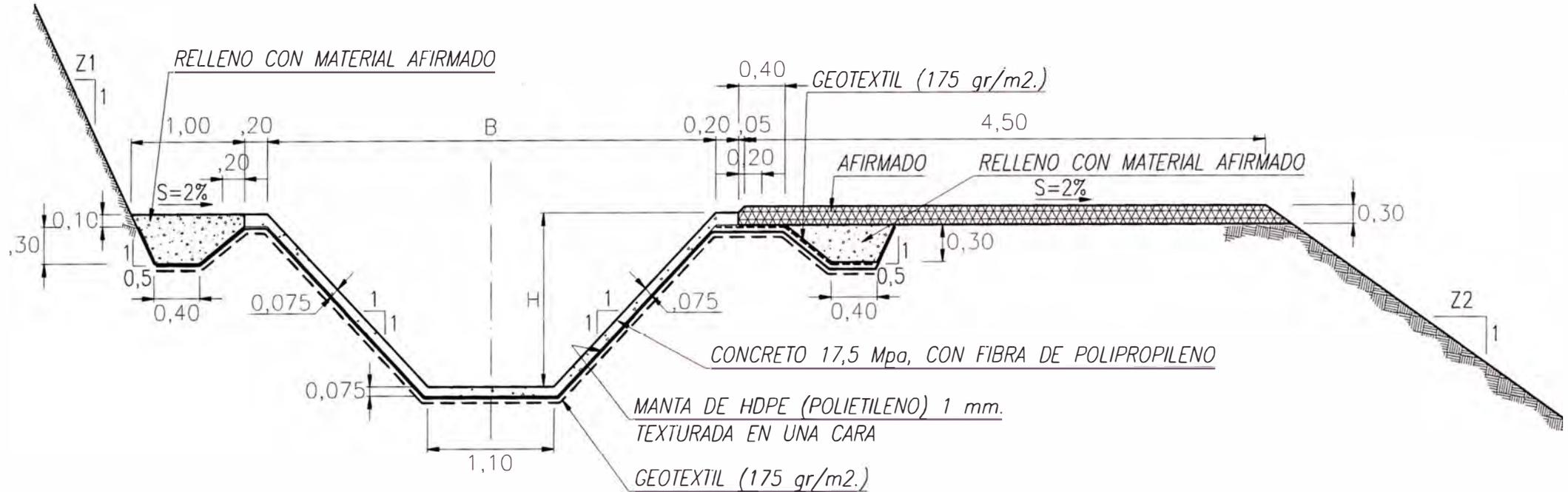
TESISTA : LILIANA CONZALES URBIZAGASTI

ASESORA : MARISA SILVA OVALA

ESC : 1/ 90

FECHA : 2001

ALTERNATIVA 4



| H | B | S |
|------|------|-------------|
| (m) | (m) | (pendiente) |
| 1,40 | 3,90 | 0,0015 |
| 1,50 | 4,10 | 0,0010 |

S = PENDIENTE CANAL

FUENTE:
ASOCIACION DE CONSULTORES
PASTO GRANDE CHENCHEN JAGUAY
P. y V. Ingenieros S.A.
CONSULTORES EN INGENIERIA, ARQUITECTURA, ESTADISTICA,
LIDERIA - PERU
HC & ASOCIADOS SRL
CONSULTORES EN INGENIERIA, ARQUITECTURA Y ORGANIZACION DE EMPRESAS



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
TITULACION POR EXAMEN PROFESIONAL
MODALIDAD ACTUALIZACION DE CONOCIMIENTOS

REVESTIMIENTO DE CANALES CON GEOSINTETICOS
CASO: "REHABILITACION CANAL CHEN CHEN - SAN ANTONIO"
EVALUACION DE ALTERNATIVAS PARA LA REMODELACION
ALTERNATIVA 4

LAMINA N°

07

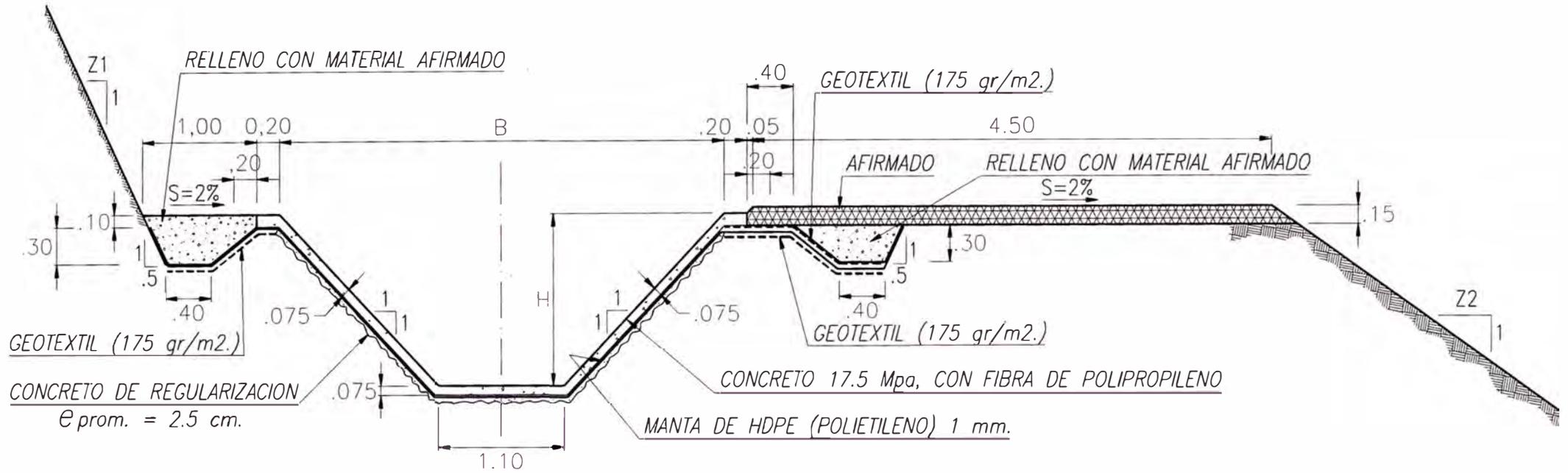
TESISTA : LUANA GONZALES URBIZASTI

ASESORA : MARISA SILVA DAPLA

ESC : 1/ 90

FECHA : 2001

ALTERNATIVA 4A



| H | B | S |
|------|------|-------------|
| (m) | (m) | (pendiente) |
| 1,40 | 3,90 | 0,0015 |
| 1,50 | 4,10 | 0,0010 |

S = PENDIENTE CANAL

FUENTE:
ASOCIACION DE CONSULTORES
PASTO GRANDE CHENCHEN JAGUAY
P. y V. Ingenieros S.A.
CONSEJERÍA, PROYECTIVAS, SUPERVISORES
LOMA - PERU
HC & ASOCIADOS SRL.
CENTRO TECNICO DE PROYECTOS DE INYERDIA Y GERENCIAMIENTO DE PROYECTOS



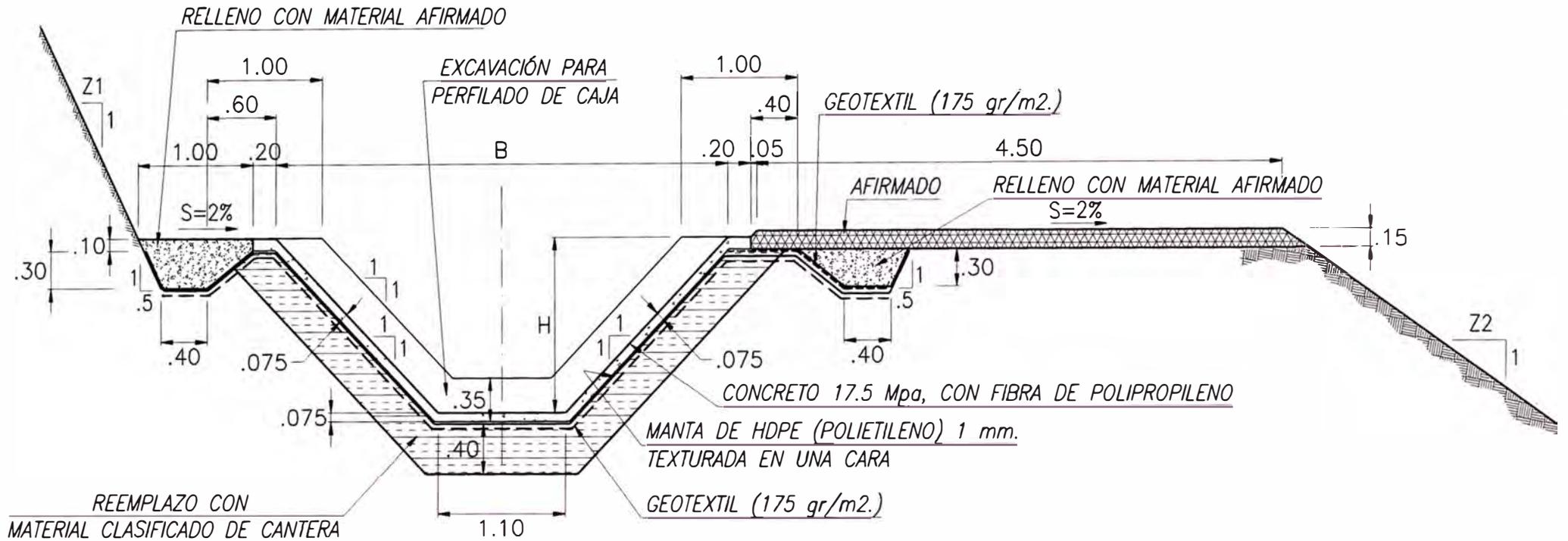
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
TITULACION POR EXAMEN PROFESIONAL
MODALIDAD ACTUALIZACION DE CONOCIMIENTOS

REVESTIMIENTO DE CANALES CON GEOSINTETICOS
CASO: "REHABILITACION CANAL CHEN CHEN - SAN ANTONIO"
EVALUACION DE ALTERNATIVAS PARA LA REMODELACION
ALTERNATIVA 4A

TESISTA : ULIANA GONZALES URBIZAGASTI ASESORA : MARISA SILVA DAVILA ESC : 1 / 50 FECHA : 2001

LAM N° INA
08

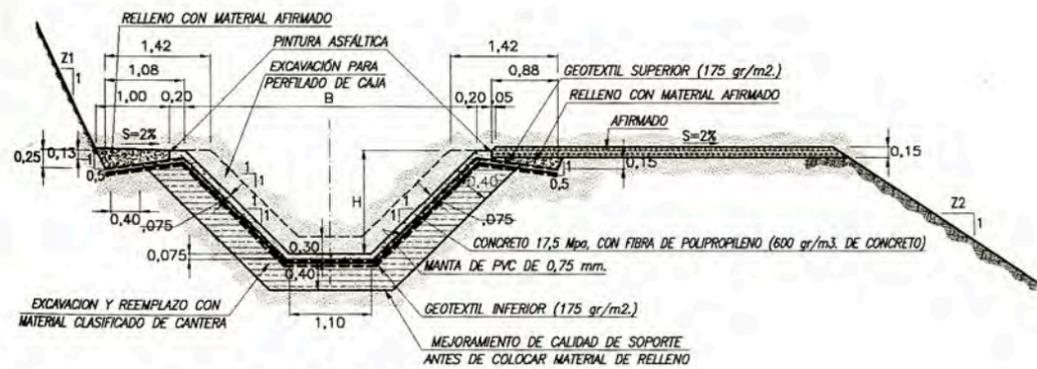
ALTERNATIVA 5



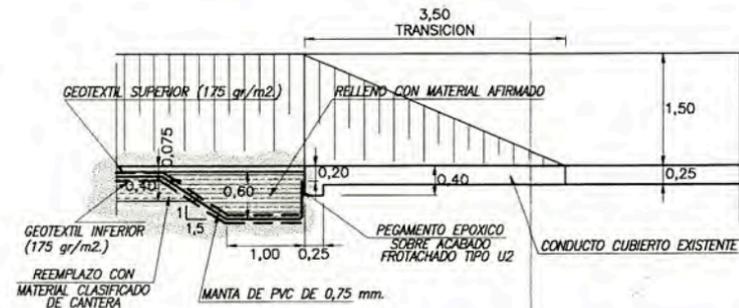
| H | B | S |
|------|------|-------------|
| (m) | (m) | (pendiente) |
| 1,40 | 3,90 | 0,0015 |
| 1,50 | 4,10 | 0,0010 |

S = PENDIENTE CANAL





SECCION TIPO A
ESCALA : 1/50



EMPALME ENTRE CANAL NUEVO Y
CONDUCTO CUBIERTO EXISTENTE
KM 11+883,15
ESCALA : 1/50

TRAMOS DE REEMPLAZO DE MATERIAL DE
AFIRMADO DE LA PLATAFORMA

| PROGRESIVA DE | A | LONGITUD (m) |
|----------------|-----------|---------------|
| 7+625,65 | 7+673,12 | 47,47 |
| 7+715,12 | 7+718,91 | 3,79 |
| 7+783,85 | 7+994,69 | 210,84 |
| 8+050,20 | 8+228,89 | 178,69 |
| 8+279,88 | 8+318,29 | 38,41 |
| 8+462,07 | 8+484,41 | 22,34 |
| 8+567,03 | 8+574,40 | 7,37 |
| 8+715,34 | 8+747,37 | 32,03 |
| 11+813,22 | 11+883,15 | 69,93 |
| 12+751,27 | 12+800,00 | 48,73 |
| TOTAL : | | 659,60 |

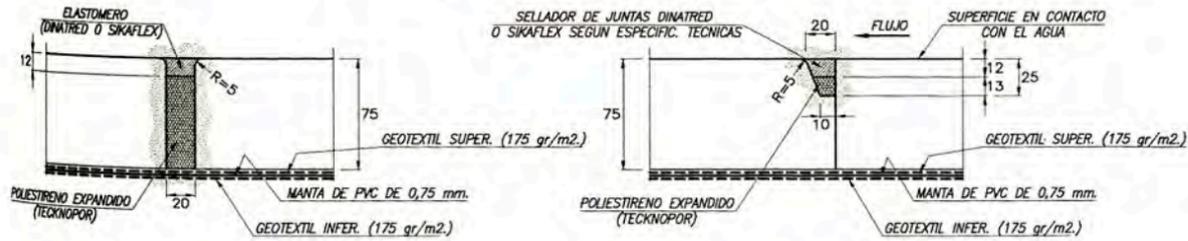
TRAMOS DEL CANAL A REHABILITAR

| PROGRESIVA DE | A | LONGITUD (m) |
|----------------|-----------|---------------|
| 7+625,65 | 7+673,12 | 47,47 |
| 7+783,85 | 7+994,69 | 210,84 |
| 8+050,20 | 8+228,89 | 178,69 |
| 8+279,88 | 8+318,29 | 38,41 |
| 8+462,07 | 8+484,41 | 22,34 |
| 8+567,03 | 8+574,40 | 7,37 |
| 8+720,87 | 8+747,37 | 26,5 |
| 11+813,22 | 11+883,15 | 69,93 |
| 12+751,27 | 12+800,00 | 48,73 |
| TOTAL : | | 650,28 |

CARACTERISTICAS DEL CANAL TRAPEZOIDAL

| H (m) | B (m) | S (m/m) |
|-------|-------|---------|
| 1,50 | 4,10 | 0,0010 |

S = PENDIENTE CANAL
H = ALTURA CAJA
B = ANCHO SUPERIOR



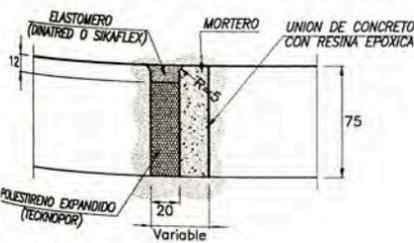
JUNTA DE DILATACION TRANSVERSAL @ 15,00 m.

ESCALA : 1/2,5

NOTA : LAS MEDIDAS GEOMETRICAS ESTAN DADAS EN MILIMETROS.

JUNTA DE CONTRACCION TRANSVERSAL @ 2,50 m.

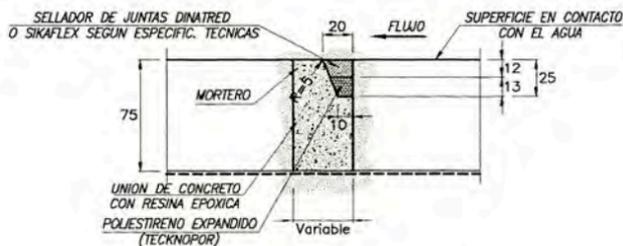
ESCALA : 1/2,5



REPARACION DE JUNTAS DE
DILATACION TRANSVERSAL @ 15,00 m.

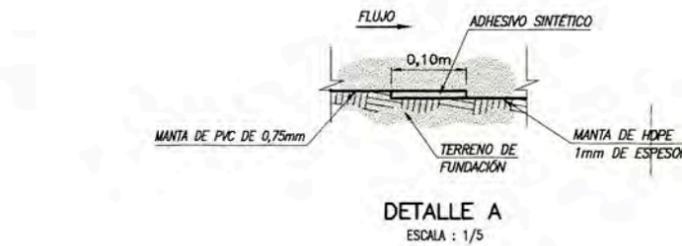
ESCALA : 1/2,5

NOTA : LAS MEDIDAS GEOMETRICAS ESTAN DADAS EN MILIMETROS.

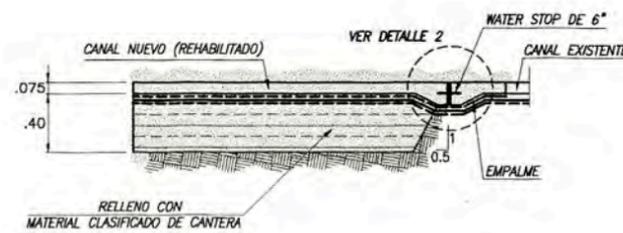


REPARACION DE JUNTAS DE
CONTRACCION TRANSVERSAL @ 2,50 m.

ESCALA : 1/2,5

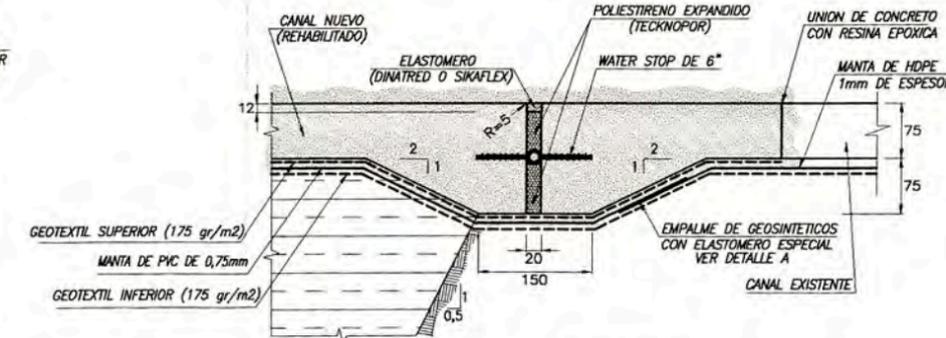


DETALLE A
ESCALA : 1/5



EMPALME ENTRE CANAL
EXISTENTE Y CANAL NUEVO
Km 10+467 a 11+884

ESCALA : 1/100



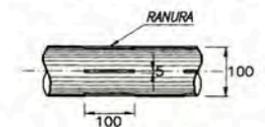
DETALLE 2
ESCALA : 1/5

NOTA : LAS MEDIDAS GEOMETRICAS ESTAN DADAS EN MILIMETROS.

LEYENDA

- OBRAS A REHABILITAR
- OBRAS EXISTENTES

DETALLE TUBO PVC RANURADO



ESCALA : 1/7,5

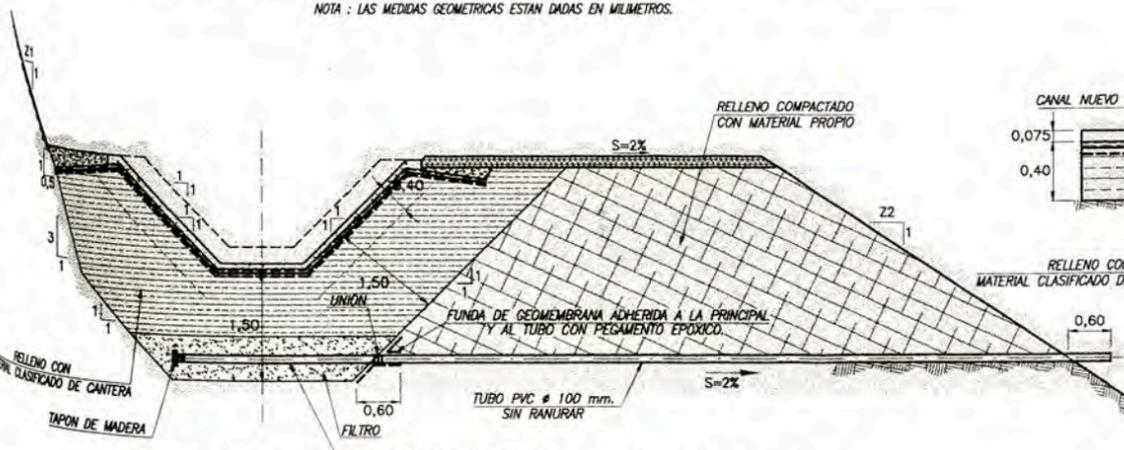
NOTA : LAS MEDIDAS GEOMETRICAS ESTAN DADAS EN MILIMETROS.

NOTAS :

- Z1 y Z2 PENDIENTES DEL TALUD EXCAVADO Y DE RELLENO RESPECTIVAMENTE
- LA SUPERVISION DEFINIRA EN EL SITIO LAS PROGRESIVAS EXACTAS DE LOS TRAMOS DEL CANAL Y DE CAMINO DE SERVICIO A SER REHABILITADOS. VERIFICARA EL REPLANTEO DE LOS DISEROS EN OBRA Y REALIZARA LOS AJUSTES Y ADECUACIONES EN CONFORMIDAD CON LAS CONDICIONES ENCONTRADAS EN EL TERRENO.
- CUANDO EL TERRENO EXCAVADO SE ENCUENTRE CON UN ALTO CONTENIDO DE HUMEDAD, EL SUPERVISOR DEFINIRA LA PROFUNDIDAD Y LA LONGITUD DEL TRAMO QUE REQUIERE UNA MAYOR EXCAVACION.
- POR LA ALTA SALINIDAD DE LOS SUELOS (CONTENIDO DE SULFATOS MAYOR A 0,2%), SE RECOMIENDA USAR CEMENTO TIPO V EN CONCRETOS EN CONTACTO DIRECTO CON EL SUELO DE CIMENTACION, SIN REEMPLAZO.
- PINTURA ASFALTICA EN LA JUNTA DE CONTACTO DEL CONCRETO DE REVESTIMIENTO Y EL RELLENO.
- EL ELASTOMERO ESPECIAL SERA TAPECOAT H-50 Y TAPE G-25 6 SIMILAR.

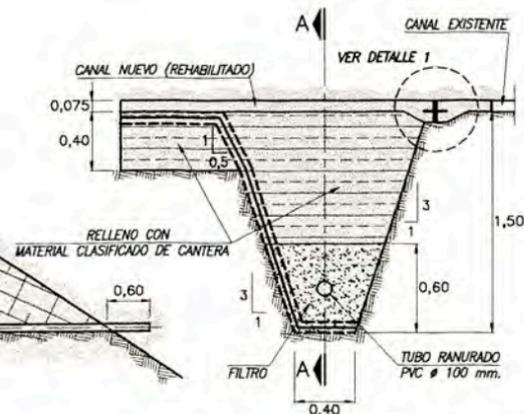
REFERENCIAS :

- PLANO N°27878 DEL PROYECTO ORIGINAL



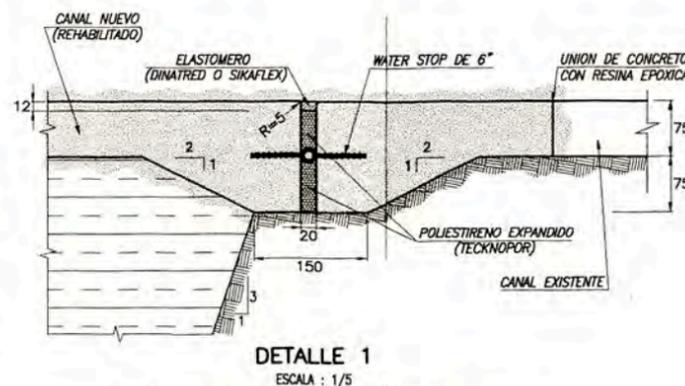
CORTE A-A
ESCALA : 1/50

| MALLA | 16 | 8 | 4 | 3/8" | 3/4" | 1 1/2" |
|----------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|
| % Reten. | 90-100 | 75-90 | 60-80 | 40-60 | 20-35 | 0 |



EMPALME ENTRE
CANAL EXISTENTE Y CANAL NUEVO
Km 7+624 a 8+745

ESCALA : 1/25



DETALLE 1
ESCALA : 1/5

NOTA : LAS MEDIDAS GEOMETRICAS ESTAN DADAS EN MILIMETROS.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
TITULACION POR EXAMEN PROFESIONAL
MODALIDAD ACTUALIZACION DE CONOCIMIENTOS

REVESTIMIENTO DE CANALES CON GEOSINTETICOS
CASO: "REHABILITACION CANAL CHEN CHEN - SAN ANTONIO"
OBRAS DE REHABILITACION

LAMINA N°

13

TESISTA : LILIANA GONZALES URBIZAGASTI

ASESORA : MARISA SILVA DAVILA

ESC. : 1/50

FECHA : 2001

ASOCIACION DE CONSULTORES
PASTO GRANDE CHENCHEN JAGUAY
P. y V. Ingenieros S.A.
CONSULTORES - PROYECTISTAS - SUPERVISORES
LIMA - PERU
HC & ASOCIADOS SRL
PROYECTOS DE INVERSION Y DESARROLLO DE RECURSOS



ANEXOS

ANEXO N° 1

Anexo N° 1

Inspección de Berma, Losa y Camino de Servicio del
Canal Chen Chen - San Antonio en el
Tramo Km 7+480 Al Km 8+791 antes del Sifón

(Hoja 1/5)

| Progresiva | | Juntas entre Paños | Longitud (m) | Descripción de Daños | | | | Camino de Servicio |
|------------|----------|--------------------|--------------|-------------------------|---|--------------------------------------|---|--|
| De | A | | | Canal | | | | |
| | | | | Berma Izquierda | Losa Izquierda | Piso | Losa Derecha | |
| 7+480,00 | 7+615,85 | 45 | 135,85 | | Bueno | Bueno | Bueno | |
| 7+615,85 | 7+620,75 | 2 | 4,90 | Presencia notoria sales | Bueno | Bueno | Bueno | |
| 7+620,75 | 7+625,65 | 2 | 4,90 | Presencia notoria sales | Bueno | Bueno | Bueno | Contracción terreno |
| 7+625,65 | 7+631,12 | 2 | 5,47 | Presencia notoria sales | Regular, Losa fallada, Dinatred fisurado | Regular | Regular, Losa fallada, Dinatred fisurado junta abierta | Contracción terreno, Presencia notoria sales |
| 7+631,12 | 7+637,12 | 2 | 6 | Presencia notoria sales | Fisuras en losa | Tubo cubierto con capa de suelo | Fisuras en losa, Ligera contracción terreno | Presencia notoria sales |
| 7+637,12 | 7+646,13 | 3 | 9,01 | | Mal, Contracción terreno: separación 8 a 16 cm de la losa, Fisuras y grietas longitudinales en losa, Dinatred levantado y agrietado, Losa fallada | Tubo cubierto con capa de suelo | Mal: separación 2 a 6 cm de la losa, Fisuras y grietas longitudinales en losa, Dinatred levantado y agrietado, Losa fallada | Contracción terreno, Presencia notoria sales |
| 7+646,13 | 7+664,12 | 6 | 17,99 | | Mal, Dinatred levantado y agrietado, Separación juntas > 1,5 cm, Losas falladas, Grietas longitudinales en losa | Tubo cubierto con capa de suelo | Mal, Dinatred levantado y agrietado, Separación juntas > 1,5 cm, Losa falladas, Algunas grietas longitudinales en losa | Contracción terreno, Presencia notoria sales |
| 7+664,12 | 7+673,12 | 3 | 8,88 | Presencia notoria sales | Regular, Algunas juntas y grietas resanadas con mortero, Ligero hundimiento en un paño losa | Regular | Regular, Algunas juntas y grietas resanadas con mortero, Ligero hundimiento en un paño losa | Contracción terreno, Presencia notoria sales |
| 7+673,00 | 7+715,12 | 14 | 42,12 | | Bueno | Bueno | Bueno | |
| 7+717,00 | 7+718,91 | | 3,79 | | | CANOA | | |
| 7+715,12 | 7+736,12 | 7 | 21,00 | | Regular, Losas con algunas fisuras | Regular | Regular, Sello de juntas fallado | Presencia notoria sales |
| 7+736,12 | 7+781,15 | 18 | 45,03 | | Bueno | Bueno | Bueno | |
| 7+781,15 | 7+789,25 | 3 | 8,1 | | Regular, Inicio de tramo de canal fallado, Ligeros levantamientos y asentamientos losa | Regular | Regular, Inicio de tramo de canal fallado | |
| 7+789,25 | 7+796,20 | 3 | 6,95 | Presencia notoria sales | Mal, Fisuras y grietas longitudinales en losa fallada (levantamientos y hundimientos) losa, Dinatred levantado y agrietado | Mal, tubo cubierto con capa de suelo | Mal, Fisuras y grietas longitudinales en losa, Dinatred levantado y agrietado, Losa fallada | Contracción terreno, Presencia notoria sales |
| 7+796,20 | 7+804,69 | 4 | 8,49 | | Mal, Dinatred fisurado y levantado, Losa fallada (levantada y asentada) | Mal, tubo cubierto con capa de suelo | Mal, Dinatred fisurado y levantado, Losa fallada | Contracción terreno, Presencia notoria sales |

Anexo N° 1

**Inspección de Berma, Losa y Camino de Servicio del
Canal Chen Chen - San Antonio en el
Tramo Km 7+480 Al Km 8+791 antes del Sifón**

(Hoja 2/5)

| Progresiva | | Juntas entre Paños | Longitud (m) | Descripción de Daños | | | | |
|------------|----------|--------------------------|-----------------|-------------------------------|---|--|--|--|
| De | A | | | Canal | | | | Camino de Servicio |
| | | | | Berma Izquierda | Losa Izquierda | Piso | Losa Derecha | |
| 7+804,69 | 7+817,43 | 6 | 12,74 | Presencia notoria sales | Mal, Fisuras y levantado longitudinales en losa, Dinatred fisurado levantado, Losa fallada | Mal, Cubierto con capa de suelo, | Mal, Dinatred fisurado y levantado, Losa fallada | Presencia notoria sales |
| 7+819,00 | 7+820,90 | | | | | CANOA | | |
| 7+817,43 | 7+825,93 | 4 | 8,5 | Presencia notoria sales | Mal, Grietas longitudinales en losa, Dinatred fisurado, Asentamientos en losa | Mal, Cubierto con capa de suelo, | Mal, Dinatred fisurado, Asentamientos en losa | Contracción terreno |
| 7+825,93 | 7+839,66 | 6 | 13,73 | Presencia notoria sales | Mal, Grietas longitudinales en losa, Dinatred levantado, Losa fallada, Contracción terreno: separación 3 a 6 cm de losa | Mal, Cubierto con capa de suelo | Mal, Dinatred fallado, Losa fallada, Contracción terreno: separación 2 a 13 cm de losa | Presencia notoria sales Grietas longitudinales, aberturas 0,5 a 4 cm |
| 7+839,66 | 7+842,40 | 2 | 2,74 | | Mal, Grietas longitudinales en losa, Dinatred levantado y fisurado, Losa levantada, Contracción terreno: separación 3 a 6 cm de losa | Mal, Cubierto con capa de suelo | Mal, Dinatred levantado y fisurado, Losa fallada Contracción terreno: separación 5 a 10 cm de losa | Presencia notoria sales Grietas longitudinales, aberturas 0,5 a 4 cm |
| 7+842,40 | 7+847,30 | 2 | 4,9 | | Regular, Algunas grietas longitudinales | Regular, Cubierto con capa de suelo | Regular, Losa fallada, Dinatred levantado, Contracción terreno adyacente | |
| 7+847,30 | 7+861,55 | 5 | 14,25 | | Regular, Algunas fisuras longitudinales en losa | Regular | Regular, Contracción terreno separación de losa, Dinatred fisurado, Losa fallada | Grietas longitudinales 1 cm |
| 7+861,55 | 7+876,84 | 5 | 15,29 | | Mal, Algunas grietas longitudinales Losa fallada, Dinatred despegado Contracción Terreno: separación 2 a 5 cm de losa | Mal, Cubierto con capa de suelo | Mal, Grietas longitudinales, Losa fallada, Dinatred despegado y fisurado, Contracción terreno: Separación 2 a 5 cm de losa | Grietas longitudinales de 1 a 2 cm |
| 7+876,84 | 7+889,11 | 4 | 12,27 | Grietas longitudinales | Mal, Losa fallada, Dinatred despegado y fisurado | Mal, Cubierto con capa de suelo | Mal, Algunas grietas longitudinales en losa, Dinatred despegado y levantado, Contracción terreno: separación 2 a 8 cm de losa | Grietas longitudinales |
| 7+889,11 | 7+927,2 | 16 | 38,09 | Presencia notoria de sales | Mal, Losa levant, y asent, Dinatred fisurado y despegado | Mal, Cubierto con capa de suelo | Mal, Grietas longitudinales en losa, Losa fallada | Contracción terreno Presencia notoria sales |

Anexo N° 1

**Inspección de Berma, Losa y Camino de Servicio del
Canal Chen Chen - San Antonio en el
Tramo Km 7+480 Al Km 8+791 antes del Sifón**

(Hoja 3/5)

| Progresiva | | Juntas entre Paños | Longitud (m) | Descripción de Daños | | | | |
|------------|----------|--------------------------|-----------------|--|--|---|---|---|
| De | A | | | Canal | | | | Camino de Servicio |
| | | | | Berma Izquierda | Losa Izquierda | Piso | Losa Derecha | |
| 7+927,2 | 7+942,47 | 5 | 15,27 | Presencia notoria de sales | Regular, Pequeño deterioro en losa, Dinatred fisurado y fallado, juntas resanadas con mortero | Regular | Regular, Juntas resanadas con mortero | |
| 7+942,47 | 7+991,72 | 17 | 49,24 | Presencia notoria de sales, Grietas longitudinales | Mal, Grietas longitudinales en losa, Falla de la losa, asentamientos > 5 cm, Dinatred levantado, fisurado | Mal, Grietas longitudinales, Dinatred fallado, fisurado | Mal, Grietas longitudinales en losa, Falla de la losa fallada, Asentamientos > 5 cm, Dinatred fisurado, levantado | Contracción terreno, Presencia notoria sales |
| 7+991,72 | 8+045,21 | | 53,5 | Bueno | Bueno, Algunas juntas resanadas con mortero por posible falla del dinatred, Fisura en una losa | Bueno, C/agua, | Bueno, Algunas juntas resanadas con mortero por falla del dinatred, | Bueno |
| 8+045,21 | 8+053,10 | 3 | 7,91 | Presencia notoria de sales | Bueno, | Bueno | Bueno, | |
| 8+053,10 | 8+070,47 | 6 | 17,35 | Presencia notoria de sales | Mal, Grietas longitudinales en losa, Dinatred despegado y levantado, Losa fallada | Mal, Cubierto con capa de suelo | Mal, Grietas longitudinales en losa, Dinatred despegado y levantado | Presencia notoria sales |
| 8+070,47 | 8+109,10 | 14 | 38,63 | Presencia notoria de sales | Mal, Grietas longitudinales, Losas falladas, Dinatred levantado o desprendido | Mal, Cubierto con suelo | Mal, Grietas longitudinales, Losas falladas, Dinatred levantado o desprendido | Presencia notoria de sales, Algunas Grietas de contracción |
| 8+109,10 | 8+136,84 | 10 | 27,74 | | Mal, Grietas longitudinales, Losas falladas, Dinatred levantado o desprendido | Mal, Cubierto con suelo | Mal, Grietas longitudinales, Losas falladas, Dinatred fisurado o levantado | Presencia notoria de sales |
| 8+136,84 | 8+160,09 | 9 | 23,25 | Presencia notoria de sales | Mal, Algunas Grietas longitudinales, Losas falladas, Dinatred, desprendido y fisurado | Mal, Algunas grietas longitudinales | Mal, Algunas grietas longitudinales, Dinatred fisurado, Una junta resanada con mortero | |
| 8+160,09 | 8+193,04 | 13 | 32,95 | Presencia notoria de sales | Mal, Grietas longitudinales, Losa colapsada, falladas, Dinatred despegado, fisurado, Contracción del terreno, separación de la losa > 5 cm | Mal, Grietas longitudinales, Losa colapsada, asentamientos mayores a 3 cm | Mal, Grietas longitudinales, Losa colapsada, falladas, Dinatred desprendido, Contracción terreno separación de la losa de 2 a 20 cm | Presencia notoria de sales, Algunas fisuras en el ultimo paño |
| 8+193,04 | 8+199,85 | 3 | 6,81 | | Bueno, Pequeña fisura en losa | Bueno | Bueno, Dinatred ligeramente levantado | |

Anexo N° 1

**Inspección de Berma, Losa y Camino de Servicio del
Canal Chen Chen - San Antonio en el
Tramo Km 7+480 Al Km 8+791 antes del Sifón**

(Hoja 4/5)

| Progresiva | | Juntas entre Paños | Longitud (m) | Descripción de Daños | | | | |
|------------|------------|--------------------------|-----------------|----------------------|--|---|---|--|
| De | A | | | Canal | | | | Camino de Servicio |
| | | | | Berma Izquierda | Losa Izquierda | Piso | Losa Derecha | |
| 8+200,51 | 8+202,41 | | | | | CANOA | | |
| 8+199,85 | 8+208,93 | 4 | 9,08 | | Bueno, Algunas pequeñas Fisuras en losa, Dinatred levantado en un pañó, Ligero levantamiento en un pañó de losa | Bueno | Bueno, Dinatred levantado, y ligero levantamiento de un pañó de losa | |
| 8+208,93 | 8+225,94 | 6 | 17,01 | | Mal, Grietas longitudinales, Losa fallada, Dinatred fisurado. Contracción terreno, separación de la losa de 1 a 5 cm | Mal, Losa fisurada | Mal, Losa con algunas fisuras, Contracción del terreno, separación de la losa de 1 a 5 cm | |
| 8+225,94 | 8+279,88 | 21 | 53,94 | | Bueno | Bueno, Con agua | Bueno | |
| 8+279,88 | 8+321,26 | 15 | 41,38 | | Mal, Grietas longitudinales Losas colapsadas, Asentamientos mayores a 4 cm en progresiva 8+309,44, Dinatred fisurado y levantado, Contracción de terreno con separación de losa de 2 a 5 cm | Mal, Falla de losa y asentamientos mayores a 7cm en progresiva 8+309,44, Dinatred fisurado y levantado, | Mal, Grietas longitudinales, Losas colapsadas, Dinatred fisurado y levantado, Contracción terreno y separación de losa de 2 a 5 cm | Grietas longitudinales entre progresivas 8+303,94 y 8+309,44 |
| 8 + 321,26 | 8 + 462,07 | 54 | 140,81 | | Bueno, Algunas juntas con dinatred desprendido | Bueno | Bueno | |
| 8+364,00 | 8+365,90 | | | | | CANOA | | |
| 8+375,00 | 8+376,90 | | | | | CANOA | | |
| 8+462,07 | 8+479,54 | 6 | 17,44 | | Mal, Losa colapsadas, Dinatred desprendido y levantado, Contracción terreno con separación de losa de 1 a 5 cm | Mal, Cubierto con suelo, | Mal, Grietas longitudinales, Losas colapsadas, Levantamientos mayores a 3 cm, Dinatred Fisurado y levantado, Contracción terreno con separación de losa de 2 a 7 cm, | Presencia notoria de Sales, Grietas longitudinales |
| 8 + 479,51 | 8 + 494,22 | 6 | 14,71 | | Mal, Juntas separadas, Dinatred fisurado y levantado; losa fallada, Contracción terreno | Mal, Con agua | Mal, Dinatred fisurado y desprendido; losa fallada | |
| 8 + 494,22 | 8 + 526,00 | 8 | 31,78 | | Bueno | Bueno | Bueno | |
| 8 + 526,00 | 8 + 527,00 | | | | | CANOA | | |
| 8 + 526,00 | 8 + 567,04 | 16 | 40,04 | | Bueno | Bueno | Bueno | |
| 8+567,04 | 8+574,40 | 3 | 7,79 | | Mal, Grietas longitudinales , Losas falladas, Dinatred desprendido, Contracción terreno | Mal, Cubierto con suelo | Mal, Grietas longitudinales losas falladas, Dinatred desprendido | Contracción terreno |

Anexo N° 1

**Inspección de Berma, Losa y Camino de Servicio del
Canal Chen Chen - San Antonio en el
Tramo Km 7+480 Al Km 8+791 antes del Sifón**

(Hoja 5/5)

| Progresiva | | Juntas entre Paños | Longitud (m) | Descripción de Daños | | | | Camino de Servicio |
|------------|----------|--------------------------|-----------------|----------------------------|--|---|--|----------------------------|
| De | A | | | Canal | | | | |
| | | | | Berma Izquierda | Losa Izquierda | Piso | Losa Derecha | |
| 8+574,40 | 8+715,34 | 54 | 140,51 | | Bueno | Bueno | Bueno | |
| | | | | | Dinatred desprendido en progresiva 8+608,98 Dinatred fisurado progresivas, 8+632,39 8+647,39, 8+685 | | Dinatred desprendido en progresiva, 8+608,98 Dinatred fisurado en progresivas, 8+632,39, 8+647,39 | |
| 8+715,34 | 8+738,30 | 9 | 22,96 | Presencia notoria de sales | Regular, Algunas fisuras en losa, Juntas resanadas con mortero, Losa ligeramente levantada en progresiva 8+735,4 | Regular, Juntas resanadas con mortero, Dinatred fisurado en progresiva 8+728,57 | Regular, Algunas fisuras en losa, Juntas resanadas con mortero, Losa ligeramente levantado en progresiva 8+735,4 | Presencia notoria de sales |
| 8+738,30 | 8+787,77 | 16 | 49,47 | | Bueno, Losas ligeramente levantadas en progresiva, 8+761,5, 8+764,4, 8+781,97, 8+784,87, 8+787,77, Dinatred deteriorado en progresiva 8+787,77 | Bueno | Bueno, Losa ligeramente levantadas en progresiva, 8+761,5, 8+764,4, 8+779,07, Dinatred fisurado en progresiva 8+764,4 despegado en progresiva 8+779,07, deteriorado en progresiva 8+787,77 | |
| 8+787,77 | 8+791,00 | | 8,23 | | | E, TRANSICIÓN AL SIFÓN | | |

Las evaluaciones están basadas en observaciones de campo, ya que las fallas saltan a la vista, que se confirma con las fotografías que se muestran en el Anexo Final,

ANEXO N° 2

Anexo N° 2

**Inspección de Berma, Losa y Camino de Servicio
del Canal Chen Chen - San Antonio
en el Tramo Km 9+419,5 A Km 12+800 después del Sifón**

(Hoja 1/9)

| Progresiva | | Juntas entre Paños | Descripción de Daños | | | | | Camino de Servicio |
|------------|---------|--------------------------|---------------------------------|--|--|--|---------------------------------|-----------------------|
| De | A | | Canal | | | | | |
| | | | Berma Izquierda | Losa Izquierda | Piso | Losa Derecha | | |
| 9+419,5 | 9+425 | | Presencia grieta contracción | | | | Presencia grieta contracción | |
| 9+425,0 | 9+429,4 | | Presencia grieta contracción | | | | Presencia grieta contracción | |
| 9+429,4 | | | | S. Elastomérico descompuesto corona | | S. Elastomérico descompuesto corona | | |
| | | P1-P2 | | S. Elastomérico descompuesto parcial | | S. Elastomérico descompuesto parcial | | |
| | | | | Paño P2 levantado a 5 a 1 cm | | Paño P2 levantado a 5 a 1 cm | | |
| | | P2-P3 | | S. Elastomérico descompuesto parcial | | S. Elastomérico descompuesto parcial | | |
| | | P3-P4 | | | S. Elastomérico descompuesto parcial. Fisura en piso. | | | |
| | | P4-P5 | | S. Elastomérico descompuesto parcial | | S. Elastomérico descompuesto parcial | | |
| | | P5-P6 | | S. Elastomérico descompuesto parcial | | S. Elastomérico descompuesto parcial | | |
| | | P6-P7 | | | | S. Elastomérico fisurado parcial | | |
| | | P9-P10 | | | | S. Elastomérico fisurado parcial | | |
| | | P10-P11 | | | | S. Elastomérico fisurado parcial | | |
| | | P13-P14 | | | | S. Elastomérico fisurado parcial | | |
| | | P14-P15 | | S. Elastomérico fisurado parcial | | S. Elastomérico fisurado parcial | | |
| | | P18-P19 | | | | | | |
| | | P19-P20 | | | | | | |
| | | P24-P25 | | | | | | |
| | | P27 | | | | | | |
| | | P-29-P30 | | | | Fisura parcial | | |
| | | | | | | S. Elastomérico despegado parcial | | |
| | | P32-P33 | | S. Elastomérico esporjado. | | S. Elastomérico esponjado | | |
| | | P33-P34 | | S. Elastomérico fisurado, despegado | | S. Elastomérico fisurado, despegado | | |
| | | P34 | | Fisura parcial | | | | |
| | | P39 | | Fisura parcial | | | | |
| | | P49-P50 | | | | | | |
| | | P-50 | | | | S. Elastomérico despegado parcial | | |
| | | P50-P51 | | S. Elastomérico despegado | | Fisura parcial | | |
| | | P51 | | | | S. Elastomérico despegado. | | |
| | | P55-P56 | | S. Elastomérico despegado parcial | | Fisura parcial | | |
| | | | | | | S. Elastomérico despegado parcial | | |

Anexo N° 2

**Inspección de Berma, Losa y Camino de Servicio
del Canal Chen Chen - San Antonio
en el Tramo Km 9+419.5 A Km 12+800 después del Sifón**

(Hoja 2/9)

| Progresiva | | Juntas entre Paños | Descripción de Daños | | | | | |
|------------|---|--------------------|----------------------|--|--|------|--------------------------------------|----------------------------|
| De | A | | Canal | | | Piso | Losa Derecha | Camino De Servicio |
| | | Berma Izquierda | Losa Izquierda | | | | | |
| | | P67 | | | | | | Grieta contracción parcial |
| | | P72 | | | | | Fisura parcial | |
| | | P73 | | Fisura parcial | | | Fisura parcial | |
| | | P77-P78 | | S. Elastomérico fisurado parcial | | | S. Elastomérico fisurado parcial | |
| | | P80-P81 | | Fisura parcial | | | Fisura parcial | |
| | | P88 | | | | | Fisura parcial | |
| | | P89-P90 | | Fisura parcial | | | Fisura parcial | |
| | | P90-P91 | | Fisura parcial | | | Fisura parcial e < 1 mm | |
| | | P96 | | Fisura parcial | | | | |
| | | P99 | | Fisura parcial | | | | |
| | | P101 | | Fisura parcial | | | | |
| | | P101-P102 | | S. Elastomérico despegado parcial | | | S. Elastomérico despegado parcial | |
| | | P108-P109 | | S. Elastomérico despegado parcial | | | S. Elastomérico despegado parcial | |
| | | P116-P117 | | S. Elastomérico despegado parcial | | | S. Elastomérico despegado parcial | |
| | | P126-P127 | | S. Elastomérico fisurado parcial | | | | |
| | | P139-P140 | | S. Elastomérico fisurado corona | | | | |
| | | P163-P164 | | Fisura parcial | | | Fisura parcial | |
| | | P166-P167 | | S. Elastomérico fisurado parcial | | | S. Elastomérico fisurado parcial | |
| | | P167-P168 | | | | | S. Elastomérico fisurado parcial | |
| | | P167 | | Fisura parcial | | | | |
| | | P169 | | Fisura parcial | | | | |
| | | P188-P189 | | S. Elastomérico esponjado | | | S. Elastomérico esponjado | |
| | | P189 | | Fisura parcial | | | | |
| | | P191 | | | | | | |
| | | P191-P192 | | | | | Fisura parcial | |
| | | | | | | | S. Elastomérico despegado parcial | |
| | | | | | | | S. Elastomérico descompuesto | |
| | | P193-P194 | | S. Elastomérico esponjado. | | | S. Elastomérico esponjado | |
| | | P197 | | | | | Fisura parcial | |
| | | P197-P198 | | S. Elastomérico descompuesto parcial | | | S. Elastomérico descompuesto parcial | |
| | | P198-P199 | | S. Elastomérico despegado, esponjado | | | S. Elastomérico despegado, esponjado | |
| | | P199-P200 | | S. Elastomérico Descompuesto | | | | |
| | | P201-P202 | | S. Elastomérico despegado, descompuesto. | | | | |

Anexo N° 2

**Inspección de Berma, Losa y Camino de Servicio
del Canal Chen Chen - San Antonio
en el Tramo Km 9+419,5 A Km 12+800 después del Sifón**

(Hoja 3/9)

| Progresiva | | Juntas entre Paños | Descripción de Daños | | | | Camino de Servicio |
|------------|-----------|--------------------|-------------------------------|---|---|--|--------------------|
| De | A | | Canal | | | | |
| | | | Berma Izquierda | Losa Izquierda | Piso | Losa Derecha | |
| | | P203-P204 | | S. Elastomérico esponjado | Fisuras longitudinales y mal acabado. (Ver Metrados en Anexo N° 3) | S. Elastomérico esponjado | |
| | | P207 | | Fisura parcial | | | |
| | | P207-P208 | | S. Elastomérico despegado parcial | | S. Elastomérico despegado parcial | |
| | | P209-P210 | | S. Elastomérico esponjado | | S. Elastomérico esponjado | |
| | | P210-P211 | | S. Elastomérico esponjado | | S. Elastomérico esponjado | |
| | | P215-P216 | | S. Elastomérico esponjado, arrancado | | S. Elastomérico esponjado, arrancado | |
| | | P218-P219 | | S. Elastomérico esponjado | | | |
| | | P220-P221 | | S. Elastomérico esponjado | | S. Elastomérico esponjado | |
| | | P221 | | S. Elastomérico arrancado, resanado con mortero | | S. Elastomérico resanado con mortero | |
| 10+015 | 10+018,5 | | | | TRANSICION ENTRADA FALSO TUNEL | | |
| 10+018,5 | 10+025 | | | | FALSO TUNEL ENTRADA | | |
| 10+025 | 10+185 | | | | TUNEL CERRO BLANCO | | |
| 10+185 | 10+191,5 | | | | FALSO TUNEL SALIDA | | |
| 10+191,5 | 10+195 | | | | TRANSICION SALIDA TUNEL | | |
| 10+200,95 | | | | | | S. Elastomérico despegado parcial | |
| | | P228-P229 | | S. Elastomérico despegado parcial | | | |
| | | P230-P231 | | S. Elastomérico despegado parcial | | | |
| | | P261 | | S. Elastomérico parcial descompuesto esponjado | | S. Elastomérico parcial descompuesto esponjado | |
| 10+301,25 | 10+304,5 | | | | BUENO. TRANSICIÓN ENTRADA ACUEDUCTO | | |
| 10+304,5 | | | | | INICIO ACUEDUCTO 1 | | |
| 10+311,18 | 10+330,64 | | Evidencia Grietas contracción | Grietas contracción | Bueno | Bueno | |
| 10+330,64 | | | | S. Elastomérico despegado, fisurado | | S. Elastomérico despegado, fisurado | |

Anexo N° 2

**Inspección de Berma, Losa y Camino de Servicio
del Canal Chen Chen - San Antonio
en el Tramo Km 9+419,5 A Km 12+800 después del Sifón**

(Hoja 4/9)

| Progresiva | | Juntas entre Paños | Descripción de Daños | | | | |
|------------|-----------|--------------------|---|---|--|---|---|
| De | A | | Canal | | Piso | Losa Derecha | Camino de Servicio |
| | | Berma Izquierda | Losa Izquierda | | | | |
| 10+347,64 | | | | S. Elastomérico despegado, fisurado | | S. Elastomérico despegado, fisurado | |
| 10+367,12 | | | | S. Elastomérico despegado | | S. Elastomérico despegado. | |
| 10+367,12 | 10+373 | | Grietas contracción parciales | | | | |
| 10+373 | | | | | FIN DE ACUEDUCTO | | |
| 10+373 | 10+376,56 | | Bermas laterales grietas de contracción parciales | | TRANSICION SALIDA ACUEDUCTO 1 | | |
| | | P268 | | Fisura parcial | Fisuras longitudinales en el piso y mal acabado en varias losas. Tramo pésimamente construido. (Ver Anexo N° 3) | | |
| | | P268-P269 | | S. Elastomérico despegado, fisurado | | | |
| | | P273-P274 | | S. Elastomérico despegado, parcial | | | |
| | | P286-P287 | | S. Elastomérico arrancado, resanado con mortero | | | |
| | | P288 | | | | | |
| | | P288-P289 | | S. Elastomérico arrancado, resanado con mortero | | | S. Elastomérico arrancado, resanado con mortero |
| | | P289 | | | | | Fisura parcial e < 1 mm |
| | | P289-P290 | | S. Elastomérico arrancado, resanado con mortero | | | S. Elastomérico arrancado, resanado con mortero |
| | | P295-P296 | | S. Elastomérico arrancado, resanado con mortero | | S. Elastomérico arrancado, resanado con mortero | |
| | | P296-P297 | | S. Elastomérico arrancado, resanado con mortero | | | |
| 10+507,5 | | | | S. Elastomérico fisurado, parcial, resanado | | | |
| 10+507,5 | 10+511 | | | | BUENO. TRANSICION ENTRADA ACUEDUCTO | | |
| 10+511 | | | | | INICIO ACUEDUCTO 2 | | |
| 10+511 | 10+515,4 | | | Bueno | Bueno | Bueno | |
| 10+515,4 | | | | Bueno | Bueno | Bueno | |
| 10+515,4 | 10+543,8 | | | Bueno | Bueno | Bueno | |
| 10+543,8 | | | | S. Elastomérico fisurado | S. Elastomérico fisurado | S. Elastomérico fisurado | |
| 10+543,8 | 10+568,72 | | | Bueno | Bueno | Bueno | |
| 10+568,72 | | | | S. Elastomérico despegado, parcial | | | |
| 10+568,72 | 10+584,72 | | | Bueno | Bueno | Bueno | |

ANEXO N° 2

**Inspección de Berma, Losa y Camino de Servicio
del Canal Chen Chen - San Antonio
en el Tramo Km 9+419,5 A Km 12+800 después del Sifón**

(Hoja 5/9)

| Progresiva | | Juntas entre Paños | Descripción de Daños | | | | |
|------------|-----------|--------------------|----------------------|---|---|---|--------------------|
| De | A | | Berma Izquierda | Berma Derecha | Piso | Losa Derecha | Camino de Servicio |
| 10+584,72 | | | | S. Elastomérico despegado parcial | | | |
| 10+584,72 | 10+596,39 | | | Bueno | Bueno | | |
| 10+595,39 | | | | S. Elastomérico despegado parcial | FIN ACUEDUCTO | | |
| 10+595,39 | 10+598,9 | | | | TRANSICION FIN ACUEDUCTO 2 | | |
| 10+598,9 | | | | S. Elastomérico descompuesto, esponjado | | S. Elastomérico descompuesto, esponjado | |
| | | P446-P447 | | S. Elastomérico despegado parcial | | | |
| | | P467-P468 | | S. Elastomérico fisurado parcial | | | |
| | | P497-P498 | | S. Elastomérico despegado fisurado | | S. Elastomérico despegado, fisurado | |
| | | P519-P520 | | S. Elastomérico despegado fisurado | | S. Elastomérico despegado, fisurado parcial | |
| 11+215 | 11+664 | P529-P695 | | S. Elastomérico parcialmente descompuesto (esponjado). Posiblemente debido a mala preparación del sello | S. Elastomérico parcial o total descompuesto (esponjado), debido a mala preparación del sello | S. Elastomérico parcial o totalmente descompuesto (esponjado). Posiblemente debido a mala preparación del sello | |
| 11+679 | | P707-P702 | | S. Elastomérico fisurado parcial | S. Elastomérico fisurado parcial | S. Elastomérico fisurado parcial | |
| | | P715-P716 | | S. Elastomérico fisurado parcial | | | |
| | | P717-P718 | | | | S. Elastomérico arrancado parcial | |
| | | P729-P730 | | S. Elastomérico despegado fisurado parcial | | S. Elastomérico despegado, fisurado parcial | |
| 11+762,40 | | P730-P731 | | S. Elastomérico despegado fisurado parcial | | | |
| | | P741-P742 | | S. Elastomérico fisurado parcial | Fisuras longitudinales y mal acabado en varias losas. (Ver Metrados en Anexo N° 3) | S. Elastomérico fisurado parcial | |
| 11+816,25 | | P748-P749 | | S. Elastomérico arrancado, resanado con mortero | | | |
| 11+819,21 | | P749-P750 | | | | S. Elastomérico arrancado, resanado con mortero | |
| | | P750-P751 | | S. Elastomérico resanado con mortero parcial | | | |
| | | P751-P752 | | S. Elastomérico arrancado, resanado con mortero parcial | | | |
| | | P752-P753 | | S. Elastomérico fisurado parcial | | S. Elastomérico fisurado parcial | |

Anexo N° 2

**Inspección de Berma, Losa y Camino de Servicio
del Canal Chen Chen - San Antonio
en el Tramo Km 9+419,5 A Km 12+800 después del Sifón**

(Hoja 6/9)

| Progresiva | | Juntas entre Paños | Descripción de Daños | | | | |
|------------|---|--------------------|----------------------|--|---|--|--------------------|
| De | A | | Canal | | Piso | Losa Derecha | Camino de Servicio |
| | | Berma Izquierda | Berma Derecha | | | | |
| | | P753-P754 | | S. Elastomérico arrancado, resanado con mortero parcial | | | |
| | | P754-P755 | | S. Elastomérico arrancado, resanado con mortero parcial | | S. Elastomérico arrancado, resanado con mortero parcial | |
| | | P755 | | | | Fisura longitudinal en la corona, resanada. | |
| | | P755-P756 | | S. Elastomérico descompuesto | | S. Elastomérico descompuesto | |
| | | P756-P757 | | S. Elastomérico esponjado, semidescompuesto, resanado con mortero en las coronas. P756 levantado 2 cm. P757 levantado 1 cm | | S. Elastomérico esponjado, semidescompuesto, resanado con mortero en las coronas. P756 levantado 2 cm. P757 levantado 1 cm | |
| | | P757-P758 | | Lado Berma (D). S. Elastomérico descompuesto | | S. Elastomérico arrancado, resanado con mortero | |
| | | P758-P759 | | S. Elastomérico esponjado, resanado con mortero parcial. Levantado 7 mm | Fisuras longitudinales y mal acabado en varias losas. (Ver Metrados en Anexo N° 3) | S. Elastomérico esponjado, resanado con mortero parcial | |
| | | P759-P760 | | S. Elastomérico esponjado | | S. Elastomérico esponjado, resanado con mortero parcial | |
| | | P760-P761 | | S. Elastomérico despegado parcial. | | S. Elastomérico con mortero parcial | |
| | | P761-P762 | | S. Elastomérico despegado parcial esponjado | | S. Elastomérico despegado. Parcial esponjado | |
| | | P762-P763 | | S. Elastomérico esponjado | | S. Elastomérico esponjado | |
| | | P763-P764 | | | | S. Elastomérico arrancado, resanado con mortero. P764 levantado 8 mm | |
| | | P764-P765 | | S. Elastomérico esponjado despegado parcial | | S. Elastomérico Resanado con mortero parcial | |
| | | P765-P766 | | | | S. Elastomérico arrancado, resanado con mortero | |
| 11+869,96 | | P766-P767 | | S. Elastomérico semi-descompuesto, esponjado. | | S. Elastomérico semi-descompuesto, esponjado Resanado con concreto. P766 levantado 1.5 cm | |
| | | P767-P768 | | S. Elastomérico arrancado, resanado con mortero. P768 levantado 2 cm en la corona | | | |

Anexo N° 2

**Inspección de Berma, Losa y Camino de Servicio
del Canal Chen Chen - San Antonio
en el Tramo Km 9+419,5 A Km 12+800 después del Sifón**

(Hoja 7/9)

| Progresiva | | Juntas entre Paños | Descripción de Daños | | | | |
|------------|-----------|--------------------|----------------------|--|---|---|--------------------|
| De | A | | Berma Izquierda | Berma Derecha | Piso | Losa Derecha | Camino de Servicio |
| | | P768-P769 | | S. Elastomérico arrancado, resanado con mortero | Fisuras longitudinales y mal acabado en varias losas. (Ver Metrados en Anexo N° 3) | S. Elastomérico arrancado, resanado con mortero | |
| | | P768 | | | | Levantado 2 cm y fisura parcial | |
| | | P769 (769-770) | | Fisura parcial Resanado con mortero P770 levantado 1.5 a 2 cm en la base | | Resanado con mortero P770 levantado 1.5 a 2 cm en la base | |
| | | P770 | | | | Fisura parcial resanada | |
| 11+879,96 | | P770-P771 | | Resanado con mortero | | Resanado con mortero | |
| 11+882,47 | | | | Resanado con mortero | | Resanado con mortero P771 levantado 2 cm apoyo | |
| 11+882,47 | 11+885,97 | | | | | TRANSICIÓN INICIO CONDUCTO CUBIERTO (CC3) | |
| 11+885,97 | | | | S. Elastomérico levantado | | | |
| 11+885,97 | 12+119,0 | | | | CONDUCTO CUBIERTO | | |
| 12+119,0 | 12+122,3 | | | | TRANSICIÓN SALIDA CONDUCTO CUBIERTO (CC3) | | |
| 12+311,05 | | P839-P840 | | S. Elastomérico fisurado parcial | | S. Elastomérico fisurado parcial | |
| | | P842-P843 | | S. Elastomérico fisurado semi-despegado parcial | | | |
| | | P868-P869 | | S. Elastomérico despegado parcial | | S. Elastomérico despegado parcial | |
| 12+404,77 | | P875-P876 | | | Fisuras longitudinales y mal acabado. (Ver Metrados en Anexo N° 3) | S. Elastomérico despegado fisurado parcial | |
| | | P891-P892 | | S. Elastomérico despegado fisurado parcial | | S. Elastomérico despegado fisurado parcial | |
| | | P901-P902 | | S. Elastomérico fisurado parcial | | S. Elastomérico fisurado parcial | |
| | | P913-P914 | | S. Elastomérico fisurado parcial | | S. Elastomérico fisurado parcial | |
| | | P914-P915 | | S. Elastomérico fisurado y despegado parcial | | S. Elastomérico fisurado y despegado parcial | |
| | | P918-P919 | | S. Elastomérico fisurado y despegado parcial | | S. Elastomérico fisurado y despegado parcial | |
| | | P920-P921 | | S. Elastomérico fisurado y despegado parcial | | S. Elastomérico fisurado y despegado parcial | |

Anexo N° 2

**Inspección de Berma, Losa y Camino de Servicio
del Canal Chen Chen - San Antonio
en el Tramo Km 9+419,5 A Km 12+800 después del Sifón**

(Hoja 8/9)

| Progresiva | | Juntas en tre Paños | Descripción de Daños | | | | Camino de Servicio |
|------------|----------|---------------------|----------------------|--|--|--|----------------------------|
| De | A | | Canal | | | | |
| | | | Berma Izquierda | Losa Izquierda | Piso | Losa Derecha | |
| 12+599 | 12+602,5 | | | | TRANSICION INICIO PUENTE (CC4) | | |
| 12+602,5 | 12+614,7 | | | | PUENTE VEHICULAR | | |
| 12+614,7 | 12+618,2 | | | | TRANSICION SALIDA PUENTE (CC4) | | |
| 12+618,2 | | | | S. Elastomérico fisurado y despegado parcial | | S. Elastomérico fisurado y despegado parcial. Paño de transición derecho levantado 8 mm. | |
| | | P941-P942 | | S. Elastomérico fisurado y despegado parcial | S. Elastomérico fisurado y despegado parcial | S. Elastomérico fisurado y despegado parcial | Grieta contracción 8mm |
| | | P942-P945 | | | | | Grieta contracción 8 mm |
| | | P947-P948 | | S. Elastomérico despegado, fisurado parcial | | S. Elastomérico despegado, fisurado parcial | |
| | | P950-P951 | | Resanado con mortero parcial | | Resanado con mortero parcial | |
| | | P953-P954 | | S. Elastomérico despegado parcial | | | |
| | | P958-P959 | | Resanado con mortero | Resanado con mortero | Resanado con mortero | |
| | | P959-P960 | | S. Elastomérico esponjado | S. Elastomérico esponjado | S. Elastomérico esponjado | |
| | | P961 | | Fisura longitudinal en la corona | | | |
| | | P963-P964 | | Resanado con mortero P963 levantado 8 mm | Resanado con mortero P963 levantado 8 mm | Resanado con mortero P963 levantado 8 mm | Grieta contracción |
| | | P964-P965 | | S. Elastomérico esponjado | S. Elastomérico esponjado | S. Elastomérico esponjado | Grietas contracción |
| | | P966-P967 | | Resanado con mortero | | | |
| | | P967-P968 | | S. Elastomérico fisurado parcial | | | |
| | | P968-P969 | | | | S. Elastomérico fisurado parcial | |
| | | P969-P970 | | Resanado con mortero | | Resanado con mortero | Grieta contracción parcial |
| | | P970-P971 | | Resanado con mortero | | Resanado con mortero | |
| | | P974-P975 | | S. Elastomérico esponjado | S. Elastomérico esponjado | S. Elastomérico esponjado | |
| | | P978-P979 | | | | S. Elastomérico fisurado parcial | |
| | | P982-P983 | | S. Elastomérico fisurado parcial | | | |
| | | P984-P985 | | S. Elastomérico esponjado | S. Elastomérico esponjado | S. Elastomérico esponjado | |
| 12+758,55 | | P987-P988 | | Lado izquierdo resanado con mortero | | S. Elastomérico fisurado parcial. Levantado 8 mm | |

Anexo N° 2

**Inspección de Berma, Losa y Camino de Servicio
del Canal Chen Chen - San Antonio
en el Tramo Km 9+419,5 A Km 12+800 después del Sifón**

(Hoja 9/9)

| Progresiva | | Juntas entre Paños | Descripción de Daños | | | | Camino de Servicio |
|------------|---|--------------------|---|---|--|---|--|
| De | A | | Canal | | | | |
| | | | Berma Izquierda | Losa Izquierda | Piso | Losa Derecha | |
| | | P991 | | | | | Grietas contracción |
| | | P991-P992 | | | | S. Elastomérico fisurado parcial y levantado 1.5 cm. P992 derecha | Grietas contracción |
| | | P993-P994 | | | | S. Elastomérico fisurado parcial, grieta contracción | Grietas contracción |
| | | P994-P995 | Grieta de contracción Presencia de sales | | | S. Elastomérico esponjado, P994 levantado | Grietas contracción |
| | | P995 | | | | Fisura parcial corona | |
| | | P998-P999 | Presencia de sales | Resanado con mortero P998 levanto 1.5 cm | | Resanado con mortero P998 levanto 1.5 cm | |
| | | P999-P1000 | | | | Resanado con mortero P1000 levanto 3 cm sales | |
| | | P1000-P1001 | Presencia de sales | S. Elastomérico despegado parcial | | | |
| | | P1001-P1002 | Presencia de sales | Resanado con mortero | Resanado con mortero | Resanado con mortero | |
| | | P1002-P1003 | Presencia de sales | S. Elastomérico despegado parcial | | S. Elastomérico despegado parcial | |
| | | P1003-P1004 | Presencia de sales | | | S. Elastomérico esponjado | |
| | | P1004-P1005 | Presencia de sales | S. Elastomérico despegado parcial P1004 lev. 1.5 cm | | | |
| 12+800 | | P1005-P1006 | Presencia notoria de sales | | Aparece desnivel de 30 cm en los últimos 80 m, que causa el empozamiento del agua e impide que llegue como flujo libre a la toma San Antonio | | Pequeñas contracciones del terreno junto a la losa derecha desde la progresiva aprox. 12+660 |

El paño 1 (P1) se inicia en la progresiva 9+419,5 y el paño 1006 (P1006) termina en la progresiva 12+800.

ANEXO N° 3

Anexo N° 3

Cuadro de Metrado de Fisuras a lo Largo del Canal

| Progresiva | | Longitud del Canal (m) | | | |
|--------------|-----------|------------------------|-----------------|---------------|----------------|
| De | A | Sub-Total | Talud Izquierdo | Talud Derecho | Piso |
| 7+480,00 | 7+592,00 | 112,00 | ,050 | 0,40 | 0,40 |
| 7+605,00 | 7+625,65 | 20,65 | 2,50 | 1,00 | 0,90 |
| 7+673,12 | 7+715,85 | 42,73 | 4,00 | 3,50 | 0,80 |
| 7+718,15 | 7+783,85 | 65,70 | 1,20 | 2,20 | 1,00 |
| 7+994,69 | 8+050,20 | 55,51 | 1,00 | 2,50 | 1,25 |
| 8+228,89 | 8+279,88 | 50,99 | 1,00 | 0,80 | 0,50 |
| 8+318,29 | 8+362,85 | 44,56 | 4,20 | 4,20 | 1,50 |
| 8+365,15 | 8+373,85 | 8,70 | 1,70 | 1,20 | 1,00 |
| 8+376,15 | 8+462,07 | 85,92 | 4,00 | 3,50 | 2,10 |
| 8+484,41 | 8+524,85 | 40,44 | 3,20 | 3,00 | 1,10 |
| 8+527,15 | 8+567,03 | 39,88 | 3,50 | 3,80 | 0,80 |
| 8+574,40 | 8+720,87 | 146,47 | 6,40 | 5,50 | 2,00 |
| 8+747,37 | 8+791,00 | 43,63 | 2,10 | 2,50 | 1,00 |
| 9+425,00 | 9+687,65 | 262,65 | 10,00 | 9,00 | 115,00 |
| 9+689,95 | 9+847,35 | 151,40 | 15,10 | 13,50 | 68,13 |
| 9+843,65 | 9+947,85 | 104,20 | 10,50 | 9,50 | 45,00 |
| 9+950,15 | 10+018,50 | 68,35 | 7,00 | 6,30 | 30,70 |
| 10+191,50 | 10+311,00 | 119,50 | 12,00 | 10,00 | 50,00 |
| 10+376,00 | 10+511,00 | 135,00 | 9,00 | 13,00 | 59,00 |
| 10+595,30 | 11+813,22 | 1217,92 | 25,00 | 13,50 | 500,00 |
| 12+119,00 | 12+602,50 | 483,50 | 32,00 | 35,00 | 215,00 |
| 12+614,70 | 12+751,27 | 136,57 | 10,00 | 7,00 | 50,00 |
| Total | | 3436,27 | 165,90 | 150,90 | 1147,18 |

ANEXO N° 4

Anexo N° 4

**Inventario de Fisuras por Paños de Concreto
 en el Túnel Cerro Blanco**

| Progresiva (Km) | N° Paño | N° de Fisuras por Paños | | | Descripción |
|-----------------------|------------|-------------------------|--------|--------------------|--|
| | | Hastial Izquierdo | Bóveda | Hastial Derecho | |
| 10+015.00 - 10+018.50 | | | | | Transición Entrada a Falso Túnel |
| 10+018.50 - 10+026.00 | | Falso Túnel Entrada | | | (10+026 - Inicio Túnel) |
| | 1 | 2 | 1 | 2 | Todas las fisuras son transversales al eje del túnel; tienen un trazo irregular y propenden a continuar en la bóveda; su espesor en todos los casos es superior a 1 mm; no se observa fallas por desprendimiento de shotcrete. |
| | 2 | 1 | 1 | 1 | |
| | 3 | 1 | | 1 | |
| | 4 | 1 | | 4 | |
| | 5 | 2 | | 1 | |
| | 6 | 1 | | 1 | |
| | 7 | 3 | | | |
| | 8 | 2 | | 2 | |
| | 9 | 3 | | 3 | |
| | 10 | 4 | | 2 | |
| | 11 | 2 | | 2 | |
| | 12 | 1 | | 3 | |
| | 13 | 3 | 1 | 3 | |
| | 14 | 2 | | 2 | |
| | 15 | 2 | | 2 | |
| | 16 | 3 | | 2 | |
| | 17 | 4 | | 4 | |
| 10+185,00 | | Fin Túnel Cerro Blanco | | | |
| 10+182,12 - 10+184,12 | | | | | La bóveda del túnel expone las calaminas y cimbras; se requiere completar el recubrimiento con shotcrete o con concreto. |
| 10+185,00 - 10+191,50 | | Falso Túnel Salida | | | |
| 10+191,50 - 10+195,00 | | | | | Transición Salida Falso Túnel |

ANEXO N° 5

Anexo N° 5

**Inventario de Daños en las Canoas del
Canal Chen Chen - San Antonio**

| Progresiva | | Descripción de Daños | | | |
|------------|----------|----------------------|--------------------|-------------------|--|
| De | A | Transición Ingreso | Estructura Central | Transición Salida | Descripción |
| 7+717,00 | 7+718,91 | | | X | Canoa se ubica dentro de un tramo de terreno de fundación normal. En la losa de transición de salida, se presentan 2 fisuras transversales, Canoa en buen estado, |
| 7+819,00 | 7+820,91 | X | X | X | Canoa se ubica dentro de un tramo de terreno de suelos con materiales areniscas-limolitas, En la losa de transición de ingreso a la canoa desde la Qda, la losa del lado izquierdo se ha hundido aprox. 2,5 cm y la junta de construcción se abrió hasta 5 cm. Al inicio del muro de la estructura de cruce, lado derecho, presenta fisuras irregulares. La losa de la transición de salida presenta una fisura transversal. |
| 8+200,50 | 8+202,4 | X | | X | Canoa se ubica dentro de un tramo de suelo granular con matriz limosa. La losa de transición de entrada evidencia 3 fisuras cruzadas y la losa saliente una fisura transversal. |
| 8+364,00 | 8+365,91 | | | X | Canoa se ubica dentro de un tramo de suelo inerte; se evidencia una fisura transversal en la losa de salida. |
| 8+375,00 | 8+376,90 | | | X | Canoa se ubica dentro de un tramo de terreno inerte. Se observa 2 fisuras cerradas en la losa de salida. |
| 8+526,00 | 8+527,90 | | | X | Canoa se ubica dentro de un tramo de terreno inerte. Se observa una fisura e = 1,5 mm en la losa de salida. |
| 9+688,64 | 9+690,70 | | | X | Canoa se ubica dentro de un suelo granular de matriz limo arenosa. Presenta una fisura transversal en la losa de salida. CANOA en buen estado. |
| 9+842,50 | 9+844,40 | X | | X | Canoa se ubica en un suelo granular de matriz limo arenosa. Presenta una fisura en la losa de entrada y salida. CANOA en buen estado. |
| 9+949,24 | 9+951,14 | X | | X | Canoa se ubica dentro de un suelo granular de matriz limo arenosa. Presenta una fisura en la losa de entrada y salida. CANOA en buen estado. |

ANEXO N° 6

Anexo N° 6

Tramos donde se han Observado Daños en el Camino de Servicio debido a Presencia de Sales, Agrietamiento y Otros

| N° Tramo | Progresiva (km) | | Longitud (m) |
|-----------------|------------------------|-----------|---------------------|
| 1 | 7+625,65 | 7+673,12 | 47,47 |
| 2 | 7+715,12 | 7+718,91 | 3,79 |
| 3 | 7+783,85 | 7+994,69 | 210,84 |
| 4 | 8+050,20 | 8+228,89 | 178,69 |
| 5 | 8+279,88 | 8+318,29 | 38,41 |
| 6 | 8+462,07 | 8+484,41 | 22,34 |
| 7 | 8+567,03 | 8+574,40 | 7,37 |
| 8 | 8+715,34 | 8+747,37 | 32,03 |
| 9 | 11+813,22 | 11+883,15 | 69,93 |
| 10 | 12+751,27 | 12+800,00 | 48,73 |
| Total | | | 659,60 |

ANEXO N° 7

ANEXO N° 7

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Contenido

| | Pág |
|--|------------|
| 1. DEMOLICIÓN DE OBRAS COLAPSADAS Y MOVIMIENTO DE TIERRAS | 1 |
| Generalidades | 1 |
| 1.01 Demolición de Losas del Canal y Eliminación de Escombros a Botaderos | 1 |
| 1.02 Excavación hasta la Sección de Reemplazo de Material de la Caja del Canal 0.40 m en Promedio (Inc. Eliminación a Botaderos) | 2 |
| 1.03 Mejoramiento de la Calidad de Soporte antes de Colocar el Material de Reemplazo | 2 |
| 1.04 Relleno con Material de Reemplazo (0.40 m en Promedio) | 3 |
| 1.05 Perfilado en la Caja del Canal para Colocar el Revestimiento | 4 |
| 1.06 Reemplazo de Material de Afirmado de la Plataforma (Inc. Escarificado 30 cm de Terreno Existente, Batido y Recompactado) | 5 |
| 1.07 Corte y Eliminación de Geomembrana a Botaderos | 6 |
| 2. CONCRETO EN SUPERFICIE | 7 |
| A. Generalidades | 7 |
| B. Requisitos del Concreto | 7 |
| C. Materiales | 7 |
| D. Diseño y Proporción de Mezclas | 14 |
| E. Preparación, Transporte y Colocación del Concreto | 15 |
| F. Temperatura, Protección y Curado | 22 |
| G. Material Empotrado | 22 |
| H. Acabado de la Superficie del Concreto | 23 |
| I. Curado | 23 |
| J. Tolerancia para la Construcción de Concreto | 25 |
| K. Pruebas | 26 |
| L. Tiempo para Permitir las Cargas y el Flujo de Agua | 29 |
| M. Laboratorio en Obra | 29 |

| | | |
|-----------|---|-----------|
| N. | Registro de Resultados de Pruebas | 29 |
| 2.01 | Concreto de Revestimiento del Canal de 17.5 Mpa y e = 7.5 cm (con Fibra de Polipropileno de 1 ½") | 30 |
| 3. | JUNTAS Y REVESTIMIENTO CON GEOSINTÉTICOS | 32 |
| 3.01 | Empalme entre el Canal Existente y Canal Nuevo dentro de Progresivas Km 7+625.65 - Km 8+744.46 | 32 |
| 3.02 | Empalme entre el Canal Existente y Canal Nuevo dentro de Progresivas Km 10+468.83 - Km 11+800 | 33 |
| 3.03 | Juntas de Dilatación Transversal en el Canal Rehabilitado cada 15.00 m | 35 |
| 3.04 | Juntas de Contracción Transversal cada 2.50 m, en Canales Rehabilitados | 35 |
| 3.05 | Reparación de Juntas de Dilatación Transversal | 36 |
| 3.06 | Reparación de Juntas de Contracción Transversal | 37 |
| 3.07 | Reparación de Grietas y/o Fisuras | 38 |
| 3.08 | Revestimiento con Geomembrana de PVC de 0.75 mm | 38 |
| 3.09 | Revestimiento con Geotextil de 175 gr/ m ² | 45 |
| 4. | PRUEBAS HIDRÁULICAS | 49 |
| 4.01 | Pruebas de Estanqueidad de los Tramos del Canal Rehabilitado | 49 |

ANEXO N° 7

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

1. DEMOLICIÓN DE OBRAS COLAPSADAS Y MOVIMIENTO DE TIERRAS

Generalidades

Durante la fase de excavación de la plataforma y canal, se debe hacer un seguimiento continuo y minucioso del material que se encuentre, llevando permanentemente el mapeo geológico correspondiente y definiendo claramente la ubicación del material denominado “moro moro” y del material con alto contenido de sales solubles, especialmente sulfatos.

Este mapeo geológico servirá para que el Ingeniero Supervisor, defina en el terreno la progresiva exacta del tramo a reparar.

1.01 Demolición de Losas del Canal y Eliminación de Escombros a Botaderos

Descripción de los trabajos

El trabajo consistirá en la demolición de la losa del piso y talud del canal, que por efecto del humedecimiento continuo de la cimentación se ha fisurado, agrietado y roto, desplazado, hundido o elevado; una vez concluida la demolición se procederá a efectuar el carguio de los escombros a los volquetes para su transporte a los botaderos autorizados; esto último se podrá efectuar directamente con retro-excavadora, cargado a los volquetes y transportarlo a los botaderos autorizados.

Método de trabajo

Para la fácil extracción y retiro del área de la caja del canal será necesario demoler las losas, sea manualmente con combas o por medio de martillos neumáticos, cortando en trozos de dimensiones que fácilmente puedan cargarse o retirarse a la plataforma del camino de vigilancia para su carguio y transporte a los botaderos autorizados. El Contratista deberá plantear un sistema de trabajo, sea manual ó con equipos (martillos, retro-excavadoras para su carguio, etc.), el cual debe ser sometido a consideración del Ingeniero Supervisor para su aprobación.

1.02 Excavación hasta la Sección de Reemplazo de Material de la Caja del Canal 0,40 m en Promedio (Inc. Eliminación a Botaderos)

Descripción de los trabajos

Dada la mala calidad del suelo de relleno que actúa como base de apoyo de la losa, se hace necesario sobre-excavar en la profundidad y ancho requeridos para luego ser reemplazado por material apropiado de cantera.

Método de trabajo

El perfil y la sección del canal está definido en la lámina N°13; por lo tanto deberá efectuarse el replanteo del eje y de los niveles para la sobre-excavación requerida.

Este trabajo podrá efectuarse mediante retro-excavadora y perfilado manualmente hasta obtener la sección necesaria.

1.03 Mejoramiento de la Calidad de Soporte antes de Colocar el Material de Reemplazo

Descripción de los trabajos

Una vez efectuada la sobre-excavación, se determinará la capacidad de soporte del suelo de cimentación inferior hasta obtener la condición apropiada de soporte, para cuyo efecto será necesario la compactación tanto del piso como de los taludes.

Método de trabajo

Definido el tramo, se procederá a efectuar la compactación mediante rodillos de dimensiones apropiadas para su traslado a lo largo de la superficie a tratar. Los rodillos lisos vibratorios autopropulsado efectuarán las pasadas necesarias para conseguir la densidad especificada.

Para los taludes, el Contratista, podrá determinar el equipo apropiado que podrían ser planchas compactadoras o el método de relleno, corte y refine más apropiado.

1.04 Relleno con Material de Reemplazo (0,40 m en Promedio)

Descripción de los trabajos

Para las zonas en las que el material donde se excavará la caja del canal tenga el material denominado “moro moro” y el material con alto contenido de sales solubles especialmente sulfatos y/o gran cantidad de piedras y bolonerías (terreno aluvial) que no permita el adecuado perfilado del canal, se efectuará el reemplazo con material inerte proveniente de la cantera de afirmado cercano al túnel Montón de Trigo u otro similar, con un tamaño máximo de 1” (sin contenido de material nocivo) y en un espesor de 40 cm.

Este material también será empleado para el relleno compactado de los geosintéticos a efectuarse mediante plancha compactadora o rodillo pequeño, para no dañar el geocompuesto.

Método de trabajo

Antes de efectuar el relleno deberá escarificarse y regarse la superficie para la mejor adherencia. El relleno de reemplazo tendrá un sobre ancho que permita el uso de rodillo vibratorio pequeño, de tal manera que cuando se efectúe el perfilado hasta la línea teórica de excavación de la caja se garantice que el material de reemplazo esté adecuadamente compactado.

El relleno sobre los terminales de los geosintéticos deberá efectuarse con bastante cuidado, realizando la compactación con Planchas Compactadoras vibratorias.

Calidad de los materiales y sistema de control de calidad

Todo material que se utilizará de reemplazo, previamente tendrá un control en el laboratorio para asegurar la no presencia de sulfatos; que sean materiales inertes a los fenómenos de colapso y/o expansión en presencia del agua, exenta de material denominado “moro moro”. Para tal efecto será necesario el uso de la cantera ubicada al lado derecho del km 1+450 de la trocha de acceso al túnel “Montón de Trigo” u otro semejante cuyos materiales sean ensayados proficuamente de modo que estén claramente definidos las zonas con materiales inertes para el uso en la obra.

Los ensayos de Laboratorio de verificación de la cantera para el afirmado y para los rellenos de reemplazo del material sobreexcavado de la cimentación del canal serán:

- Granulometría por tamices.
- Granulometría por sedimentación.
- Límites de Attemberg.
- Peso Específico de Sólidos.
- Contenido de Humedad Natural.
- Clasificación de Suelos – SUCS.
- Proctor Modificado.
- Análisis Mineralógico por difracción de Rayos X.
- Expansión Libre.
- Expansión Controlada.
- Contenido de Sales (sulfatos, cloruros, sales solubles totales)

Los rellenos ejecutados con material inerte serán debidamente compactados hasta alcanzar el porcentaje de compactación especificado, debiendo tener cuidado que el contenido de humedad durante la compactación sea ligeramente inferior del contenido óptimo de humedad (1 al 2% menos). Para ello se efectuará permanentemente ensayos de verificación en los materiales de la cantera y de densidad de campo.

1.05 Perfilado en la Caja del Canal para Colocar el Revestimiento

Descripción de los trabajos

El perfilado de la caja del canal será efectuado cuidadosamente a fin de que el geotextil y la geomembrana estén apoyados en toda su superficie. No se permitirá variaciones abruptas en la superficie del perfilado. Tampoco será permitida la presencia de elementos punzo cortantes que puedan dañar la geomembrana o impidan que ésta se apoye completamente en la superficie de excavación.

Método de trabajo

Después de haberse efectuado el relleno con material de reemplazo, deberá reperfilarse la caja.

Definido el alineamiento y el control de niveles, se procederá a la excavación, primero mediante retro-excavadora cuyo operador tenga amplia experiencia en este tipo de trabajos. La brigada de topografía irá controlando continuamente los niveles y geometría de manera que la maquina no sobreexcave; para ello deberá colocar estacas de alineamiento y plantillas de los niveles de rasante. Además se colocarán plantillas de madera con la "sección del revestimiento" de manera que se pueda afinar el perfilado a mano mediante cordeles entre cerchas y a 7,5 cm del cordel, quedando el perfilado completamente comprobado en sus dimensiones finales. Para el caso de las curvas, las cerchas se colocarán cada 1/10 del radio para adaptarse a la curvatura del canal.

1.06 Reemplazo de Material de Afirmado de la Plataforma (Inc. Escarificado 30 cm de Terreno Existente, Batido y Recompactado)

Descripción de los trabajos

Este trabajo consiste en la escarificación hasta 30 cm, regado, batido y compactación del mismo material, para luego, compactar el material de reemplazo para la plataforma, que será obtenido de la cantera ubicada al lado derecho del km 1+450 de la trocha de acceso al túnel "Montón de Trigo", además incluye los tramos que la plataforma se ha agrietado. Dichos tramos pueden ser observados en el acápite 11.1

Método de trabajo

Efectuada la limpieza del área se procederá al escarificado de hasta 30 cm y regado, para luego recompactar el mismo material, hasta obtener el 95% del Proctor Estándar; recién entonces se procederá a efectuar la descarga del material proveniente del perfilado de la caja del canal que fue compactado con material de cantera y solo requerirá desmenuzado y batido, el cual se colocará por capa de 15 cm mediante rodillo vibratorio autopropulsado de 10-12 T, hasta obtener el 80% de Proctor Estándar por ser material granular.

Calidad de los materiales

Los materiales serán inertes a los fenómenos de expansión y/o colapso en presencia de agua y de material con contenido de sales solubles; serán provenientes de las canteras y no tendrán contenido de materiales nocivos. Los materiales serán debidamente compactados hasta alcanzar el porcentaje de compactación

especificado, debiendo tener cuidado que el contenido de humedad durante la compactación sea ligeramente menor del contenido óptimo de humedad (1 a 2% menor).

Para ello se efectuarán ensayos de verificación permanentes en la cantera y de densidad de campo.

1.07 Corte y Eliminación de Geomembrana a Botaderos

Descripción de los trabajos

Esta partida consiste en cortar las geomembranas en los tramos colapsadas o tramos que requieren cambiarse la rasante del canal, para eliminarlas y ser reemplazadas por geomembranas de PVC.

Método de Trabajo

Durante la demolición de la losa deberá tenerse mucho cuidado de no dañar la geomembrana que este cerca al empalme propuesto (aproximadamente 0,50 m). Una vez efectuado la demolición de la losa, se limpiará la geomembrana cercana a la zona de empalme, se procederá a cortar a los 0,30 m de la línea de empalme, espacio suficiente para efectuar el traslape (pegado) mediante aditivo elastómero especial. Las geomembranas que deben ser retirados del área a rehabilitar serán eliminadas a los botaderos designados por el Supervisor.

2. CONCRETO EN SUPERFICIE

A. Generalidades

Esta sección se refiere a las prescripciones técnicas requeridas para todas las construcciones de concreto incorporadas en las obras en superficie, tal como se especifica en esta sección y como lo indican los planos. Los trabajos incluyen el suministro de equipo, materiales y mano de obra necesario para la dosificación, mezclado, transporte, colocación, acabado y curado del concreto; encofrados, suministro y colocación del acero de refuerzo y accesorios especificados.

B. Requisitos del Concreto

Los trabajos de concreto se ejecutarán de conformidad a las Especificaciones Técnicas establecidas por los siguientes códigos y normas que se detallan a continuación:

- Concrete Manual - Bureau of Reclamation (Octava Edición)
- ASTM
- Reglamento Nacional de Construcciones
- ACI

La calidad del concreto cumplirá con los requisitos de resistencia a la rotura a los 28 días ($f'c$) especificada en los planos de diseño y durabilidad expresada por la relación agua/cemento.

La resistencia especificada a la rotura por compresión en $Mpax10$ (en kg/cm^2), se determinará por medio de ensayos de cilindros standard de 15 x 30 cm, fabricados y ensayados de acuerdo con la norma ASTM C-39, siendo los resultados de rotura interpretados según las recomendaciones del ACI 214, a los 28 días de edad. El número de muestras deberá ser como mínimo de tres (03) probetas en la edad de control de la resistencia a la rotura ($f'c$) especificada en los planos de diseño.

C. Materiales

C.1 Cemento

El cemento Portland para todo el concreto, mortero y "grout", debe cumplir con los requisitos de las Especificaciones ASTM C-150 tipo I. En caso de

constatarse la presencia de sulfatos en concentraciones que atacan al concreto, se utilizará cemento tipo V.

Cada lote de cemento en bolsa deberá ser almacenado para permitir el acceso necesario para su supervisión o identificación y deberá estar adecuadamente protegido de la humedad. El cemento deberá estar libre de grumos o endurecimientos debido a un almacenaje prolongado. En caso que se encuentre que el cemento contiene grumos por haberse alargado el tiempo de almacenaje o contenga materiales extraños, el cemento será tamizado por una malla N° 100 standard.

Cualquier volumen de cemento mantenido en almacenaje por el Contratista por períodos superiores a los 90 días, deberá ser retirado por cuenta del Contratista de la Obra

Durante el desarrollo de la obra, el Ingeniero Supervisor podrá solicitar al Contratista, los certificados de pruebas de cemento de la fábrica e indicar su conformidad o no de lo que se está recibiendo; sin embargo, la aceptación del cemento en planta no elimina el derecho del Ingeniero Supervisor, de probarlo en cualquier momento durante la ejecución de la Obra.

C.2 Agregado fino (arena)

La arena para la mezcla del concreto y para sus usos como mortero o "grout" será arena limpia, de origen natural, con un tamaño máximo de partículas de 3/16" y cumplirá con lo indicado en la norma ASTM C-33. La arena será obtenida de depósitos naturales.

El Contratista presentará planos detallados del sistema para cargar, descargar, transportar y almacenar estos agregados dentro de los 30 días calendario posteriores a la notificación para iniciar la obra.

La arena deberá consistir de fragmentos de rocas duras, fuertes, densas y durables. El porcentaje de sustancias dañinas en la arena no excederá a los valores siguientes:

| Material Dañino | % en peso |
|--|-----------|
| - Material que pasa el tamiz N° 200 (ASTM C-110) | 5 |
| - Materiales ligeros (ASTM C-330) | 2 |

| | |
|--|---|
| Grumos de arcilla (ASTM C-142) | 2 |
| Total de otras sustancias dañinas (como álcali, mica, granos recubiertos, partículas blandas y limo) | 2 |

El Ingeniero Supervisor someterá la arena utilizada en la mezcla de concreto, a las pruebas determinadas por el ASTM, para las pruebas de agregados de concreto, tales como:

Prueba de color para detectar impurezas orgánicas (designación ASTM C-40)

El color del líquido de la muestra no será más oscuro del color standard de referencia.

Gravedad específica (designación ASTM C-128)

La gravedad específica no será menor de 2,40.

Prueba de sulfato de sodio (designación ASTM C-88)

Las partes retenidas en la malla N° 50 después de 5 ciclos, no mostrará una pérdida pesada promedio de más del 10% por peso.

Prueba de arena equivalente (método de prueba de la División de Caminos N° Calif. 217)

El valor equivalente de arena no será menor de 80.

La arena utilizada para la mezcla del concreto será bien graduada y al probarse por mallas standard (designación ASTM C-136) deberá cumplir con los límites siguientes:

| Malla | Dimensión de la Abertura Cuadrada | Porcentaje Peso Que Pasa |
|--------------|--|---------------------------------|
| 4 | 4,80 mm | 95 - 100 |
| 8 | 2,40 mm | 80 - 100 |
| 16 | 1,20 mm | 50 - 85 |
| 30 | 0,76 mm | 25 - 60 |
| 50 | 0,30 mm | 10 - 30 |
| 100 | 0,15 mm | 2 - 10 |

El módulo de fineza de la arena estará entre los valores de 2,4 a 2,90; sin embargo, el módulo de fineza no excederá de 3,0 y el promedio de quince pruebas consecutivas no presentarán un cambio mayor de 0,20.

El Ingeniero Supervisor hará un muestreo y probará la arena según sea empleada en la obra, la arena será considerada apta si cumple con las especificaciones y las pruebas que efectúe la Inspección.

De encontrarse que los agregados finos provenientes de las canteras ubicadas en la zona del Proyecto no cumplan con las especificaciones descritas en este acápite, no se remitirá su uso, por lo que deberá buscar otra cantera.

C.3 Agregado grueso

Los agregados gruesos consistirán de fragmentos de roca ígnea duros, fuertes, densos y durables, sin estar cubiertos de otros materiales.

El agregado grueso para la mezcla del concreto estará constituido por grava natural, grava partida, piedra chancada o una combinación de ellas con dimensión mínima de 3/16" y dimensión máxima de 1 1/2".

| Material Dañino | % en peso |
|--|-----------|
| - Material que pasa el tamiz N° 200 (designación ASTM C-117) | 0,5 |
| - Materiales ligeros (ASTM C-330) | 2,0 |
| - Grumos de arcilla (ASTM C-142) | 0,5 |
| - Otras sustancias dañinas | 1,0 |

El agregado proveniente del chancado de piedra o rocas será mantenido en proporciones uniformes con el material no chancado; el agregado será lavado en mallas por rociado de aguas antes de ser clasificado en mallas finales en la planta de agregados.

Los agregados gruesos deberán cumplir los requisitos de las pruebas siguientes que serán efectuadas por la Supervisión por considerarlo necesario:

Prueba de los ángeles (designación ASTM C-131)

La pérdida en peso, usando una graduación representativa del agregado grueso a emplearse, no debe superar al 10% en peso para 100 revoluciones o 40% en peso a 500 revoluciones.

Prueba del sulfato de sodio (designación ASTM C-88)

Las pérdidas promedio, pesadas después de 5 ciclos, no deberán exceder el 14% por peso.

Gravedad específica (designación ASTM C-127)

La gravedad específica no será menor de 2,6, los agregados gruesos para concretos deben ser separados en las siguientes clases:

| Clase | Intervalo de Dimensiones | % en peso Mínimo Retenido en los Tamices Indicados |
|-------|--------------------------|--|
| ¾" | 3/16" - ¾" | 56% al 3/8" |
| 1" | ¾" - 1" | 50% al 7/8" |
| 1 ½" | 1" - 1 ½" | 25% al 1 ¼" |

La granulometría del agregado grueso para cada tamaño máximo especificado cumplirá con la norma ASTM C-33.

Los agregados gruesos de los tamaños especificados luego de pasar por las mallas finales, estarán compuestos de tal manera que al hacer las pruebas en las mallas designadas en el cuadro siguiente, los materiales que pasen las mallas de prueba de tamaño mínimo, no excederán el 2% por peso y todo el material deberá pasar la malla de prueba de tamaño máximo.

| Tamaño Nominal | Para Prueba Tamaño Mínimo | Para Prueba Tamaño Máximo |
|----------------|---------------------------|---------------------------|
| ¾" | Nº 5 | 1" |
| 1 ½" | - | 2" |

Las mallas empleadas para efectuar la prueba cumplirán con las especificaciones ASTM E-11, con respecto a las variaciones permisibles en las aberturas promedio.

De encontrar que los agregados gruesos provenientes de canteras ubicadas en la zona del Proyecto no cumplen con las especificaciones aquí exigidas, no se permitirá su uso, por lo que deberá usar otra cantera.

C.4 Agua

El agua que se empleará para mezcla y curado del concreto estará limpia y libre de cantidades dañinas de sales, aceites, ácidos álcalis, materia orgánica mineral y otras impurezas que puedan reducir la resistencia, durabilidad o calidad del concreto.

Deberá verificarse que la cantidad total de Ion cloro de la mezcla de concreto, aportada por el agua, los agregados y los aditivos no excedan lo prescrito en el Reglamento Nacional de Construcciones.

C.5 Concretos especiales

a. Aditivos

El uso de aditivos en el concreto, tales como, incorporadores de aire, plastificantes retardadores, aceleradores, endurecedores, etc., pueden ser permitidos en la fabricación del mismo, adicionándolos racionalmente a la mezcla siempre que sea necesario, en proporciones definidas por el Contratista y aprobadas por el Ingeniero Supervisor, en base a los ensayos realizados en el laboratorio.

Cuando se requiera o se permita el uso de aditivos, éstos cumplirán con las normas apropiadas señaladas.

- | | |
|---|----------|
| - Aditivos incorporadores de aire | ASTM 260 |
| - Aditivos como aceleradores, retardadores, plastificantes o reductores de agua | ASTM 494 |

Los aditivos tendrán la misma composición y se emplearán con las proporciones señaladas en el diseño de mezclas. No se permitirá el empleo de aditivos que contengan cloruro de calcio en zonas en donde se embeban elementos galvanizados o de aluminio.

b. Concreto con fibra

En caso especial de la junta de expansión en canales, se considerará el espaciamiento de juntas transversales de expansión del trazo del canal cada 21 m.

En general, se ha dispuesto que se coloque un revestimiento de concreto reforzado con fibra de polipropileno. El objeto de este refuerzo es prevenir la formación de fisuras que permitan la percolación del agua del canal hacia el terreno, producidas por efecto de la fragua y variación de temperatura.

b.1 Fibras de polipropileno

Las fibras o cintas de polipropileno fabricadas las cuales mezcladas con el concreto crean una malla aleatoriamente distribuida la cual brinda un Refuerzo Discontinuo Tridimensional, con la cual el concreto controla la formación de fisuras por fragua o variación de temperatura.

Estas fibras se mezclan con el concreto bien sea en la mezcladora o en el mixer durante unos 3 minutos. El concreto debe ser bien vibrado en la aplicación y por ningún motivo se recomienda la adición de agua para mejorar la trabajabilidad.

El fabricante de fibra deberá otorgar la aprobación oficial de un sistema de control de calidad conforme a ISO 9001. La dosificación será 1000 gramos por metro cúbico de concreto.

b.2 Fibras de polipropileno y diámetro de agregado grueso

Se recomienda seleccionar la longitud de la fibra en función del diámetro del agregado grueso según la siguiente tabla:

| Longitud | | Diámetro Agregado Grueso |
|----------|------------|--------------------------|
| Pulgadas | Milímetros | |
| ¾" | 19 | < ¼" |
| 1 ½" | 38 | entre ½" y 1" |
| 2 ½" | 68,5 | > 1" |

D. Diseño y Proporción de Mezclas

El contenido de cemento requerido y las proporciones más adecuadas de agregado fino y grueso para la mezcla, con el fin de lograr la resistencia, impermeabilidad, durabilidad y otras propiedades requeridas por el diseño, serán determinadas por pruebas de laboratorio, durante las cuales se prestará especial atención al requisito que la masa de concreto sea uniforme y de fácil trabajabilidad.

El Contratista diseñará la mezcla de concreto por peso, sobre la base de las siguientes consideraciones:

| f-c Mpa | Relac. Máx. Agua/Cemento | Mínimo Cemento (Kg/cm³) | Asentamiento | Tam. Máx. Agregado | Uso |
|--------------------|-------------------------------------|---|---------------------|-------------------------------|------------|
| C-10 | 0,75 | 200 | 75 mm | 38 mm | Solados |
| C-14 | 0,70 | 240 | 75 mm | 50 mm | Revest. |
| C-17,5 | 0,62 | 270 | 50 mm | 20 mm | Revest. |
| C-21 | 0,55 | 300 | 75 mm | 38 mm | Estruct. |

* Los concretos C-17,5 y C-21, deben alcanzar un coeficiente de permeabilidad de 10^{-11}

Los ensayos se harán con suficiente anticipación con el fin de disponer de resultados completos y confiables antes de comenzar la construcción de las obras de concreto.

Las proporciones de mezcla pueden ser alteradas, de acuerdo a los requerimientos de la calidad de la obra y en función a los resultados de resistencia obtenidos. Los materiales propuestos para la fabricación de concreto serán seleccionados por el Contratista con suficiente anticipación al tiempo en que serán requeridos en la obra y presentará al Ingeniero Supervisor muestra adecuadas de los materiales propuestos por lo menos con 30 días de anticipación al tiempo que serán empleados en la mezcla para la preparación del concreto.

Las muestras serán en suficiente cantidad para permitir efectuar el número de pruebas que sea necesario para determinar la conveniencia y las proporciones de los materiales.

La determinación de la resistencia a la compresión, en MPa, se efectuará en cilindros de prueba de 6" x 12", de acuerdo con la Norma ASTM-39. Las pruebas y análisis de concreto, serán hechas por el Contratista a intervalos frecuentes en número de seis (6) a los 7 y 28 días y las mezclas empleadas podrán ser

cambiadas siempre y cuando se justifique por razones de facilidad de trabajo, densidad, impermeabilidad, durabilidad acabado de la superficie, resistencia y compatibilidad del tamaño máximo del agregado grueso con el tipo de estructura que será vaciada.

El Contratista proporcionará facilidades para el muestreo del concreto, poniendo a disposición de la Supervisión el laboratorio correspondiente completamente equipado.

E. Preparación, Transporte y Colocación del Concreto

E.1 Preparación

El Contratista proveerá e instalará una planta de dosificación de mezclado, el mismo que proporcionará las facilidades adecuadas para la medición y control de cada uno de los materiales que componen la mezcla.

De preferencia, se emplearán equipos que pesen el cemento y los agregados que intervienen en la mezcla, así como los aditivos cuando sea necesario. El cemento será pesado con una precisión de 1% por peso, o por bolsa. En este último caso, las bolsas serán de 42,5 kilos netos y las tandas serán proporcionadas para contener un número entero de bolsas. Todos los agregados serán incluidos en la mezcla con una precisión de 3% del peso, haciendo la debida compensación para la humedad libre y absorbida que contienen los agregados.

El agua será mezclada por peso o volumen, medido con una precisión de 1%.

Los aditivos serán incluidos en la mezcla según procedimientos establecidos, de acuerdo con los ensayos realizados en obra y/o recomendaciones del fabricante.

La relación agua-cemento no deberá variar durante las operaciones de mezcla por más de $\pm 0,02$ de los valores obtenidos a través de la corrección de la humedad y absorción.

Antes de utilizar materiales de mezcla para el concreto, el Contratista hará por su propia cuenta las pruebas necesarias de los implementos de medición y pesado sobre toda la amplitud de medidas que involucran las operaciones de

mezclado y efectuará pruebas periódicas de allí en adelante hasta la finalización de la obra.

Las pruebas serán efectuadas en presencia del Ingeniero Supervisor, siendo suficientemente adecuadas para demostrar la precisión de los aditamentos de medida. A menos que se requiera, las pruebas del equipo en operación serán efectuadas una vez al mes. El Contratista efectuará los ajustes, reparaciones o reemplazos que sean necesarios para cumplir con los requisitos especificados de precisión de medida.

Los tanques de agua de los mezcladores portátiles serán construidos en forma tal que el indicador que registra la cantidad de agua, descargada por tanda, esté dentro de los límites especificados de precisión.

Los mecanismos de operación en los aditamentos de medida para el agua y aditivos, serán de modo que no se presenten filtraciones cuando las válvulas estén cerradas.

Cuando sea necesario cargar aditivos en la mezcla, éstos serán cargados como solución y dispersados automáticamente o por algún aditamento de medida.

Todos los equipos de mezcla de pesado automático serán interconectados de forma tal que no pueda iniciarse un nuevo ciclo de pesadas hasta que todas las tolvas estén totalmente vacías y la compuerta de descarga de la tolva no podrá abrirse, hasta que los pesos correctos de materiales estén en las tolvas de mezcla y las compuertas de descarga no podrán cerrarse hasta que todos los materiales sean completamente descargados de la tolva. Si el agua se incorpora a la mezcla por peso, las válvulas de agua estarán interconectadas en forma tal que la válvula de descarga del agua no pueda abrirse hasta que la válvula de llenado esté cerrada.

El tiempo de mezcla para cada tanda de concreto después de que todos los materiales, incluyendo el agua, se encuentren en el tambor, será:

- Para mezcladora con una capacidad de $1,5 \text{ m}^3$ o menos como mínimo 1,5 minutos.
- Para mezcladora con capacidad mayor de $1,5 \text{ m}^3$ se aumentará 15 segundos por cada metro cúbico adicional o fracción.

El tiempo de mezcla será aumentado si la operación de carguio y mezcla deja de producir una tanda uniforme.

La mezcladora girará a una velocidad uniforme por lo menos de doce revoluciones completas por minuto, después de que todos los materiales, incluyendo el agua, se encuentren en el tambor. Las mezcladoras no serán cargadas en exceso de su capacidad indicada. Cada tanda de concreto será completamente vaciado de la mezcladora, antes de volver a cargar ésta y el interior del tambor será mantenido limpio y libre de acumulación de concreto endurecido o mortero.

El tiempo de mezclado podrá prolongarse más allá del período mínimo especificado, siempre y cuando el concreto no se convierta en una sustancia muy rígida para su colocación efectiva y consolidación, o no adquiera un exceso de finos debido a la acción moledora entre los materiales en la mezcladora. La variación de las mezclas con el aumento de agua adicional, cemento, arena o una combinación de estos materiales estará prohibida.

Cualquier mezcla que por haberse mantenido durante mucho tiempo en la mezcladora, se haya convertido en muy densa para su colocación efectiva y consolidación, será eliminada.

Cuando se requiera el empleo de mezcladoras o camiones mezcladores de concreto, el concreto manufacturado de esta forma, deberá cumplir con las partes aplicables en las especificaciones ASTM C-94 “Especificaciones para Concreto Pre-Mezclado”.

El Contratista deberá ajustar la secuencia de mezclado, tiempo de mezclado y, en general, hacer todos los cambios que considere necesarios para obtener concreto de la calidad especificada.

E.2 Transporte, colocación y compactación del concreto

El concreto será transportado de la planta mezcladora al lugar de la obra, en la forma plástica y lo más rápido posible, por métodos que impidan la separación o pérdida de ingredientes y en una manera que asegure la obtención de la calidad requerida para el concreto.

El equipo de transporte será de un tamaño y diseño tal que asegure el flujo adecuado de concreto en el punto de entrega. El equipo de conducción y las operaciones cumplirán con las siguientes especificaciones:

- a. Mezcladoras portátiles, agitadores y unidades no agitadoras y su forma de operación, cumplirán con los requisitos aplicables de las "Especificaciones para Concreto Pre-Mezclado" (ASTM C-94).

Cuando se usen camiones mezcladores (mixers), se deberá cumplir con lo siguiente:

- Capacidad del equipo para el transporte del concreto, deberá ser igual a un múltiplo de la capacidad de la mezcladora para evitar fraccionamiento de mezclas en la distribución.
- Los equipos deberán ser aptos para descargar concretos con mezclas pobres y bajo contenido de agua. Los órganos de abertura deberán ser tales que puedan regular o interrumpir la descarga del concreto con suficiente facilidad.

El Contratista deberá además tomar las precauciones necesarias para evitar una pérdida excesiva de humedad del concreto por evaporación durante el transporte y colocación.

- b. Los transportadores de faja serán horizontales o tendrán una pendiente tal que no cause la segregación o pérdidas. Se utilizará un arreglo especial en el extremo de descarga para impedir separación.
- c. Las canaletas o "chutes" tendrán una pendiente que no produzca la segregación del concreto. Las canaletas o conductos de más de 6 m de longitud y los ductos que no cumplan con los requisitos pendientes, podrán emplearse, siempre que descarguen a una tolva antes de su distribución.
- d. Los equipos de bombeo o conducción neumática serán de tipo conveniente y adecuada capacidad de bombeo. El equipo será limpiado después del final de cada operación.

La conducción neumática será controlada para evitar la segregación en el concreto descargado.

Antes de vaciar concreto, los encofrados y el acero de refuerzo deberán ser inspeccionados por la Supervisión en cuanto a la posición, estabilidad y limpieza. El concreto endurecido y los materiales extraños deberán ser removidos de las superficies interiores de los equipos de transporte.

El encofrado deberá estar terminado y deberá haberse asegurado en su sitio los anclajes, material para juntas de dilatación y otros materiales empotrados. La preparación completa para el vaciado deberá haber sido verificada por el Ingeniero Supervisor.

No será permitido añadir agua a la mezcla de concreto después de la descarga desde la mezcladora, sea durante la carga de bomba o a la salida de la tubería de transporte de concreto.

Las superficies de roca contra las que serán colocada el concreto, serán limpias a chorro de aire y/o agua y estarán libres de aceites, desmante, viruta, arena, grava y fragmentos sueltos de roca otros materiales o capas dañinas al concreto.

El Contratista deberá solicitar al El Ingeniero Supervisor autorización, antes del inicio de cada vaciado de concreto.

El concreto deberá ser depositado lo más cerca posible de su posición final, de modo que el flujo se reduzca a un mínimo. Los "chutes" y canaletas se utilizarán para caídas mayores de 1,50 m. El concreto será vaciado a un ritmo tal que todo concreto de la misma tanda sea depositado sobre concreto plástico que no haya adquirido su fragua inicial aún.

El concreto será manipulado en forma adecuada hasta la terminación del vaciado y en capas de un espesor tal que ningún concreto sea depositado sobre concreto que haya endurecido suficientemente como para causar la formación de vetas o planos de debilidad dentro de la sección. Si la sección requiere vaciarse en forma no continua, se ubicarán juntas de construcción de acuerdo a los planos. El vaciado será llevado a cabo a un ritmo tal que el concreto que está siendo integrado con el concreto fresco, sea todavía plástico. El concreto que se haya endurecido parcialmente o haya sido contaminado por sustancias extrañas, no será depositado.

Los aditamentos en los encofrados serán retirados cuando el vaciado de concreto haya llegado a una elevación que indique que su servicio ya no sea necesario. Podrán permanecer empotrados en el concreto sólo si son fabricados de metal o concreto.

La colocación o vaciado de concreto en elementos apoyados no se iniciará hasta que el concreto vaciado anteriormente en las columnas y muros de apoyo, deje de ser plástico.

El concreto será depositado tan cerca como sea posible de su posición final, para evitar la segregación debido al manipuleo y flujo del concreto. El concreto no estará sujeto a ningún procedimiento que produzca segregación.

Ningún concreto se colocará dentro o a través de agua, salvo en casos muy excepcionales y previa aprobación del Ingeniero Supervisor, en cuyo caso el colocado se efectuará usando tubos trompa y todas las filtraciones que aparezcan en los frentes rocosos contra los que se vaciará el concreto, serán controladas antes del vaciado.

Todos los vaciados de concreto serán plenamente compactados en su lugar, por medio de vibradores del tipo de inmersión, complementado por la distribución hecha por los albañiles con herramientas a mano, tales como esparcimiento, enrasado y apisonado, conforme sea necesario.

La duración de la vibración estará limitada al mínimo necesario, para producir la consolidación satisfactoria sin causar segregación. Los vibradores no serán empleados para lograr el desplazamiento horizontal del concreto dentro de los encofrados. El propósito de la vibración es exclusivo para asegurar la consolidación del concreto.

Los vibradores mecánicos deberán ser compatibles con las dimensiones de las estructuras en ejecución y de los encofrados utilizados y deberán ser operados por trabajadores competentes.

Los vibradores serán insertados y retirados en varios puntos a distancias variables de acuerdo con su diámetro. En cada inmersión, la duración será suficiente para consolidar el concreto, pero no tan larga que cause la

segregación; generalmente, la duración estará entre los 5 y 15 segundos de tiempo. Se mantendrá un vibrador de repuesto en la obra durante todas las operaciones de concretado.

No se podrá iniciar la colocación de una nueva capa antes de que la capa inferior haya sido completamente vibrada.

El Contratista someterá periódicamente los vibradores a pruebas de control.

Se requiere que después de la consolidación y colocación, todas las partes de las estructuras de concreto sean de calidad uniforme y buena, teniendo adecuada resistencia y durabilidad con el mortero y los agregados gruesos distribuidos uniformemente a través de la masa de concreto.

E.3 Concreto en contacto con el terreno

Donde el concreto vaya a ser colocado en contacto con el terreno, la superficie deberá ser compactada, arreglada, limpiada y protegida contra el agua o el deterioro como sea requerido, todo según aprobación del Ingeniero Supervisor.

Con excepción de lo especificado más adelante para "losas de concreto sobre el terreno" o para "concreto sobre roca", todo el concreto reforzado construido sobre o en el terreno se deberá colocar sobre una capa de concreto pobre de por lo menos 50 mm de espesor de Concreto $f'c = 10$ Mpa nivelado con reglas u otro medio aprobado para ofrecer una superficie de trabajo limpia. Tal superficie de trabajo deberá ser mantenida limpia y libre de agua empozada o corriente. El cemento será tipo V, para el concreto en contacto directo con el terreno.

Se exigirá que las superficies de roca sobre o contra las cuales se vaya a colocar el concreto deberán ser sólidas, libres de material suelto o débil y completamente limpias. Hasta que el concreto esté suficientemente duro, se deberá tomar las medidas necesarias para asegurar que las superficies se mantengan libres de agua corriente o empozada. Inmediatamente antes de colocar el concreto, las superficies de la roca deberán ser completamente humedecidas. Donde el Contratista haya dejado drenes para control temporal del agua, deberá, a menos que se apruebe otro método, inyectarlos con lechada luego de su uso.

F. Temperatura, Protección y Curado

El concreto fresco colocado deberá ser protegido del sol, vientos desecadores, lluvia o agua corriente y deberá ser mantenido en una atmósfera fresca y húmeda cubriéndolo con yute o esteras húmedas u otros medios aprobados hasta que se haya endurecido lo suficiente para el subsecuente curado. En ningún momento se deberá permitir el tránsito sobre el concreto insuficientemente endurecido. El curado subsecuente deberá asegurar que el concreto se mantenga húmedo y que no esté sujeto a altas temperaturas por acción del sol ni a enfriamientos súbitos. Esto sería asegurado recubriendo las esteras o mantenimiento el yute continuamente húmedo o por otros medios aprobados por el Supervisor.

No se permitirá el curado mediante el uso de un compuesto sellador aplicado a la superficie a menos que sea aprobado por el Supervisor.

El Contratista aplicará alguna o todas las recomendaciones contenidas en el documento ACI 305, "Hot Weather Concreting" para controlar la temperatura del concreto y las recomendaciones del ASTM C-94.

En los casos en que la temperatura del concreto sea mayor de 32°C, se ceñirá a las recomendaciones del ASTM C-94 y ACI-207.

G Material Empotrado

Todas las mangas, anclajes, tuberías y otros materiales empotrados, que se requieran para fijar estructuras o materiales al concreto, serán colocados, siempre que sea posible, antes de iniciar el vaciado de éste.

Todos los materiales serán ubicados con precisión y fijados para prevenir desplazamientos. Los vacíos en las mangas, tuberías o cajuelas de anclaje serán llenados temporalmente con material de fácil remoción para impedir el ingreso del concreto en estos vacíos. El Contratista programará el vaciado del concreto conforme sea necesario, para acomodar la instalación de trabajos metálicos y equipos que deberán ser empotrados en éste o que serán instalados en conjunto o subsiguientemente por otros, bien sea que estos materiales metálicos y equipos, sean instalados por el Contratista o por terceros.

En caso que por razones diversas, se dé la imposibilidad de colocarse en la estructura, material o materiales que deberían quedar empotrados, el Contratista lo

hará tan luego sea posible con los mismos cuidados descritos arriba, siendo el vaciado ejecutado, según el concreto secundario en cajuelas dejadas convenientemente para esta finalidad.

H. Acabado de la Superficie del Concreto

Las superficies expuestas de concreto serán uniformes y libres de vacíos, aletas y defectos similares. Los defectos menores serán reparados, rellenados con mortero y enrasados según procedimientos de construcción normales. Los defectos más serios serán picados a la profundidad indicada, rellenados con concreto firme o mortero compactado y luego enrasado para conformar una superficie llana.

Las superficies que no estén expuestas al término de la obra, serán niveladas y terminadas en forma que produzcan superficies uniformes con irregularidades que no excedan lo indicado "Tolerancias para la Construcción de Concreto".

Toda reparación en el concreto, reemplazo o eliminación de imperfecciones en la superficie, deberá ser ejecutada por el Contratista por su propia cuenta.

I. Curado

El concreto recién colocado deberá ser protegido de un secado prematuro y de temperaturas excesivamente calientes o frías, y deberá además mantenerse con una pérdida mínima de humedad, a una temperatura relativamente constante durante el período de tiempo necesario para la hidratación del cemento y para el endurecimiento debido del concreto. El curado inicial deberá seguir inmediatamente a las operaciones de acabado. El curado inicial deberá seguir inmediatamente a las operaciones de acabado. El curado se continuará durante un tiempo mínimo de 7 días, teniéndose especial cuidado en las primeras 48 horas. Los procedimientos para el curado del concreto deberán ser específicamente a través de los ensayos de eficiencia ejecutados en el laboratorio de la obra, tanto en cuanto al tipo de curado (aspersión de agua, pozas o compuestos químicos) y la definición de los tiempos de inicio y fin de la operación de curado, dependiendo del tipo de cemento y mezcla a ser empleado en la obra. Uno de los materiales o métodos siguientes deberá ser utilizado:

- a. Empozamiento de agua por medio de "arroceras" o rociado continuo de agua.
- b. Material absorbente que se mantenga continuamente húmedo.
- c. Arena u otro tipo de cobertura que se mantenga continuamente húmeda.

- d. Compuestos químicos para curado, de acuerdo a las Especificaciones para Membranas Líquidas y compuestos para curado de concreto (ASTM C-309). Estos materiales serán aplicados de acuerdo con las recomendaciones del fabricante, y no deberá emplearse en superficies sobre las cuales se deberá vaciar, concreto adicional o adherir material de acabado con base de cemento.

Inmediatamente después del curado inicial y antes que el concreto se haya secado, se deberá continuar con un curado adicional por uno de los siguientes materiales o métodos:

- a. Continuación del método utilizado en el curado inicial.
- b. Papel impermeable que cumpla con las "Especificaciones para papel impermeable para curado de concreto (ASTM C-171)".
- c. Arena u otro tipo de cobertura que comprobadamente retengan la humedad.
- d. Compuestos para curado de acuerdo a las Especificaciones para membranas líquidas y compuestos para curado de concreto (ASTM C-309).

Si se ha empleado concreto que adquiera rápidamente alta resistencia, el curado final deberá continuarse por un total adicional de tres días. Se debe impedir el secado rápido, al terminar el período de curado.

Los encofrados metálicos que pueden calentarse por el sol y todos los encofrados de madera en contacto con el concreto, deberán ser protegidos durante el período final de curado. Si se remueven los encofrados durante el período de curado, deberá emplearse en forma inmediata uno de los métodos de curado, indicados anteriormente.

Durante el período de curado, el concreto deberá protegerse de disturbios mecánicos, en especial esfuerzos por sobrecargas, impactos fuertes y vibraciones excesivas que puedan dañar el concreto. Todas las superficies terminadas de concreto deberán ser protegidas de cualquier daño causado por el equipo de construcción, materiales, métodos ejecutivos o por el agua de lluvia o corrientes de agua.

Las estructuras que son autoportantes no deberán ser cargadas de forma tal que puedan producir esfuerzos excepcionales en el concreto.

El agua empleada para el curado deberá cumplir con los requisitos que se indican en el párrafo 5.03.4 y deberá generalmente ser limpia, completamente libre de cualquier

elemento que pueda causar el manchado o decoloración del concreto. Los encofrados se mantendrán en su lugar sólo el tiempo que sea necesario y el curado se iniciará inmediatamente después de su remoción.

J. Tolerancia para la Construcción de Concreto

Las tolerancias para la construcción del concreto deberán ajustarse a las indicadas en este párrafo y de manera general deberán cumplir con las tolerancias establecidas en las normas de ACI-341 "Práctica recomendada para encofrados de concreto".

- a. La variación en las dimensiones de la sección transversal de las losas, muros, columnas y estructuras similares serán de - 6 mm a + 12 mm.
- b. Zapatas
 - Las variaciones en dimensiones en planta serán: 12 mm x 50 mm.
 - La excentricidad o desplazamiento: 2% del ancho de la zapata en la dirección del desplazamiento, pero no mayor de 50 mm.
 - La reducción en el espesor: 5% del espesor especificado.
- c. Variaciones de la vertical en las superficies de columnas, pilares, muros y otras estructuras similares:
 - Hasta una altura de 3 m : 6 mm
 - Hasta una altura de 6 m : 10 mm
 - Hasta una altura de 12 m : 20 mm
- d. Variaciones en niveles o gradientes indicadas en los planos para pisos, techos, vigas y estructuras similares:
 - En 3 m : 6 mm
 - En cualquier nave, o en 6 m más : 10 mm
 - En 12 m más : 20 mm
- e. Revestimiento del canal:
 - Espesor del revestimiento : 10%
 - Ancho de Plantilla : 20 mm
 - Ancho de Superficie : 30 mm
 - Cota de Rasante : 4 mm
 - Altura de Caja : 20 mm

El trabajo de concreto que exceda los límites especificados en estas tolerancias, estará sujeto a ser rechazado por la Supervisión en la Obra.

K. Pruebas

El Contratista efectuará las pruebas necesarias de los materiales y agregados, de los diseños propuestos de mezcla y del concreto resultante, para verificar el cumplimiento con los requisitos técnicos de las especificaciones de la obra.

El Contratista estará en libertad para contratar por su cuenta, el personal o agencia que efectúe las pruebas que requiera para su propia información y orientación. Las pruebas de cilindros curados en la obra, o las pruebas necesarias por cambios efectuados en los materiales o proporciones de las mezclas, así como las pruebas adicionales de concreto o materiales ocasionados por el incumplimiento de las especificaciones, serán por cuenta del Contratista.

Las pruebas comprenderán lo siguiente:

- a. Pruebas de los materiales propuestos por el Contratista para verificar el cumplimiento de las especificaciones.
- b. Verificación y pruebas de los diseños de mezcla propuesto por el Contratista.
- c. Obtención de muestras de materiales en las plantas o en lugares de almacenamiento durante la obra y pruebas para ver su cumplimiento con las especificaciones.
- d. Pruebas de resistencia del concreto de acuerdo con los procedimientos siguientes:
 - Obtención de muestras de concreto de acuerdo con las especificaciones ASTM C-172 “Método para hacer un muestreo concreto fresco”. Cada muestra para probar la resistencia del concreto será obtenida de una tanda diferente de concreto, sobre la base de muestrear en forma variable la producción de éste. Cuando se emplean equipos de bombeo o neumáticos, el muestreo se efectuará en el extremo de descarga.
Preparar tres testigos sobre la base de la muestra obtenida, de acuerdo con las especificaciones ASTM C-31 “Método para preparar y curar testigos de concreto para pruebas a la comprensión y flexión en el campo” y curarlas

bajo las condiciones normales de humedad y temperaturas de acuerdo con el método indicado del ASTM.

- Probar dos testigos a los 28 días, de acuerdo con la especificación ASTM C-39 "Método para probar cilindros moldeados de concreto, para resistencia a compresión". El resultado de la prueba de 28 días será el promedio de la resistencia de los dos testigos, siendo los resultados de los ensayos interpretados según las recomendaciones del ACI-214, a los 28 días de edad. Si hubiese más de un testigo que evidencia cualquiera de los defectos indicados, la prueba total será descartada. El concreto también será probado con un testigo a los siete días con la finalidad de medir la rapidez de la resistencia adquirida y el comportamiento preliminar de la mezcla ejecutada.
 - Inicialmente, se efectuará una prueba de resistencia por cada 50 m³ o fracción para cada tipo de mezcla de concreto vaciado en un solo día, con la excepción de que en ningún caso deberá vaciarse una determinada mezcla sin obtener muestras en el concreto.
 - Posteriormente, la relación volumen-muestra de concreto podrá ser alterada en función a los resultados del control estadístico de la resistencia a la compresión de las mezclas de concreto.
- e. Los resultados de las pruebas serán entregados al Ingeniero Supervisor por el Contratista en el mismo día de su realización.

El Ingeniero Supervisor determinará la frecuencia requerida para verificar lo siguiente:

- Control de las operaciones de mezclado de concreto.
- Revisión de los informes del fabricante de cada remisión de cemento y acero de refuerzo, y/o solicitar pruebas de laboratorio o pruebas aisladas de estos materiales conforme sean recibidos.
- Moldear y probar cilindros a los 7 días.

El Contratista tendrá a su cargo las siguientes responsabilidades:

- Obtener y entregar al Ingeniero Supervisor sin costo alguno, muestras representativas preliminares de los materiales que se propone emplear y que deberán ser aprobados.
- Presentar al Ingeniero Supervisor el diseño de mezcla de concreto que se propone emplear y hacer una solicitud escrita para su aprobación.

- Suministrar el proceso constructivo y el equipo apropiado para su ejecución y así cumplir con las especificaciones de la calidad del concreto, en especial en el revestimiento del canal.
- Suministrar la mano de obra necesaria para obtener y manipular las muestras en la obra, o en las fuentes de abastecimiento de materiales.
- Indicar al Ingeniero Supervisor con suficiente anticipación, las operaciones que va a efectuar, para permitir la terminación de pruebas de calidad para la asignación de personal.
- Proveer y mantener facilidades adecuadas para el almacenamiento seguro y el curado correcto de los cilindros de prueba de concreto de la obra, según las especificaciones ASTM C-31.
- Suministrar al Ingeniero Supervisor, copias de los informes de las pruebas de fábrica de los envíos de cemento.

En el caso de que los resultados de los ensayos de resistencia de las pruebas no aseguren satisfactoriamente la calidad del vaciado, las siguientes verificaciones alternativas entre sí podrán ser adoptadas:

- Verificación de la curva de evolución de la resistencia, del concreto a la edad de 28 días, para la extrapolación de las resistencias características a edades de 60 y 90 días.
- La realización de pruebas no destructivas en el concreto usando esclerómetro.
- Efectuar pruebas adicionales no rutinarias en frío, de acuerdo con la Especificación "Métodos para obtener testigos perforados y vigas cortadas de concreto" (ASTM C-42). Los testigos serán probados en seco con superficies saturadas y el concreto que representan estará húmedo en cualquier momento durante la utilización de la estructura terminada. Los testigos serán probados secos al aire, si el concreto que representan, estará seco continuamente durante el empleo de estructura terminada.

El informe del laboratorio indicará si los testigos fueron aprobados en cualquiera de estos dos estados. Por lo menos, se tomarán tres testigos representativos de cada miembro o área de concreto colocado que se considere potencialmente deficiente.

La ubicación de los testigos será determinada por el Ingeniero Supervisor, de manera de interferir al mínimo en la resistencia de la estructura. Si antes de las pruebas uno o más de los testigos muestre evidencia de haber sido dañado después de, o durante su retiro de la estructura, éste deberá ser reemplazado.

La resistencia de los testigos de concreto tomados, será considerada satisfactorio si su promedio es igual o mayor al 90% de la resistencia especificada en el diseño de la estructura. Los huecos dejados por la extracción de testigos serán rellenados adecuadamente.

Si los resultados de las pruebas no son concluyentes o éstas no son suficientemente prácticas como para obtener un resultado definitivo, podrán ordenarse pruebas de evaluación de resistencia de acuerdo con el ACI-318. Cualquier obra de concreto que se juzgue inadecuada después de una evaluación de sus análisis estructurales y los resultados de las pruebas de carga, estará sujeta a ser rechazado y deberá ser remplazada por cuenta del Contratista.

El Contratista pagará los costos que demande la realización de las pruebas adicionales que requiera este Capítulo.

L. Tiempo para Permitir las Cargas y el Flujo de Agua

El tiempo oportuno para aplicar carga de diseño al concreto, se determinará en cada caso. En general y como principio, el tiempo para aplicar cargas es cuando el concreto ha adquirido el mínimo valor de f'_c = (resistencia del concreto a la compresión especificada a los 28 días).

No se permitirá que el agua fluya sobre el concreto fresco antes de tres días después del tiempo vaciado.

M. Laboratorio en Obra

En el lugar de trabajo, el Contratista establecerá un (01) laboratorio de campo, el que contará con todo el equipo requerido para la ejecución de las pruebas en el concreto, previstos en estas Especificaciones. Los ensayos de concreto se efectuarán como se indica en las normas o especificaciones de la American Society for Testing Materials (ASTM).

N. Registro de Resultados de Pruebas

Independientemente del Cuaderno de Obra, el Contratista llevará un registro de los trabajos de concreto, conteniendo las siguientes anotaciones.

- Temperatura del medio ambiente, agua, cemento, agregados, concreto y humedad del aire y tipo de clima.
- Entrega en el lugar de trabajo de los materiales de concreto (cantidad, marcas de cemento, etc.).
- Inspecciones, ensayos, etc., y sus resultados.
- Fecha y hora de la iniciación y terminación de las diferentes partes de los trabajos de concreto, así como en encofrado y desencofrado.

Cantidad de cemento, arena, piedra, y aditivos usados para cada sección de trabajo y el número y tipo de las muestras tomadas.

2.01 Concreto de Revestimiento del Canal de 17,5 Mpa y e = 7,5 cm (con Fibra de Polipropileno de 1 ½")

Descripción de los trabajos

El concreto de revestimiento del canal será de 7,5 cm de espesor que será colocado sobre la cara del geotextil superior sobrepuesto a la geomembrana, y tendrá una resistencia a la compresión a los 28 días de 17,5 Mpa.

Este concreto de los canales trapezoidales será reforzado con fibra de polipropileno en una proporción de 1000 gr/m³ de concreto.

Método de construcción

Antes de colocar el revestimiento del concreto, el Contratista deberá presentar el diseño de mezclas correspondiente para la aprobación de la Supervisión, igualmente deberá presentar el diseño constructivo en éste tipo de obra hidráulica y el equipo apropiado para su ejecución y así cumplir con las especificaciones de la calidad del concreto de revestimiento.

Este concreto será tal que permita la adecuada colocación sobre el geotextil sobrepuesto a la geomembrana. Se estima un slump de 2" a 3", el cual deberá ser ajustada en obra.

El procedimiento de fabricación del concreto es el indicado en las "Generalidades para Concreto en Superficie". De la misma manera se indica la calidad de los materiales. Pero además indicamos el refuerzo con las cintas de polipropileno

fibriladas las cuales mezcladas con el concreto crean una malla aleatoriamente distribuida la cual brinda un Refuerzo Discontinuo Tridimensional, con la cual el concreto controlará la formación de fisuras por fraguado o variación de temperatura.

Las fibras se mezclan con el concreto bien sea en la mezcladora o en el mixer durante unos 3 minutos. El concreto debe ser adecuadamente vibrado en la aplicación y por ningún motivo se recomienda la adición de agua para mejorar la trabajabilidad.

Calidad de los materiales

Con respecto a los materiales comunes del concreto: cemento, arena, piedras, agua, etc., se encuentran descritas en las generalidades del "concreto en superficie". Las fibras de polipropileno tienen su longitud en función del diámetro del agregado grueso que se une, y su dosificación se recomienda en un (1) kilogramo por metro cúbico de concreto. En la siguiente tabla se muestran las dimensiones recomendadas:

| Longitud | | Diámetro agregado |
|----------|------|-------------------|
| Pulgadas | mm | |
| ¾" | 19 | < ¼" |
| 1 ½" | 38 | entre ½" y 1" |
| 2 ½" | 63,5 | > 1" |

3. JUNTAS Y REVESTIMIENTO CON GEOSINTÉTICOS

3.01 Empalme entre el Canal Existente y Canal Nuevo dentro de Progresivas Km 7+625,65 - Km 8+744,46

Descripción

En los tramos de rehabilitación cerca de tramos de canales existentes en buen estado, será necesario colocar un empalme, tal como está indicado en la lámina N°13, Detalle 1. En dicha lámina se indica un dique o trinchera de 1,50 m, de protección entre el tramo afectado por la calidad del suelo y la zona sana, mientras que en la zona sana sólo se colocará una junta tipo Water Stop de 6".

Método de construcción

Con el estudio Geológico y Geotécnico del tramo construido se han definido los límites en los cuales se instalarán, antes y después de los tramos afectados, este tipo de empalme.

En la trinchera o dique de 1,50 m se introducirán los anclajes de los geosintéticos, evitando de este modo el humedecimiento del tramo afectado, luego será rellenado con material dosificado de cantera; en el tramo la instalación será mediante un ensanche en el espesor del revestimiento a 15 cm, para así colocar una tapajunta de 6", con separación entre concretos de 20 mm. Se colocará la tapajunta al centro de la losa ampliada (o sea a 75 mm); sobre tecnopor de 20 mm y también encima de la tapajunta con $(75-12 = 63 \text{ mm})$. En el espacio de 12 mm se colocará una tira de madera de las dimensiones indicadas en la lámina. Antes de vaciar el concreto entre la tapajunta y la unión con el concreto del canal existente, se deberá limpiar prolijamente con agua y luego con aire a presión, la superficie que será unida, luego se aplicará la resina epóxica, de acuerdo a las instrucciones del proveedor; luego recién se vaciará el concreto en éste tramo.

El segundo tramo después de la junta se vaciará, teniendo en cuenta que la tira de madera esté perfectamente fijada. Luego que haya fraguado el concreto, se retirará la tira de madera, se limpiará con aire a presión antes de sellar con el imprimante recomendado por el fabricante del elastómero, y luego rellenar con elastómero hasta la superficie en contacto con el agua.

Calidad de los materiales y control de calidad

Los materiales utilizados por el Contratista para la junta, deberán ser sometidos a riguroso control de calidad, demostrado en obras similares, de preferencia en el país. Por lo tanto el Contratista, Suministrador y la Supervisión deberán definir la bondad de los materiales, teniéndose en cuenta las fallas existentes de la obra colapsada.

3.02 Empalme entre el Canal Existente y Canal Nuevo dentro de Progresivas Km 10+468,83 - Km 11+800

Descripción

En los tramos donde el canal ha tenido protección con la Manta HDPE, y se ha visto afectado, será necesario rehabilitar dichos tramos, colocando en el tramo del canal nuevo la Manta PVC y Geotextil, y en el canal existente la manta PVC; tal como se muestra en la lámina N°13, donde se muestra el empalme y soldadura de las dos mantas diferentes y la colocación del Water Stop de 6".

Se incluyen drenes transversales en las zanjas de anclaje de los empalmes entre los tramos de canal a rehabilitar y los existentes. El dren está constituido por tuberías ranurados de PVC ϕ 4" rodeado de material de filtro de 0,60 m de altura emplazados en el fondo de la zanja.

El detalle se puede ver en la lámina N°13

Método de construcción

El trabajo es similar al caso anterior con respecto al Water Stop de 6", donde deberá demolerse parte de la losa, para proceder al empalme de las mantas.

El empalme de las mantas PVC y HDPE se efectuará aplicando directamente un elastómero tape coat H-50 o similar que es un elastómero adhesivo sintético de 10 cm de ancho. Solo deberá cuidar que estén perfectamente limpios y secos ambas mantas, limpiándose con alcohol. Previamente se aplicará Tape G-25. Deberá dejarse durante 48 para que el adhesivo este completamente unido. Se debe aplicar una temperatura superior de 4°C.

Luego se efectuará la colocación de la junta de dilatación-contracción con tecnopor, Water Stop de 6" y la aplicación de imprimante para el sellado con el elastómero. La unión del concreto antiguo y el nuevo se realizará con previa limpieza y aplicación de la resina epóxica.

El segundo tramo después de la junta se vaciara, teniendo en cuenta que la tira de madera con las medidas del elastómero esté perfectamente fijada. Luego que haya fraguado el concreto, se retirará la tira de madera, se limpiará con aire a presión antes de sellar con el imprimante recomendado por el fabricante del elastómero, y luego rellenar con elastómero hasta la superficie en contacto con el agua.

Una vez construido la zanja de empalme con pendiente del 2% se excavará lateralmente hasta la profundidad necesaria par evacuar el agua hacia el exterior de acuerdo al diseño y colocado las terminales de los geosintéticos se rellenará con una capa de filtro de grava de 0,30 m, en que se colocará un tubo PVC de ϕ 100 mm ranurado, con un tapón de madera al interior y abierto al exterior.

Luego se colocará la segunda capa de filtro de grava de 0,30 m.

Posteriormente se completará el relleno de material propio en el tramo de excavación arriba indicado y material clasificado de cantera sobre le drenaje en el área de la zanja de empalme, como se indica en la lámina N°13

Calidad de los materiales y control de calidad

Del mismo modo que en el caso anterior.

El elastómero Tape Coat H-50 combinado con el G-25 se obtiene un adhesivo agresivo sintético que pega geomembranas de polietileno, PVC, Polipropileno, Acero, Concreto, Hypalón, Jebe, Fibra de Vidrio, etc.

Se recomienda proteger con una capa de concreto, en este caso el revestimiento lo cubrirá totalmente.

No requerirá clavos, etc para su fijación.

Calidad de los Materiales

El tubo debe ser PVC SAP de 100 mm con ranuras de 100 mm x 5 mm. La granulometría del filtro será:

| | | | | | | |
|----------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|
| Malla | 16 | 8 | 4 | 3/8 | 3/4 | 1 1/2" |
| % Reten. | 90-100 | 75-90 | 60-80 | 40-60 | 20-35 | 0 |

3.03 Juntas de Dilatación Transversal en el Canal Rehabilitado cada 15,00 m

Descripción de los trabajos

Esta junta de dilatación se construirá en los canales rehabilitados, para evitar que por efecto de temperatura, el revestimiento se raje y pierda la propiedad de impermeabilidad.

Para ello se ha diseñado la refacción entre juntas cada 15,00 m colocados transversalmente, según las dimensiones indicadas en la lámina N°13, con una separación de 20 mm.

Método de trabajo

Cada 15,00 m se cortará el revestimiento del concreto, para ello se colocará como separador una plancha de poliestireno expandido de 20 mm de espesor y un ancho de $(75-12 = 63 \text{ mm})$ y en el borde interior (superficie en contacto con el agua) una tira de madera de la dimensión indicado en la lámina N°13, de 12 mm x 20 mm.

Una vez que se haya concluido con el vaciado de la segunda parte del revestimiento y fraguado del concreto, se retirará la tira de madera. Se limpiará la superficie del concreto mediante aire comprimido, se pasará con brocha, el imprimante para inmediatamente colocar el elastómero y sellar completamente este espacio.

3.04 Juntas de Contracción Transversal cada 2,50 m, en Canales Rehabilitados

Descripción de los trabajos

Estas juntas son en realidad bruñas, ejecutadas durante el proceso de vaciados del revestimiento. No necesariamente deberá ser cortado el vaciado. Estas bruñas

tendrán las dimensiones indicadas en la lámina N° 13. Luego se le colocará una tira de poliestireno de la dimensión indicada en dicho plano y al final será sellado con elastómero.

Método de trabajo

Durante el vaciado del concreto entre tramos de juntas de dilatación se procederá a efectuar un “bruñado” (colocación de una cajuela trapezoidal) de 25 mm de profundidad, 20 mm en la superficie y 10 mm en el fondo. Esto puede efectuarse mediante una plancha bruñadora previamente fabricada (tipo vereda). Deberá colocarse reglas transversalmente cada 2,50 m, las que servirán de apoyo a la plancha bruñadora.

Una vez que haya fraguado, se colocará la tira de tecnopor de la dimensión indicada en la lámina N°13 y luego se rellenará con elastómero previa pasada de imprimante con la superficie completamente limpia con aire a presión.

3.05 Reparación de Juntas de Dilatación Transversal

Descripción de los trabajos

Esta partida consiste en rehabilitar las juntas de dilatación transversal en los tramos inertes que no han sido afectados por los suelos tipo “moro moro”; donde el contratista construyó las juntas muy separadas (hasta de 4 cm) debiendo ser a solo 2 cm, razón por la cual el elastómero no actúa bien, produciendo la rajadura a lo largo de la junta.

Los sellos de las juntas deterioradas que tengan el ancho especificado deberán ser extraídos completamente. Se deberá limpiar toda la junta y de ser necesario se deberá pulir la superficie interna de ambas losas antes de reponer la junta. Si las juntas tiene un mayor ancho se deberá rellenar con mortero previa limpieza del cara de la losa a unir mediante resina epóxica, colocando tecnopor de 20 mm de separación y en la parte superior una tira de madera de las dimensiones del diseño del elastómero. Una vez fraguado el mortero se procederá a aplicar el imprimante antes del elastómero.

La recomendación de los proveedores indica que debe existir un espesor de la junta y un ancho que no debe sobrepasar de 20 mm.

Método de trabajo

Se retirará el material existente en la junta con herramientas manuales; luego se pulirá las caras internas de la losa con arena a presión y limpiará mediante aire a presión. Luego se procederá como la partida 4.03 a la colocación de tecnopor hasta 12 mm de la superficie, impregnar el imprimante y sellado con elastómero recomendándose que los materiales sean del mismo proveedor.

3.06 Reparación de Juntas de Contracción Transversal

Descripción de los trabajos

En los tramos donde éstas juntas se hayan resecado y/o se encuentren rajadas, se hace evidente la calidad de material utilizado que debe ser reemplazado.

Si la junta ha sido construida sin separación de losas, la reparación consistirá en la eliminación completa de las juntas y en la limpieza total de la bruña, antes de proceder a la reposición de la junta y del sello con el material elastomérico, siguiendo todo lo indicado en las especificaciones técnicas.

De existir separación de losas; todo el material de la junta será extraído completamente y previa limpieza de las paredes de las losas se colocará mortero al que se incluirá un aditivo adherente de resina epóxica para sellar la junta dejando una bruña, cuyo detalle se indica en la lámina N°13: junta de contracción transversal.

Método de trabajo

Mediante herramientas manuales se retirarán los materiales de relleno de la junta, tanto el tecnopor como el elastómero. Se terminará la extracción mediante arena a presión y por último se limpiarán los desperdicios mediante aire comprimido. Luego se aplicará resina epóxica antes de rellenar con mortero, dejando una tira de madera con la sección del sello de elastómero; una vez fraguado se limpian y aplicará una mano de imprimante antes de colocar el elastómetro hasta la superficie del revestimiento.

3.07 Reparación de Grietas y/o Fisuras

Descripción de los trabajos

En los tramos donde se observan grietas y fisuras, producidas en áreas diferentes a las zonas de material "moro moro", se hace necesario efectuar un sellado de éstas grietas para evitar que pudiera ensancharse y produzcan pérdidas de agua.

Método de trabajo

De acuerdo al tamaño de la grieta se procede a ensanchar cuidadosamente para poder efectuar el sellado mediante mortero preparado con aditivo especialmente para reparación de concreto, tipo Sika Top Armatec 110 o similar en la proporción de 1,2 kg/m².

Este aditivo funciona como puente de adherencia de secado rápido. Adhiere las uniones entre el concreto endurecido y el fresco evitando futuras grietas.

Control de calidad

El proveedor del producto deberá certificar mediante documentos de aprobación de laboratorios de prestigio del país de origen, adjuntando relación de resultados en obras similares.

3.08 Revestimiento con Geomembrana de PVC de 0,75 mm

Descripción de los trabajos

Debajo del revestimiento de concreto se colocará la geomembrana de 0,75 mms sobre un geotextil inferior y bajo un geotextil superior de 175 gr/m³, tal como se muestra en la lámina N°13.

Método de trabajo

Antes de la colocación de la geomembrana y el geotextil, la caja del canal y la trinchera de anclaje deben estar perfectamente perfilados. Colocándose primero una capa de geotextil, luego la geomembrana y por ultimo la capa de geotextil superior sobre el cual se vaciará el concreto de revestimiento de 7,5 cm.

Método de instalación de la geomembrana

- **Confección de paneles en planta**

La confección de las mantas de geomembrana (tramos de geomembrana pre-confeccionado para minimizar soldaduras en campo) serán unidos previamente mediante un sellado eléctrico o por alta frecuencia de tal manera de confeccionar el ancho de la sección del canal sin ofrecer desperdicios.

Los traslapes ejecutados serán del orden de 1 pulgada (2,54 cm).

Uno de los aspectos más importantes en este tipo de geomembrana es la unión entre tramos de geomembrana. Estas geomembranas requieren ser ensambladas en forma efectiva mediante un proceso de soldadura. En particular el protocolo asociados a las soldaduras de campo requiere un extenso proceso de control de calidad, ya que un simple error en la instalación puede crear deficiencia en el revestimiento impermeable. Adicionalmente, con el fin de asegurar un sellado continuo se debe aplicar presión seguidamente al tratamiento de calor. Asimismo por cada tramo de geomembrana se deberá sacar un espécimen de 1" x 6" en sentido transversal y longitudinal, con el fin de realizar las pruebas de: elongación (tensiómetro), espesor (micrómetro) y tensión a la ruptura (tensiómetro), los cuales deberán ser documentados en la Hoja de Inspección de los materiales para poder autorizar su posterior colocación en campo.

Las soldaduras de campo una vez ejecutadas deber ser verificadas por métodos de control de calidad de ensayos no destructivos y destructivos (pelaje) para constatar la calibración y eficacia de los equipos.

Previamente a la instalación de geomembranas en el campo:

- . Se requiere una calibración de todos los equipos de soldadura.
- . Se requiere presentar todos los formatos requeridos y que serán llenados en el proceso de instalación.
- . Se requiere presentar el listado de equipos y herramientas que se utilizarán en la instalación.
- . Se requiere presentar una "Ingeniería de Detalle" relacionada con la instalación.

Se comienza los trabajos del ensamblado de geomembranas en el campo únicamente si los cuatro procedimientos anteriores han sido realizados satisfactoriamente. La colocación de los rollos de geomembranas se efectúa en concordancia con el diseño de disposición de piezas que se ha previsto para el cálculo del consumo de material. La colocación es seguida por la soldadura de las geomembranas, las cuales son realizadas y documentadas.

Se procederá a la colocación de la geomembrana cuando las condiciones del terreno sean aprobadas por la Supervisión. La superficie del suelo estará debidamente compactada y seca, libre de rocas, objetos punzonantes, desechos, escombros u otros objetos que puedan afectar la integridad o función de las geomembranas.

La colocación de las geomembranas se llevará a cabo mediante maniobras adecuadas para el despliegue de las mantas. No se extenderá la geomembrana durante períodos de lluvia, condiciones de humedad excesiva, vientos fuertes o cualquier otra condición climática adversa.

La colocación de las geomembranas será realizada en concordancia con las posiciones y niveles indicados en el diseño y de forma tal de minimizar la formación de arrugas y prevenir los dobleces y pliegues. Durante la colocación e instalación de las geomembranas se colocarán sacos de arena con peso apropiado (u otro material disponible en la zona) a lo largo y de forma continua, en todos los bordes del material colocado en campo, con el fin de evitar el levantamiento del material por la acción del viento.

La colocación de la geomembrana será realizada de forma que todas las soldaduras puedan ser orientadas en el sentido del talud (perpendicularmente al borde superior de todos los taludes y con la soldadura que solapen en la dirección de aguas abajo en relación con la corriente de agua).

Las geomembranas serán colocadas en campo de forma de asegurar un solape nominal de 200 mm (20 cm) y que en ningún caso será menor a 75 mm (7,5 cm).

- **Procesos de soldaduras para la instalación en campo de las geomembranas**

Se recomienda realizar las soldaduras de campo sólo bajo excelentes condiciones ambientales, en seco, en una superficie compactada, lisa y de manera tal a impedir la entrada de polvo o cualquier otro material que pueda alojarse en la soldadura. Se instalarán en las horas en donde las temperaturas sean adecuadas (8:00 a.m. a 14:00 o hasta 18:00 p.m.) siempre y cuando la temperatura no baje de 14°C.

Basado en la gran cantidad y requerimiento de todos los parámetros variables, los responsables de la instalación deberán de usar máquinas automatizadas o manuales que garanticen una homogeneidad con las cuales se debe lograr el control de los parámetros influyentes.

- **Trincheras de anclaje**

En las trincheras de anclaje se instalarán las geomembranas en concordancia a todas las exigencias de diseño, programa de aseguramiento de calidad y control de calidad. En todo momento se verificará la colocación y la compactación del relleno, de forma tal que ésta sea realizada sin que ocasione ningún daño en la geomembrana y que el relleno de las zanjas se ajuste a las especificaciones dadas para la compactación.

Calidad de la geomembrana

- **Especificaciones técnicas para la fabricación de geomembrana PVC**

Maquinaria de fabricación

La máquina que fabrica la geomembrana de Cloruro de Polivinilo (PVC), deberá ser aceptada por el sistema de calandrado. La maquinaria que confecciona los paneles debe ser estacionaria.

Certificación ISO

La planta donde se fabrique el material suministrado a la obra debe contar con el certificado ISO de sus materiales. Se aceptará el ISO 9001 si su aprobación

corresponde antes del 2000 e ISO 9002 si su aprobación corresponde después del 2000.

Obras similares del instalador

Las empresas que se encargarán de la instalación deberán acreditar otras obras ejecutadas o en ejecución en el Perú, del orden de magnitud del que se va a ejecutar.

a. Procedimientos de control de calidad de la geomembrana

La geomembrana debe cumplir o exceder las especificaciones del proyecto que se acompañan. El fabricante suministrará los resultados de los ensayos realizados los cuales deberán ser revisados y aprobados por la Supervisión.

El Ingeniero Supervisor sólo deberá aceptar el suministro de las geomembranas que cumplan con los requisitos siguientes:

- Presentar el Certificado ISO 9001 de los materiales fabricados.
- Que las geomembranas provengan de una misma planta de fabricación.

Especificaciones del Material Propuesto

| Propiedades | Norma | Unidad | Valor |
|---|-------------------|----------------------|-------------|
| - Espesor | ASTM D 792 | mm | 0,75 (± 5%) |
| - Densidad | ASTM D 792 | gr/cc | 1,27 (± 5%) |
| - Peso / Área | ASTM D 792 | gr/m ² | 900 (± 5%) |
| - Resist. Tensión | ASTM D 882 | kgf/cm | 13 (min) |
| - Elongación | ASTM D 882 | % | 300 (min) |
| - Módulo Elasticidad al 100% Elongación | ASTM D 882 | lb/pulg. ancho | 25 (min) |
| - Resistencia Hidrostática | ASTM D 751 | lb/pulg ² | 70 (min) |
| - Estabilidad Dimensional | ASTM D 1204 | % | 5 (máx) |
| - Resist. a la Rotura por Baja Temperatura | ASTM D 1790 | °C | -20 |
| - Temperatura máx. de Trabajo | | °C | 40 |
| - Pérdida de Volátiles | ASTM D 1203 Mét.A | % | 0,8 (máx) |
| - Resistencia al Corte | ASTM D 882 | Kg/cm | 11,0 |
| - Resistencia al Pelaje (Despegue) | ASTM D 882 | Kg/cm | 2,4 |

Sistema de control de calidad de la geomembrana

Se confrontarán los valores del material tomando en consideración las pruebas para:

- Espesor (mediante el uso del micrómetro),
- Resistencia al corte (mediante el uso del tensiómetro) y
- Elongación (mediante el uso del tensiómetro).

que se confrontará con las especificaciones técnicas del material ofertado sobre la base de las especificaciones que se acompañan.

Todas las soldaduras deben ser controladas al 100% en su longitud por medio de ensayos no destructivos (ensayos de pelaje) y no destructivos (cánulas de aire) con el fin de verificar la continuidad de las mismas.

Toda soldadura no conforme debe ser identificada, reparada y ensayada nuevamente. El procedimiento de control de calidad debe ser documentado en forma exhaustiva por el suministrador de acuerdo a los formatos aprobados por la Supervisión.

Las soldaduras deben ser también verificadas por medio de ensayos destructivos (ensayo de pelaje) con el fin de evaluar sus esfuerzos mecánicos. La frecuencia de estos ensayos podría ser un muestreo para cada 150 m de longitud de soldadura en el campo; las muestras son ensayadas en campo utilizando los mismos requerimientos que para los ensayos de conformidad. Adicionalmente se requiere ensayos mecánicos de laboratorio para constatar los resultados de los valores del catálogo. Las soldaduras no conformes son reparadas y ensayadas nuevamente.

- Criterio de rechazo

Se instalará solo las geomembranas que han cumplido satisfactoriamente con el proceso de control de calidad solicitado por la Supervisión. Una inspección visual para cada panel pre-fabricado será realizada previa a su instalación, con el fin de determinar e identificar posibles defectos de fabricación o daños producidos durante el transporte. Sólo se aceptará las mantas que estén debidamente empacadas y que no presenten defectos visibles, a excepción que el daño sea localizado en la superficie externa del panel o que el daño sea puntual.

- **Procedimientos de control de calidad para la calibración de los equipos de soldadura**

Los responsables de la instalación no darán comienzo a ninguna soldadura para la instalación definitiva de las geomembranas en campo, sin la disponibilidad y calibración adecuada de los equipos de soldaduras. Esta calibración será realizada cada vez que se comience a trabajar con un equipo o siempre que ocurran cambios drásticos en las condiciones climáticas durante el período de trabajo.

Ensayo de corte

La muestra de 1 pulgada (2,54 cm) de ancho será medida en base a la norma ASTM D 882 en kg/cm y el valor leído en el tensiómetro (kg) será dividido por 2,54 cm.

Ensayo de pelaje

Es similar a la anterior.

- **Procedimientos de control de calidad para las soldaduras de campo o taller**

Los responsables de la instalación, verificarán todas las soldaduras realizadas en campo (100%); incluye las soldaduras hechas alrededor de los parches. Esta verificación es realizada por medio de ensayos no destructivos, prueba de aire lanzado, con el fin de determinar la continuidad de las mismas. Adicionalmente, serán realizados ensayos destructivos (prueba del pelaje) para determinar la resistencia mecánica de las soldaduras y la conformidad de las mismas con los criterios de diseño. Los ensayos destructivos son realizados en zonas determinadas en forma aleatoria y/o donde se juzgue necesario y/o en zonas solicitadas por el Ingeniero Supervisor.

Ensayos no destructivos de soldaduras

Los ensayos no destructivos incluyen dos ensayos estandarizados por la industria y tecnología de los geosintéticos; estos son el ensayo de aire lanzado para las soldaduras químicas en frío y la prueba de pelaje para las soldaduras con equipo portátil de reparación.

Ensayos destructivos de soldaduras

Los ensayos destructivos serán realizados como ya se ha mencionado en zonas predeterminadas aleatoriamente, o donde se juzgue necesario a solicitud del Supervisor. Se recomienda un ensayo cada 150 m de longitud de soldadura en campo. Dependiendo de los resultados, el Supervisor podrá variar la frecuencia de los ensayos. Los ensayos destructivos incluyen el ensayo de esfuerzo al corte y el ensayo de esfuerzo al pelaje. Toda soldadura no conforme será debidamente identificada, reparada y ensayada nuevamente. Si los resultados no son satisfactorios, el Contratista deberá extraer una muestra dentro de una distancia de 3 m alrededor del sitio de prueba.

Reparaciones

En caso que las soldaduras de campo no cumplan con los criterios de diseño y procedimientos de control de calidad descritos, se procederá con la reparación o reemplazo según lo determine el Ingeniero Supervisor.

Certificación e informe final de obra

El Contratista presentará un informe final de obra certificando todos los resultados obtenidos y trabajos realizados según los requerimientos técnicos de diseño y el procedimiento de control de calidad. El informe será presentado al Ingeniero Supervisor.

3.09 Revestimiento con Geotextil de 175 gr/m²

Descripción de los trabajos

Sobre la caja del canal y la trinchera de anclaje perfectamente perfilados, se colocará primero una manta de geotextil de 175 gr/m², luego la geomembrana y por último la manta de geotextil superior sobre la cual se vaciará el concreto de revestimiento de 7,5 cm tal como se especifica en la lámina N°13.

Método de trabajo

Antes de la colocación de la geomembrana y el geotextil, la caja del canal y la trinchera de anclaje deben estar perfectamente perfilados. Colocándose

primero una capa de geotextil, luego la geomembrana PVC y por último otra capa de geotextil superior sobre la cual se vaceará el concreto del revestimiento de 7,5 cm.

Método de instalación del geotextil de 175 gr/m²

Se procederá a la colocación de la manta de geotextil cuando las condiciones del terreno sean aprobadas por la Supervisión. El geotextil colocado protegerá a la geomembrana del efecto de punzonamiento que algunas puntas de piedras de la excavación que pudieran dañarla, por efecto del peso del agua.

Procedimiento de construcción

- Almacenaje de los geotextiles

Los rollos de geotextil deberán ser proveídos con envoltura para protección contra la humedad y la exposición a los rayos ultravioletas antes de su colocación. Los rollos deberán ser almacenados de tal modo de protegerlos de estos elementos. Si son almacenados a la intemperie, deberán colocarse elevados y protegidos con una cobertura impermeabilizante. En ningún momento el geotextil deberá estar expuesto a los rayos ultravioletas por un período que exceda los 14 días.

- Preparación del sitio

El área de instalación deberá ser preparado limpiando todos los restos de rocas y obstrucciones que puedan dañar el geotextil. Es por eso que la subrasante deberá estar conformada perfectamente de acuerdo al perfil de excavación de la caja.

- Colocación del geotextil

El geotextil deberá ser desenrollado tan suavemente como fuera posible sobre la subrasante preparado en la dirección de avance. Los rollos de geotextil deberán ser traslapados en la dirección de la colocación de la base. El geotextil deberá traslaparse de acuerdo a los requerimientos de la siguiente Tabla

Recomendaciones para Traslapes

| Resistencia del suelo (CBR) | Traslape mínimo (cm) |
|------------------------------|----------------------|
| $0,5 \leq \text{CBR} \leq 1$ | 90 |
| $1 \leq \text{CBR} \leq 2$ | 75 |
| Mayor que 2 | 45 |

Si se requiere, el geotextil puede ser fijado, antes de la colocación del balasto con pines, sacos de arena, pilas de relleno o rocas. En las curvas, el geotextil puede ser doblado o cortado. El doblado o el traslape deberá ser hecho en la dirección a la construcción y deberá ser fijado como se describió anteriormente. El geotextil no deberá ser arrastrado a través del suelo.

Los geotextiles dañados identificados por la Supervisión, deberán ser separados inmediatamente. El área dañada más un adicional de 90 cm alrededor de dicha área, deberá ser limpiada de todo material de relleno. Se deberá hacer un parche de geotextil de 90 cm más allá del perímetro del área dañada. El cosido de los parches debe ser controlado por el Ingeniero Supervisor. Los geotextiles dañados deberán ser reparados sin costo para el Proyecto.

Calidad del material

El geotextil deberá estar compuesto por fibras sintéticas. Las fibras usadas en la fabricación del geotextil deberán estar compuestas por un mínimo de 55% en peso de poliolefinos, poliéster o poliamidas no tejido. El geotextil deberá estar libre de defectos o imperfecciones que puedan afectar significativamente sus propiedades físicas. El geotextil deberá cumplir los requerimientos de la Tabla.

Especificaciones Internacionales para Geotextil no Tejido

| Características | Norma | Unidad | Valores Marv. |
|------------------------------------|-------------|--------------|---------------|
| Propiedad Mecánica | | | |
| Método Grab | | | |
| Resistencia a la tensión | ASTM D-4832 | N (lb) | 520 (116) |
| Elongación | | % | 55 |
| Resistencia en las Costuras | ASTM D-4632 | N (lb) | 470 (105) |
| Resistencia al Punzonamiento | ASTM D-4833 | N (lb) | 280 (63) |
| Resistencia al Rasgado Trapezoidal | ASTM D-4533 | N (lb) | 210 (47) |
| Resistencia a Rayos UV | ASTM D-4355 | % a 500 Hrs. | 70,0 |
| Método Mulien Burst | | | |
| Resistencia al estallido | ASTM D-3786 | kPa (psi) | 1570 (227) |

| | | | |
|-----------------------------|-------------|------------------|--------------------|
| Propiedad Hidráulicas | | | |
| Tamaño de Abertura Aparente | ASTM D-4751 | mm (No Tamiz) | 0,180 (80) * |
| Permeabilidad | ASTM D-4491 | cm/s | $34 \cdot 10^{-2}$ |
| Permisividad | ASTM D-4491 | | 2,13 |
| Espesor | ASTM D-5199 | mm | 1,60 |
| Presentación | | | |
| Tipo de Polímero | Fabricante | | PP |
| Relación Peso/Área | ASTM D-3776 | g/m ² | 175 |
| Rollo Ancho/Largo | Medido | m | 3,80/130 |
| Rollo Área | Calculado | m ² | 494 |
| Rollo Peso Bruto | Medido | kg | 95 |

MARV.= Valores Mínimos Promedio por Rollo

PP = Polipropileno

* = Único valor que se toma como máximo

Control de calidad

- La conformidad de los geotextiles a las propiedades especificadas deberá ser determinada de acuerdo a la norma ASTM D4759, "Práctica para determinar la conformidad de la especificación de geosintéticos".
- La entidad contratante puede requerir una carta del fabricante, certificando que los geotextiles cumplan con las especificaciones.
- El lote deberá ser muestreado según la norma ASTM D 4354, "Práctica del muestreo de geosintéticos para pruebas".
- El porcentaje de resistencia a la tensión retenida, evaluada usando la norma ASTM D 4632, "Método de Prueba para la carga a la rotura Grab y la elongación en los geotextiles" después de 500 horas.

4. PRUEBAS HIDRÁULICAS

4.01 Pruebas de Estanqueidad de los Tramos del Canal Rehabilitado

Descripción de los trabajos

Una vez concluida las obras de rehabilitación en cada tramo, el Contratista efectuará la correspondiente prueba hidráulica de cada tramo.

En consideración a que no es posible hacer discurrir un caudal de 5 m³/seg por el canal Chen Chen - San Antonio a rehabilitar, puesto que el tramo aguas abajo de San Antonio se encuentra en proceso de construcción, no es posible efectuar las pruebas hidráulicas completas pertinentes; éstas se circunscribirán a la ejecución de pruebas de estanqueidad para cada tramo específico rehabilitado, según los lineamientos generales contenidos en esta parte.

El Contratista deberá presentar un procedimiento detallado y cronograma de las mencionadas pruebas de estanqueidad, que deberá ser revisado y aprobado por la Supervisión de la Obra.

El objeto principal de las pruebas de estanqueidad es verificar si el revestimiento ejecutado como parte de los trabajos de rehabilitación cumple con los requisitos de estanqueidad especificados y certificar que en dichos tramos no habrán fugas de agua que puedan activar a los suelos moro moro y provocar el colapso del material bajo la cimentación en el que se ha construido el canal. Es necesario tener en consideración que el proyecto ha sido concebido de tal forma que no permita pérdidas de agua por infiltración que activen los mencionados fenómenos, para lo cual debajo del revestimiento de concreto se ha colocado una geomembrana.

El Contratista deberá considerar las recomendaciones contenidas en el Proyecto de Operación y Mantenimiento del Canal, en las partes pertinentes, documento que forma parte del Expediente Técnico del Canal Chen Chen - Jaguay, editado en Agosto 95.

Las siguientes actividades serán cumplidas previamente a la ejecución de las pruebas de estanqueidad:

Comunicación del Contratista avisando a la Supervisión la conclusión de los trabajos de rehabilitación del tramo a probarse.

- Nombramiento de la Comisión de Pruebas, la misma que estará compuesta por un representante del PEPG, un representante de la Supervisión y un representante del Contratista. La realización de las pruebas estará a cargo del Contratista, el que pondrá a disposición el personal especializado y de control requerido.
- Inspección detallada del tramo a probarse, debiendo verificarse el estado de los sellos elastoméricos de las juntas, el acabado del concreto de revestimiento, mapeo de las fisuras si las hubiere con la respectiva medición de sus espesores y de ser el caso resane de las mismas con material elastomérico, etc. Asimismo deberá verificarse las dimensiones y niveles de la sección y perfil del canal, tanto en la base como en las coronas.
- Revisión de los partes diarios de colocación de la geomembrana y de la aclaración de las observaciones que hubieran existido durante su instalación.
- Definición de las fechas del cronograma de pruebas.

Para la realización de la prueba de estanqueidad de cada uno de los tramos se procederá de la siguiente manera:

- Construcción de los diques impermeables que delimiten el tramo a probarse. Estos diques serán debidamente compactados y sin dañar el revestimiento del canal en el cual se apoyan. Serán ejecutados con material impermeable de modo que no existan fugas en ingresos de agua a través de ellos. El Contratista definirá el tamaño y los materiales a utilizarse para los cierres impermeables, lo cual será aprobado por la Supervisión.
- Cuidadoso llenado de agua del tramo a probarse, contrastando el volumen de agua empleado con el volumen teórico calculado (esto sólo tiene carácter referencial). El nivel de agua promedio debe ser igual o mayor al tirante para 5 m/s.
- Señalización clara de los niveles iniciales del agua que deberá controlarse con un micrómetro instalado sobre la caja, dentro de un pequeño cilindro que permita mediciones sin acciones del viento.
- Medición de la variación de los niveles de agua en los puntos de control previamente definidos. Es de esperarse que inicialmente se produzca un descenso del nivel de agua por saturación del revestimiento, dicho descenso debe atenuarse una vez producida la saturación del mismo lo cual puede notarse claramente en la curva de infiltración que se prepara para cada prueba.
- Medición simultánea de la evaporación en un tanque de evaporación con micrómetro, según especificaciones estándar que maneja el SENAMHI en todas sus estaciones meteorológicas.

- Control permanente de que no se producen las filtraciones en las zonas de los diques impermeables, que de haberlas exigirá la realización de una nueva prueba.
- El control debe extenderse por un lapso de apróx. 15 días, salvo que ocurra algo fuera de lo normal, recomendándose lecturas diarias en los primeros 5 días, cada dos días del 6 al 10 día y cada 3 días del 11 al 15 día, periodo que pueden ser ajustados en obra por el Supervisor, de modo que permita obtener la curva de infiltración hasta hacerse asintótica.
- Terminado el periodo de control, el agua puede ser cuidadosamente evacuada o trasladada a otro tramo de prueba.
- Se deberá verificar si durante los diez días siguientes a la evacuación del agua se han producido fenómenos de expansión o colapso del material de apoyo del canal. Se verificará también si se ha producido incremento de fisuras contrastando un nuevo mapeo con el mapeo inicial.
- La Comisión de Prueba emitirá el Protocolo de Pruebas correspondiente.
- Se deberán tomar todas las precauciones de seguridad pertinentes para evitar daños o falla de los diques de limitación del tramo de pruebas, lo que de producirse podría causar accidentes aguas abajo del tramo de prueba. De ser necesario deberán ser construidos diques adicionales de seguridad.

Concluidas las pruebas, la Comisión presentará el Informe Final correspondiente, acompañando los Protocolos de Prueba de cada tramo, definiendo si éstos han cumplido o no con las Pruebas de Estanqueidad, comparando la infiltración final del agua en el concreto con los valores de permeabilidad del concreto de 210 kg/cm^2 con fibras que impiden la microfisuración, del orden de 10^{-11} cm/seg . De haber observaciones importantes se deberán precisar las recomendaciones requeridas para superarlas, de modo que permitan dejar los tramos a rehabilitar en las condiciones de estanqueidad esperadas, y de operación de agua corriente diseñada.

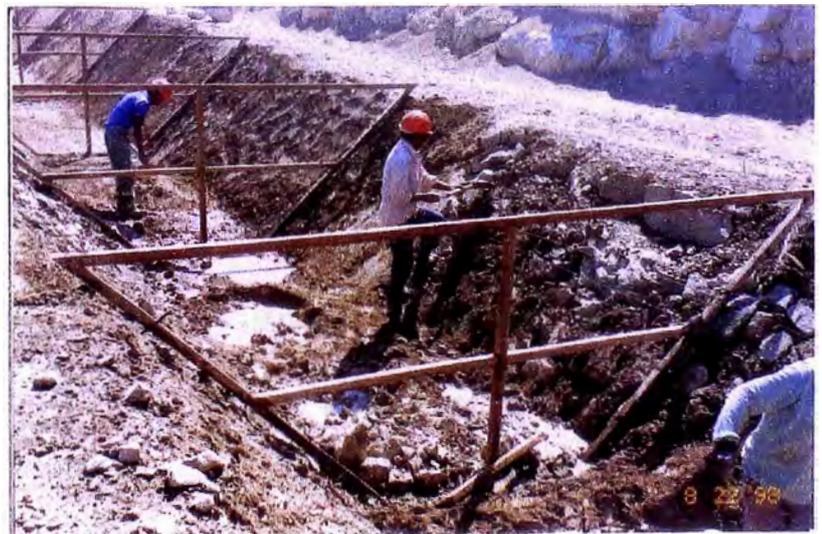
PANEL FOTOGRAFICO

*Proceso Constructivo del canal
Chen Chen - San Antonio
(1997-1998)*

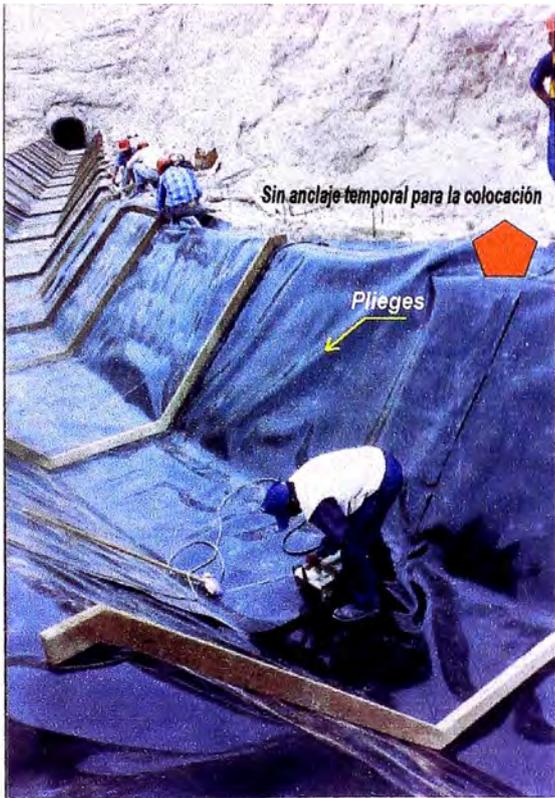


Excavación de la plataforma del canal Chen Chen -San Antonio

Nivelación de la plataforma del Canal, se observa tramo en roca

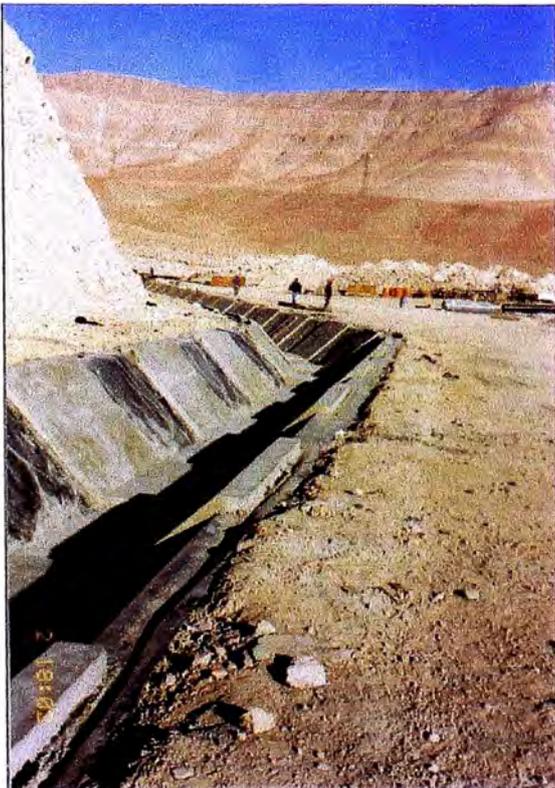
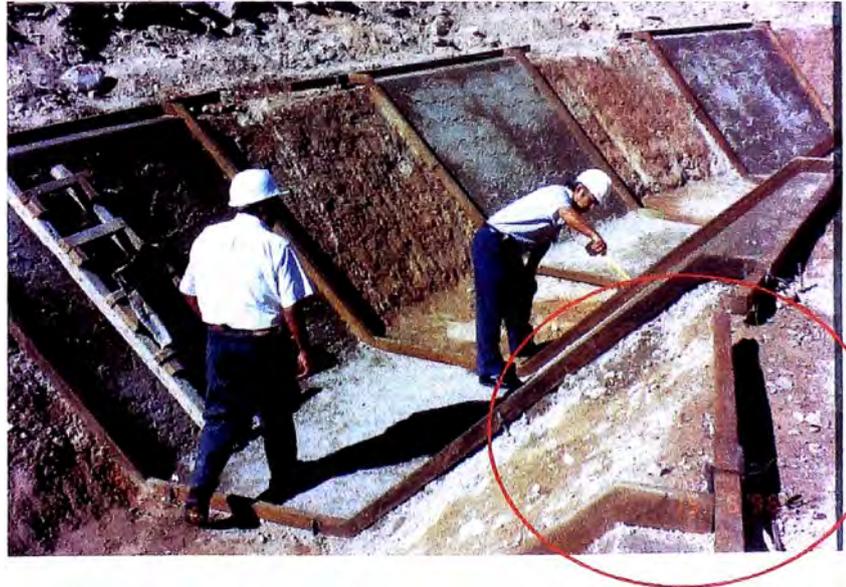


Colocación de la manta de Geotextil, no se aprecia ningún tipo de anclaje temporal para la colocación de la manta.

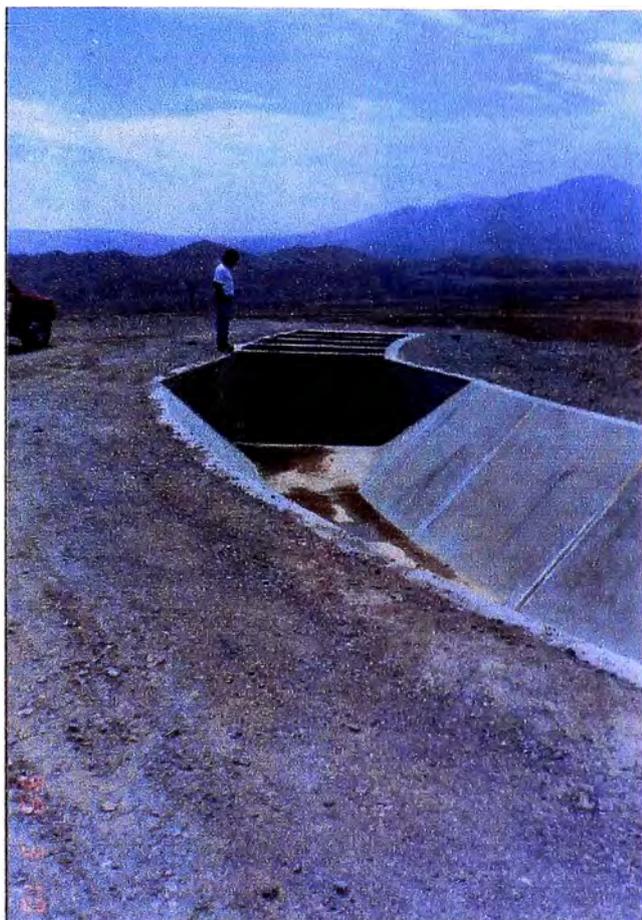


Colocación de la geomembrana sobre el geotextil, se observa la falta de pesos temporales a los bordes como ayuda para la colocación del material, observandose por ello la gran cantidad de pliegues

Zona sin geosinteticos, preparación para el vaciado del concreto de regularización, se observa inicio de zona en curva

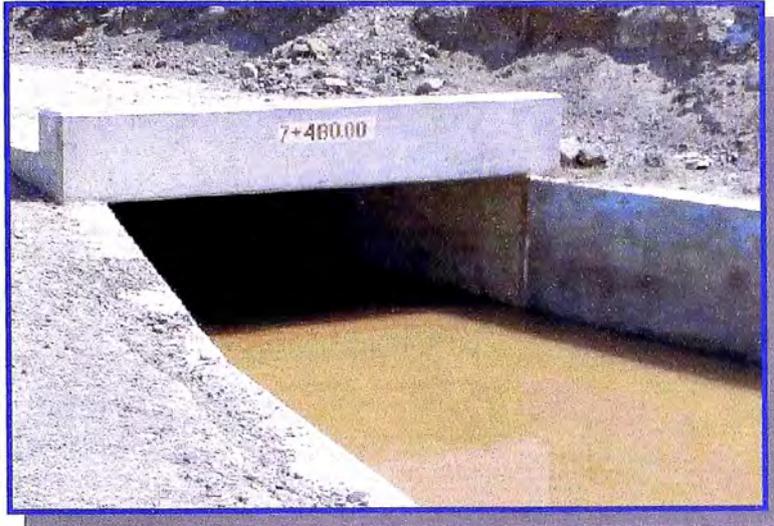


Vista de un tramo del canal luego del vaciado de las losas en forma alterna



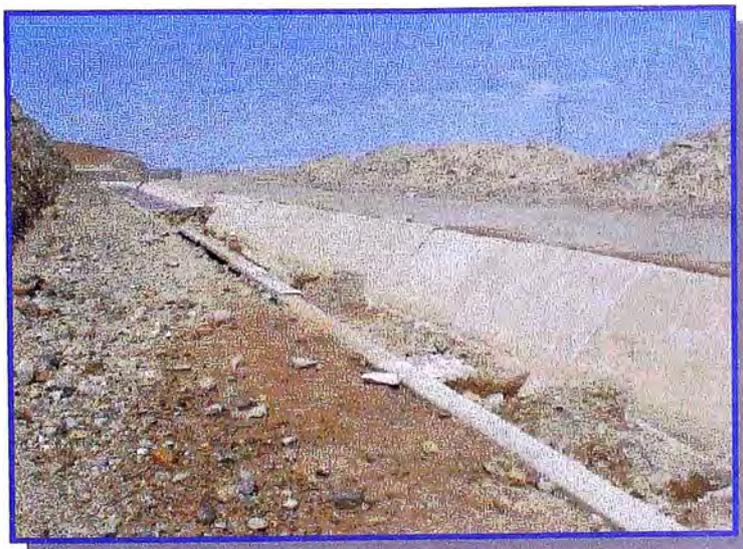
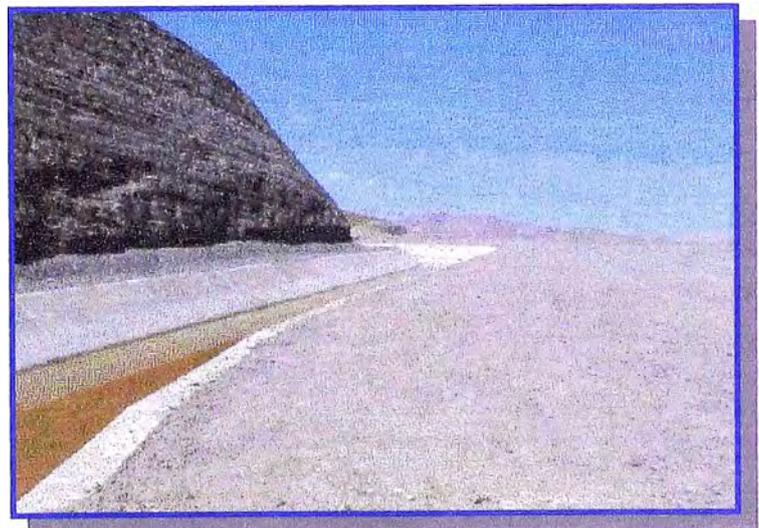
Vistas panorámicas del canal, concluido





Salida del conducto cubierto e inicio de la zona evaluada, progresiva 7+480 donde la estructura se halla en buenas condiciones

Vista del canal aguas abajo del conducto cubierto, en buen estado desde 7+480 al 7+631.12



Tramo del canal en mal estado (7+631.12 al 7+664.12)



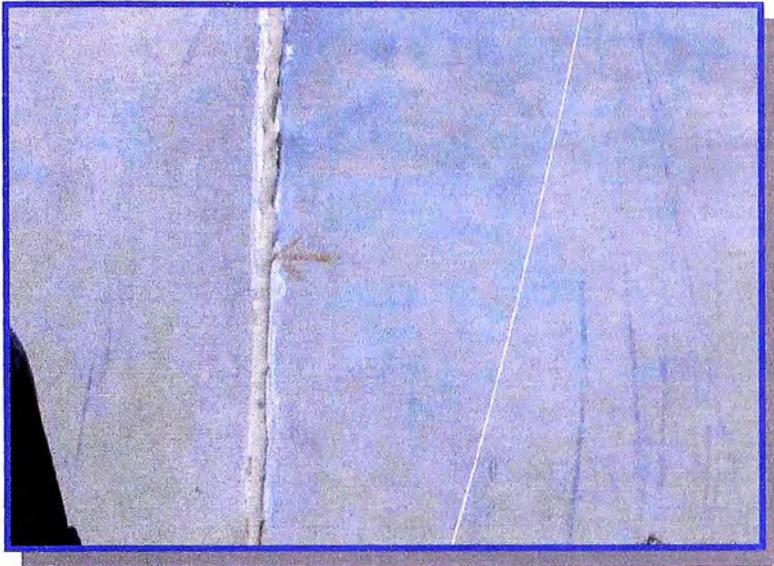
Se observa el desnivel de las losas de 4.5 cms, nótese el vacío en el suelo al borde de la corona, que se prolonga y amplía por las filtraciones de agua



Vista de la tubería de PVC para el paso del agua en un tramo de canal dañado.



Muro de albañilería rustico provisional para proteger los tramos de canal bueno de la invasión del agua, captándolos a través de una tubería.



Vista de una junta fallada; el dinatred se encontró semi descompuesto y esponjado.

Tramo en buen estado, a la salida del sifón

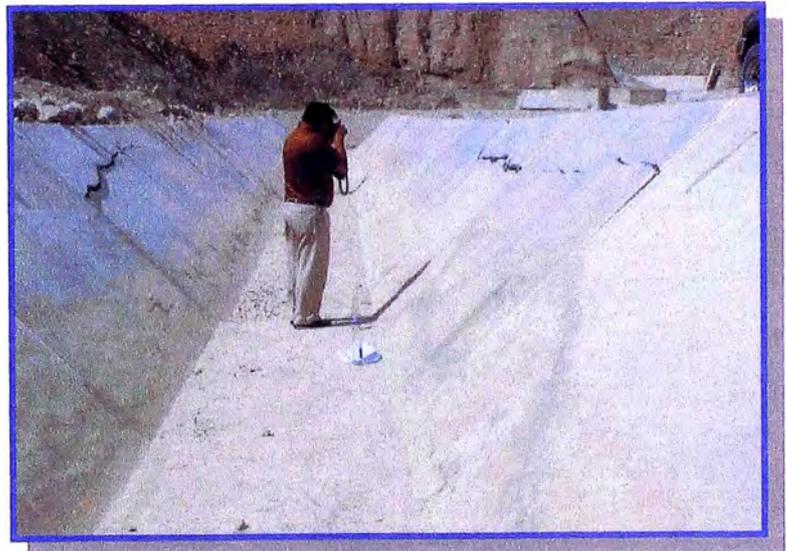


*Vista del sifón aguas arriba
Km: 8+791 al 9+425*

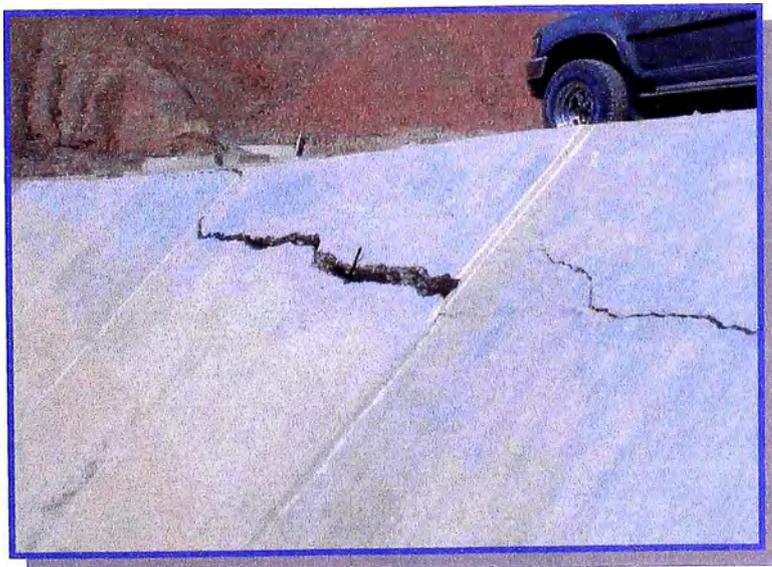


Vista de uno de los tamos en mal estado

Tramo del canal en mal estado entre la progresiva 11+813.22 al 11+883.15



Se observa grietas de las losas de hasta 5 cm.





Tramo del canal en aparente buen estado Km 12+751.27 al 12+800, observándose serios desniveles en la rasante del canal, evidenciando un mal proceso constructivo.

*Proceso Constructivo adoptado en el tramo
San Antonio - Jaguay (2001-2002)
(SAGITARIO)*

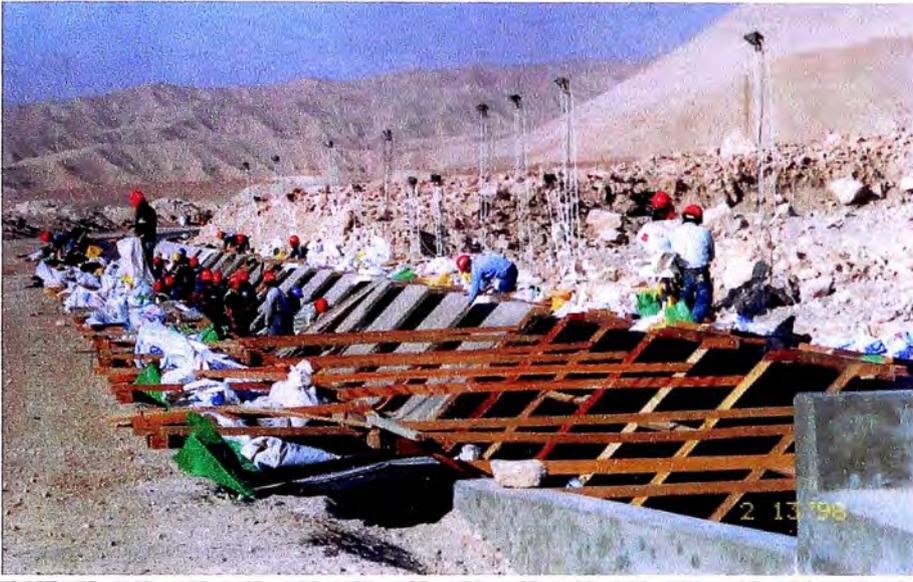


*En esta vista se puede observar
la geomembrana puesta en obra*

*En esta foto se aprecia el
geotextil superior*

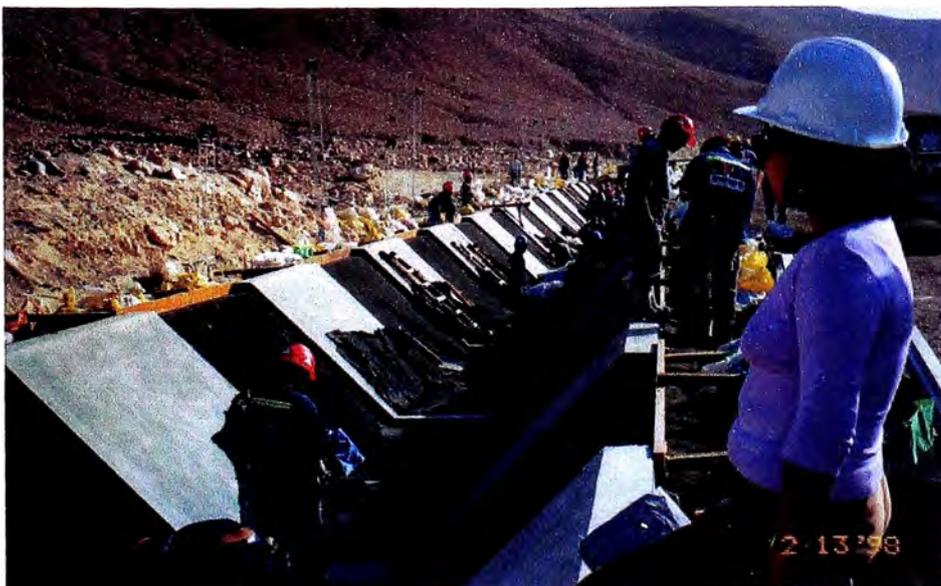
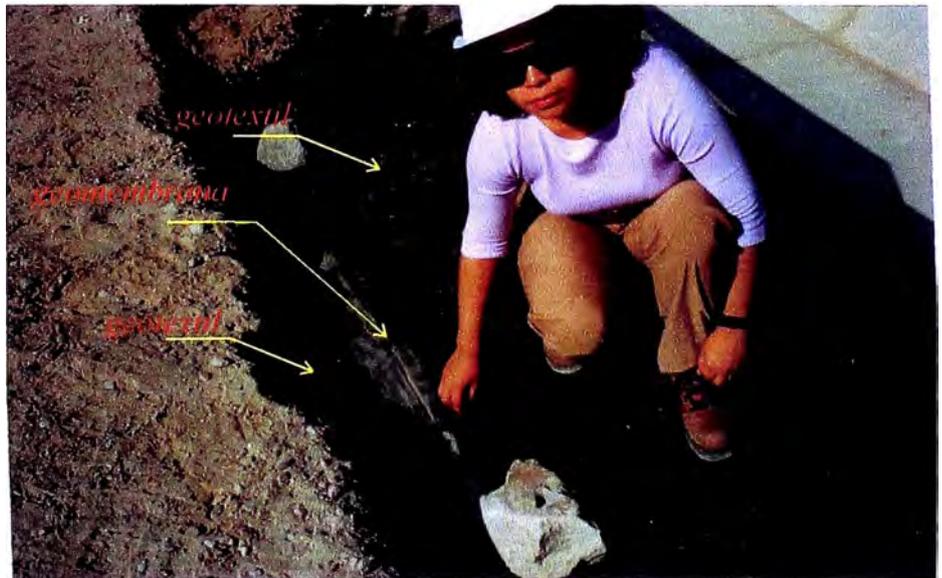


PANEL FOTOGRAFICO



se aprecia el encofrado especial utilizado con el fin de no dañar la geomembrana

En la foto se muestra la geomembrana cubierta por el geotextil



Preparacion para el vaciado de las losas que se realizan en forma alterna