



300615
UNIVERSIDAD LA SALLE

Escuela de Ingeniería
Incorporada a la U.N.A.M.

16-A
2eje.

**"ANALISIS SOBRE LA IMPLEMENTACION DEL SISTEMA DE
GEOMEMBRANA DE POLIETILENO CLOROSULFONADO
(HYPALON), COMO IMPERMEABILIZANTE DE LOS TANQUES
REGULADOR Y SEDIMENTADOR EN EL PROYECTO
HIDROELECTRICO AGUA PRIETA, JALISCO"**

**TESIS PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO CIVIL**

PRESENTA

SANTIAGO SOSA RENDIS

Asesor de Tesis: Ing. Edmundo Barrera Monsivais

México D.F. 1994

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



LA SALLE

Al Pasante Señor: Santiago Sosa Rendis

En atención a su solicitud relativa, me es grato transcribir a Ud. a continuación, el tema que aprobado por esta Dirección, propuso como Asesor de Tesis el Ing. Edmundo Barrera Monsivais, para que lo desarrolle como tesis en su Examen Profesional de Ingeniero Civil.

"ANÁLISIS SOBRE LA IMPLEMENTACION DEL SISTEMA DE GEOMEMBRANA DE POLIETILENO CLOROSULFONADO (HYPALON), COMO IMPERMEABILIZANTE DE LOS TANQUES REGULADOR Y SEDIMENTADOR EN EL PROYECTO HIDROELECTRICO AGUA PRIETA, JALISCO"

con el siguiente índice:

	INTRODUCCION
CAPITULO I	DESCRIPCION DEL PROYECTO HIDROELECTRICO "AGUA PRIETA"
CAPITULO II	GEOMEMBRANAS
CAPITULO III	PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO
CAPITULO IV	INSTALACION DE GEOMEMBRANAS Y CONTROL DE CALIDAD CONCLUSIONES BIBLIOGRAFIA

Ruego a Ud., tomar debida nota de que en cumplimiento de lo especificado en la Ley de Profesiones, deberá prestar Servicio Social como requisito indispensable para sustentar Examen Profesional, así como de la disposición de la Dirección General de Servicios Escolares, en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares de la tesis, el título del trabajo realizado.

A T E N T A M E N T E
"INDIVISA MANENT"
ESCUELA DE INGENIERIA

México, D.F., a 17 de Noviembre de 1994

ING. EDMUNDO BARRERA MONSIVAIS
ASESOR DE TESIS

ING. EDMUNDO BARRERA MONSIVAIS
D I R E C T O R

UNIVERSIDAD LA SALLE

BOULEVARD DE LA UNIV. LA SALLE, CDMX

*A mi madre, por el amor y apoyo que
siempre me ha brindado en todas las
etapas de mi vida.*

Sra. Elena Rendis Campos

*A mis hermanos por su ayuda
y cariño:
Willy y Mario*

*A mi novia por su ayuda,
comprensión y cariño:*

Srita. Maria Fernanda Evia Portillo

*A mis amigos (deseando no
omitir a alguno), por su amistad
y apoyo.*

*Un especial agradecimiento para el
Ing. Jorge Chong Sedas, por la ayuda
proporcionada en la elaboración de esta tesis*

GRACIAS.

INDICE

Introducción	4
Capítulo 1 Descripción del proyecto hidroeléctrico “Agua Prieta”, Jalisco	6
Capítulo 2 Geomembranas	
2.1 Diferentes tipos de recubrimientos	20
2.2 Historia de las geomembranas	27
2.3 Diversos tipos y propiedades de las geomembranas más comunes	28
2.3.1 Principales usos y aplicaciones de las geomembranas flexibles y cubiertas flotantes	32
2.4 Mecanismos de degradación en las geomembranas	44
Capítulo 3 Procedimiento constructivo	
3.1 Antecedentes	51
3.2 Suministro y manejo	52
3.3 Limpieza, corrección de protuberancias, corte y extracción de varillas, clavos y alambres	52
3.4 Colocación de membrana geotextil	53
3.5 Colocación de polietileno clorosulfonado (Hypalón) de 36 y 60 mils. de pulgada	54
3.6 Colocación a cualquier altura de solera de acero inoxidable G-304	61

3.7 Protección de la geomembrana con losa de concreto simple	65
3.8 Recomendaciones, llenado del tanque y reparaciones	67
3.9 Gufa de mantenimiento del Hypalón	70

Capítulo 4 Instalación de geomembranas y control de calidad

4.1 Instalación de geomembranas	72
4.1.1 Equipo necesario para la instalación de geomembranas	73
4.1.2 Recepción y almacenamiento de la geomembrana	74
4.1.3 Preparación del sitio donde se instalará la membrana	76
4.1.4 Instalación de los paneles de geomembrana	79
4.1.5 Instrucciones generales de unión de paneles o lienzos	82
4.1.6 Unión de campo según el tipo de material	85
4.1.7 Reparación de la membrana	86
4.2 Control de calidad	
4.2.1 Introducción y objetivos	86
4.2.2 Alcances en el control de calidad para instalación de geomembranas	89
4.2.3 Pruebas de uniones	95
4.2.4 Costo-beneficio del control de calidad para geomembranas	97

4.2.5	Perspectiva histórica del control de calidad de geomembranas	98
4.2.6	Práctica del control de calidad en la instalación de geomembranas	100
4.2.7	Influencia de la temperatura en las geomembranas y medidas para el control de calidad	100
4.2.8	Temperatura de las geomembranas en el campo	102
	Conclusiones	108
	Bibliografía	111

INTRODUCCION

Esta tesis es un estudio que aporta información sobre los diversos tipos de geomembranas que hay en el mercado, en especial el polietileno clorosulfonado (Hypalón), geomembrana seleccionada para impermeabilizar los tanques regulador y sedimentador del sistema hidroeléctrico "Agua Prieta", Jalisco.

La geomembrana garantiza la impermeabilidad y capacidad de estancamiento en los tanques, así como la no contaminación al medio ambiente, protegiendo los mantos acuíferos contra el ataque de las aguas negras y residuales que abastecen este sistema, provenientes de la ciudad de Guadalajara y su zona metropolitana.

Las geomembranas se desarrollaron principalmente por necesidades ecológicas y actualmente son, en Estados Unidos y otros países desarrollados, una eficaz solución a los problemas de contaminación ambiental. En México se han comenzado a implementar estos sistemas con éxito como una solución a la crisis ambiental que se está viviendo.

El proyecto hidroeléctrico "Agua Prieta" es uno de los más importantes en su tipo en lo que se refiere a captación, conducción y aprovechamiento de aguas negras y residuales. Este proyecto conduce dichas aguas varios kilómetros de distancia por medio de canales, túneles y sifones hasta su llegada a la planta generadora de energía eléctrica, descargando en el cauce del río Santiago.

Durante la ejecución del proyecto se presentó la necesidad de no contaminar los mantos acuíferos debido a posibles filtraciones en los tanques, por lo que era de vital importancia encontrar la solución óptima. Esta fue la de colocar una membrana de

Hypalón (polietileno clorosulfonado) que reúne las propiedades, características y compatibilidad para resistir los esfuerzos y agresiones físico-químicas que se consideraron durante el proceso de conducción, almacenamiento y operación con aguas negras y residuales.

El objetivo general de este trabajo de investigación es el de conocer la eficiencia del polietileno clorosulfonado y otras geomembranas para dar solución a problemas de migración contaminante, específicamente en el proyecto hidroeléctrico "Agua Prieta" de la Comisión Federal de Electricidad, en Zapopan Jalisco.

Se expondrá a lo largo de la tesis todo lo relacionado al procedimiento constructivo, manejo y protección de la geomembrana seleccionada, así como un análisis de las características físicas de diversos tipos de geomembranas que existen en el mercado y su aplicación. El control de calidad también constituye un capítulo importante ya que nos define la normatividad de esta tecnología.

Esta tesis no incluye ningún estudio geológico de la zona donde se localizan los tanques regulador y sedimentador, ni tampoco se hace un análisis de la composición química que poseen las geomembranas y geotextiles, ya que éstos no son objeto de nuestra investigación.

CAPITULO 1

DESCRIPCION DEL PROYECTO HIDROELECTRICO "AGUA PRIETA", JALISCO

En la actualidad se cuenta con un nuevo Proyecto Hidroeléctrico, denominado "Agua Prieta", en el estado de Jalisco, en el que se aprovechan: el desnivel hidráulico que existe en una caída natural: "La Barranca de Oblatos" y los volúmenes de aguas negras de la ciudad de Guadalajara y su zona metropolitana.

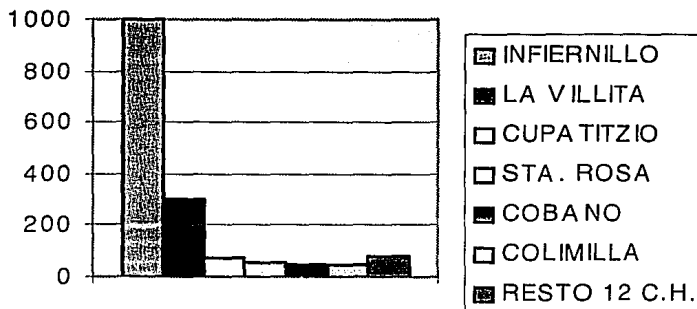
La ciudad de Guadalajara, después de la ciudad de México, es la que cuenta con la mayor concentración de habitantes en nuestro país y según las estadísticas de su desarrollo, se pronostica que con el tiempo alcanzará a la ciudad de México en el índice de crecimiento y probablemente en número de habitantes.

Según estadísticas recientes de la C.F.E., nuestro país necesita generar energía eléctrica a un ritmo de 9 % anual para satisfacer la demanda. La mayor parte de la producción de energía eléctrica es generada en centrales termoeléctricas que consumen recursos naturales no renovables, cuyo agotamiento a largo plazo es inminente, principalmente hidrocarburos y carbón, que además constituyen fuentes altamente contaminantes. Por ello es tan importante el aprovechamiento de otras fuentes motoras naturales con gran cantidad de energía potencial, como son el agua de los ríos, el vapor de las profundidades de la tierra y en un futuro muy cercano, aquí en nuestro país, plantas generadoras que aprovechen la energía de las olas del mar y las mareas, los rayos del sol, la fuerza del viento, etc..

Actualmente a la Ciudad de Guadalajara y su zona metropolitana, en su mayoría industrial, se le surte energía de centrales termoeléctricas locales e hidroeléctricas del

estado de Jalisco como son "Colimilla" y "Santa Rosa" sobre el río Santiago. Algunas se localizan en otros estados de la República como es el caso de las hidroeléctricas del "Infiernillo" en el estado de Guerrero, de la "Villita" en Michoacán, movidas ambas por las aguas del río Balsas y de las termoeléctricas de "Mazatlán" en Sinaloa, "Manzanillo" en Colima y "Salamanca" en Guanajuato. Todas estas logran abastecer de energía eléctrica a través del Sistema Nacional Interconectado. (Ver gráfica No 1).

CENTRALES HIDROELECTRICAS EN EL RIO BALSAS-SANTIAGO



Capacidad instalada en MW

GRAFICA No 1

La Comisión Federal de Electricidad con objeto de que la demanda no supere a la oferta de energía eléctrica, en esta zona, construyó dos proyectos que lograrán satisfacer la demanda de los próximos años: la gigantesca "Central Hidroeléctrica Agua Milpa" en el Estado de Nayarit, que aprovecha las aguas del río Santiago y de sus afluentes los ríos

Huaynamota y Bolaños, y la “Central Hidroeléctrica Agua Prieta Jalisco” en la jurisdicción del Municipio de Zapopan, en la parte norte del área metropolitana de Guadalajara.

Hoy en día toda el agua con que se abastece a esta ciudad, desde el lago de Chapala, manantiales naturales, bombeo profundo e inclusive la captación pluvial, luego de cumplir su función, se recolecta a través de un complicado sistema de drenaje, canales y colectores que descargan en el río Santiago, desaprovechándose la energía potencial que le proporciona el desnivel topográfico natural que existe entre la meseta en la que se localiza Guadalajara y el cauce del río Santiago en la barranca de Oblatos.

En una primera etapa la Central Hidroeléctrica de “Agua Prieta”, tratará de utilizar parte de las aguas residuales de Guadalajara y su zona metropolitana, y en una segunda etapa aprovechará casi la totalidad de los escurrimientos sanitarios.

El río Santiago nace en el lago de Chapala y desemboca en el océano Pacífico dentro de la jurisdicción del Estado de Nayarit, en un lugar denominado “Los Corchos”, después de un recorrido de más de 400 km. Al pasar por la ciudad de Guadalajara lleva en su trayectoria aproximadamente 58 km recorridos y la profundidad que tiene el cauce en la barranca de Oblatos con respecto al promedio de la elevación de la meseta en que se localiza la ciudad, es de aproximadamente 600 m. Actualmente la zona metropolitana de Guadalajara tiene un afluente de agua residual de 12 m³/seg , en promedio diario durante la época de estiaje.

Estas dos condiciones: el gasto y el desnivel, en esta zona, han sido observadas, estudiadas y comparadas con otras y variadas alternativas, desde hace tiempo, por diferentes dependencias del gobierno de nuestro país.

Correspondió a la Comisión Federal de Electricidad desarrollar y llevar a cabo el aprovechamiento hidroeléctrico del afluente citado, que resultó ser el más conveniente.

Cabe señalar que en la zona metropolitana de Guadalajara se produce un incremento considerable en el consumo de energía alrededor de las 19:00 hasta las 23:00 hrs., que se conoce como "pico" en la curva de demanda y varía en su horario más o menos una hora, por lo tanto la duración del "pico" es de 4 a 5 horas al día.

Los 12 m³/seg de aguas residuales que escurren de Guadalajara y su zona metropolitana en época de estiaje son equivalentes a 720 m³/min ó 43,200 m³/hora que arrojan un gasto promedio de 1'036,800 m³/día. En el proyecto que llevó a cabo la Comisión Federal de Electricidad, se aprovechó este gasto diario para generar energía eléctrica cuando se presente la demanda pico, por lo tanto, considerando la condición más desfavorable de 5 horas diarias:

$$1'036,800 \text{ m}^3 / 5 \text{ horas} = 207,360 \text{ m}^3/\text{hora}.$$

$$207,360 \text{ m}^3/\text{hora}; \text{ entre } 60 \text{ minutos} = 3,456 \text{ m}^3/\text{min}.$$

$$3,456 \text{ m}^3/\text{min}; \text{ entre } 60 \text{ segundos} = 57.60 \text{ m}^3/\text{seg}.$$

El departamento de proyectos propuso para la primera etapa dos turbinas, luego:

$$57.6 \text{ m}^3/\text{seg}; \text{ entre } 2 \text{ turbinas} = 28.8 \text{ m}^3/\text{seg}.$$

28.8 m³/seg > 26.3 m³/seg.

(26.3 m³/seg es la capacidad nominal de la turbina comercial fabricada, más cercana a ese gasto y que fue la que se solicitó).

Para concretar el aprovechamiento del afluente residual de la zona metropolitana de Guadalajara y el desnivel que existe en su descarga hasta el cauce del río Santiago en la barranca de Oblatos, la C.F.E., en el año de 1980 le encomendó a una compañía realizar el estudio de factibilidad y el anteproyecto de dicho aprovechamiento.

Esta empresa hizo una revisión de los diferentes sitios que la C.F.E. ya tenía determinados en la zona, como factibles para lograr el aprovechamiento hidroeléctrico, además de identificar y analizar otros posibles.

La revisión se hizo en base a un examen de las cartas topográficas y geológicas con el fin de localizar algunos nuevos sitios o mejorar los ya identificados.

La zona de estudio se extendió hasta las proximidades de la planta "Santa Rosa", identificándose 14 posibles vasos. A partir de los vasos se localizaron esquemáticamente las obras correspondientes a siete aprovechamientos factibles, a saber:

- a) El Caballito
- b) Río Blanco
- c) Agua Prieta
- d) Agua Zarca

- c) La Soledad
- f) Milpillas
- g) Santa Rosa

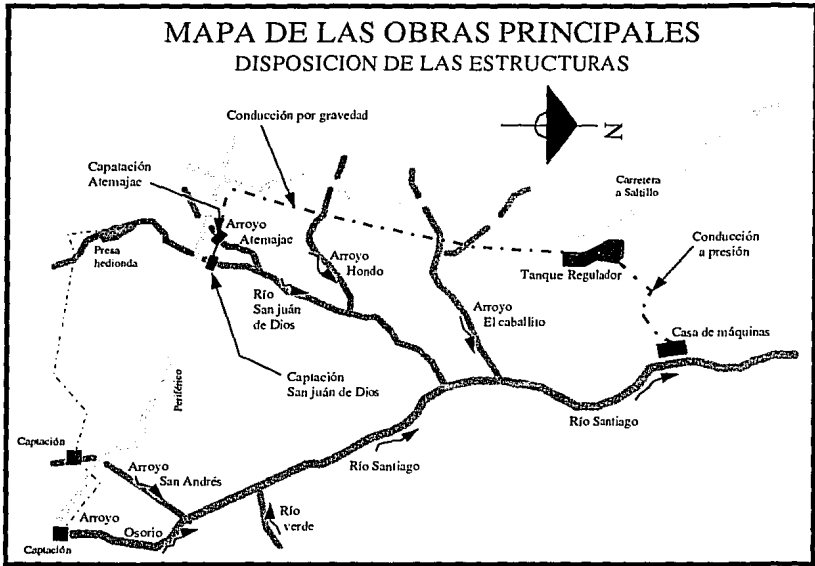
Estas opciones no fueron aprobadas por diferentes motivos: costo elevado, carga insuficiente, bajo o inconstante gasto, etc..

Por su parte la C.F.E. analizó la posibilidad de aprovechar, como otra alternativa, la presa denominada "Rancho Nuevo", que se encuentra localizada en el cruce de la prolongación de la avenida Patria con el río "San Juan de Dios", pero debido al rápido crecimiento de la ciudad en esa zona y el retraso de la decisión para llevar a cabo su construcción, así como las molestias que causaría una concentración pestilente dentro de la ciudad, obligó a buscar otro sitio que supliera las funciones de la presa y que captara además del río "San Juan de Dios" otras descargas importantes como son los arroyos de aguas residuales de las zonas norte y poniente "Atemajac", "Belenes", "Tránsito" y "Patria" sin perder desnivel y alejado de la población. (Ver croquis No 1).

Finalmente se configuró la alternativa de un almacenamiento artificial a la elevación de 1,456 m.s.n.m. aguas abajo de la presa Rancho Nuevo, con captaciones principales del río San Juan de Dios y del arroyo Atemajac localizadas aproximadamente a 200 m del cruce de la calle prolongación Alcalde y el periférico norte. (Ver croquis No 2).

A partir de la captación Atemajac, las aguas se transportan en conductos cerrados con una longitud de 6 km. Esta conducción por gravedad, se compone de tres túneles de sección tipo herradura con longitudes de 1850, 130 y 1350 m, respectivamente; dos sifones invertidos de 3.8 m de diámetro, con longitudes de 1008 y 560 m por los que se

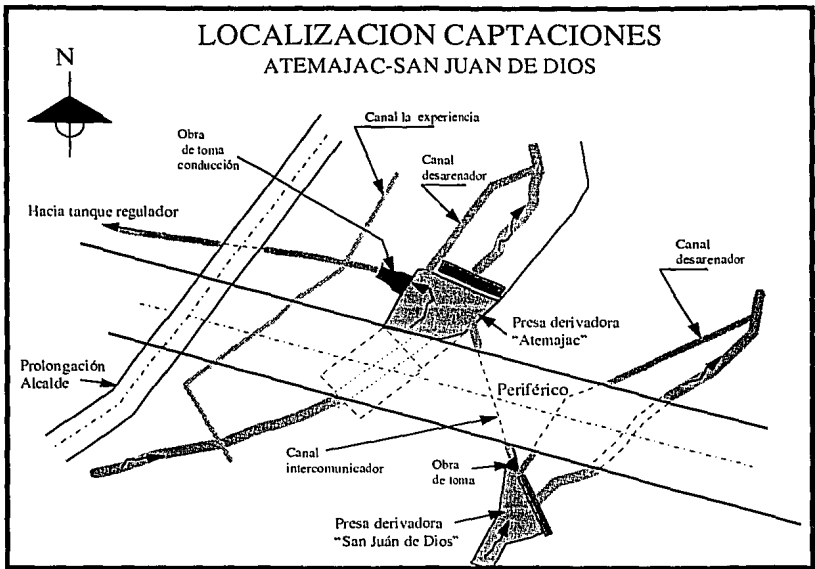
lleva el fluido hasta un tanque artificial donde se regula para extraerse diariamente. (Ver croquis No 3).



CROQUIS No 1

Dado el desarrollo de la zona urbana de Guadalajara con crecimiento acelerado, de asentamientos irregulares y el tiempo de maduración del proyecto, la ubicación del tanque regulador quedó sujeta a cumplir con las siguientes características:

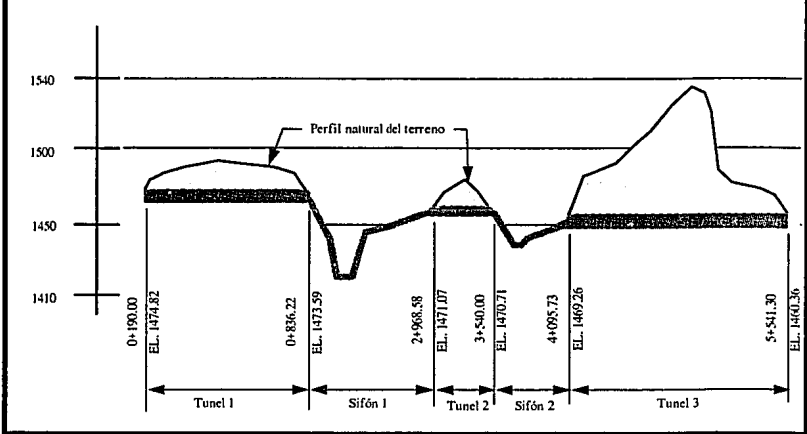
- Localización de un nivel capaz de recibir por gravedad el agua residual de los colectores, perdiendo la menor altura posible con respecto al nivel de las turbinas en las casa de máquinas, es decir, lo más cercano al sitio de las captaciones.



CROQUIS No 2

- Ubicación fuera de la mancha urbana.
- Capacidad total de almacenaje (para el tanque regulador) de 2'000,000 m³, almacenando 1'270,000 m³ en la primera etapa, previendo la construcción de la segunda etapa.
- Que las condiciones geológicas del sitio garanticen la estabilidad e impermeabilidad.
- Contar con los mecanismos y las estructuras necesarias para desazolver los volúmenes de sólidos que se acumularán constantemente.

PERFIL DE CONDUCCION ATEMAJAC - TANQUE REGULADOR

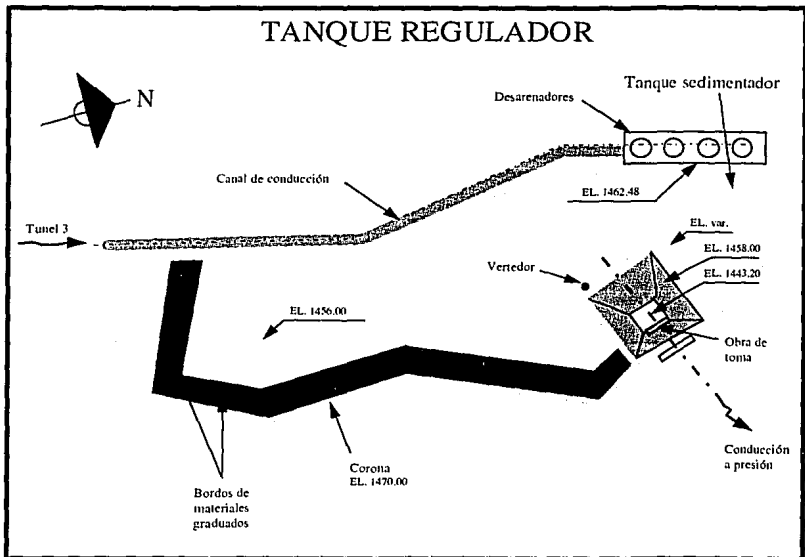


CROQUIS No 3

El sitio más adecuado, que cumplió con las características antes señaladas, se localizó a una distancia de 5.5 km de las obras de captación, en la ladera derecha del km 12 de la carretera Guadalajara-Saltijo entre el lugar conocido como "Mesa Colorada" y el acceso norte del fraccionamiento llamado "San Isidro". En este sitio el proyecto contempló una excavación en roca de 1.2 millones de m³ y la construcción de bordos de contención de aproximadamente 0.5 millones de m³. De esta manera se formó una depresión artificial para poder almacenar y regular el gasto antes mencionado.

El tanque regulador forma un embalse artificial, el cual está constituido de materiales arcillosos y respaldos de enrocamiento, recubierto con una membrana de polietileno clorosulfonado (HYPALÓN) para garantizar la impermeabilidad y la capacidad de estancamiento.

Dentro del tanque regulador existe un tanque sedimentador en el que se captan más del 98 % de los sólidos sedimentables que son arrastrados por las aguas negras. (Ver croquis No 4).



CROQUIS No 4

El nivel de la plantilla del tanque se fijó a la elevación de 1,456.00 m.s.n.m. y el nivel de las turbinas, en la casa de máquinas, se determinó a la elevación 946.50 m.s.n.m..

Cuando la planta está en operación, no se debe dejar que el nivel del agua, en el tanque regulador, descubra la obra de toma para evitar inclusiones de aire en la tubería de

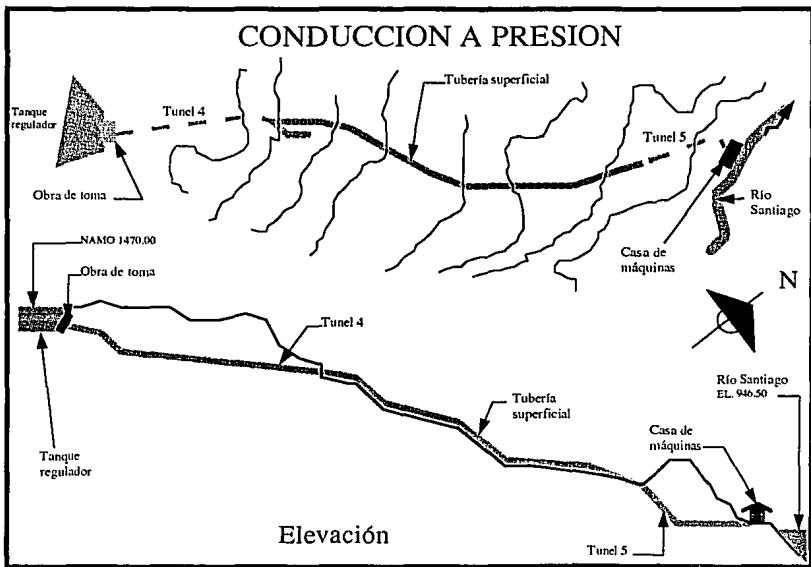
presión, por lo tanto, el nivel mínimo de operación está definido por dicha obra de toma a la elevación 1,458 m.s.n.m.

La conducción a presión inicia en un túnel que tiene 520 m de longitud, 5 m de diámetro y una carga estática máxima de 115 m. Los últimos 130 m de este túnel, se revistieron con camisa blindada, mientras que en el tramo inicial, se colocó un revestimiento de concreto reforzado. A la salida de dicho túnel, se instaló una válvula de seguridad y una bifurcación donde inicia la tubería exterior de 874 m de largo, con diámetros variables de 3.20 a 3.80 m y espesores de 2.54 a 5.08 cm de acero de alta resistencia. Para la llegada a la casa de máquinas se tiene un último túnel de 204 m de longitud y 3 m de diámetro, que soporta una carga estática máxima de 522.50 m. (Ver croquis No 5).

Tanto los dos grupos turbogeneradores (turbinas y generadores) como los equipos auxiliares, quedaron instalados en una casa de máquinas tipo exterior de 20.0 m de ancho, 76.5 m de largo y 31.0 m de altura hecha con estructura de concreto, localizada en la margen izquierda del río Santiago.

Las turbinas hidráulicas que se instalaron son de impulso tipo "Pelton", con inyector de eje vertical. Sus partes principales en el orden del paso del agua son: tuberías de distribución, inyector y rodete. Además se cuenta con un equipo para poder operar a contra presión. (Ver croquis No 6).

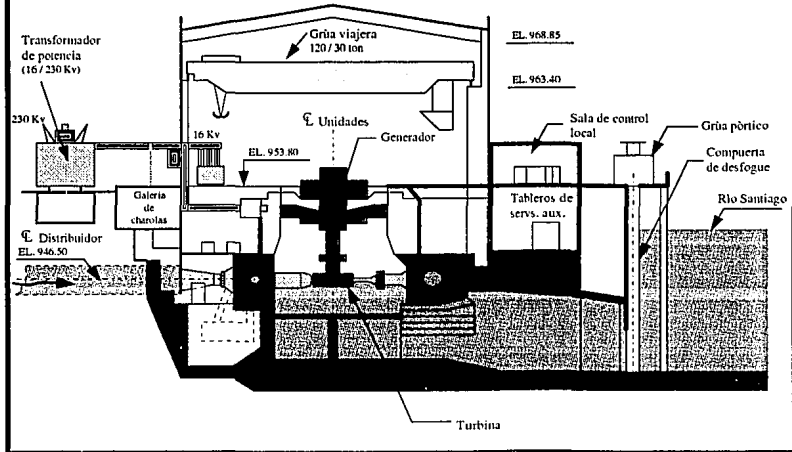
Con los elementos anteriores, durante las horas pico, se dispondrá de energía suficiente para mover dos turbinas conectadas a dos generadores eléctricos y producir 120,000 Kw (Cada uno en su primera etapa). De tal manera, que se producirán 240,000 Kw que servirán para reforzar el suministro de energía eléctrica a la zona Metropolitana de Guadalajara. (Ver gráfica No 2).



CROQUIS No 5

Es importante hacer notar que conforme las necesidades de energía eléctrica se vayan incrementando, debido al crecimiento de la ciudad, las descargas de las aguas negras también aumentarán. Por lo que se deberá ampliar la casa de máquinas para instalar una tercera turbina con su respectivo generador, lo que constituirá la “Segunda Etapa”, de la que ya se hizo mención. Posteriormente, de acuerdo a los pronósticos de crecimiento demográfico, se realizará una “Tercera Etapa” en la cual se instalará una cuarta turbina con su generador también de 120,000 Kw. Dando como resultado una capacidad final de 480,000 Kw que, según se pronostica, será posible aproximadamente hasta el año 2020 con un escurrimiento de 25 m³/seg de agua residual en época de estiaje.

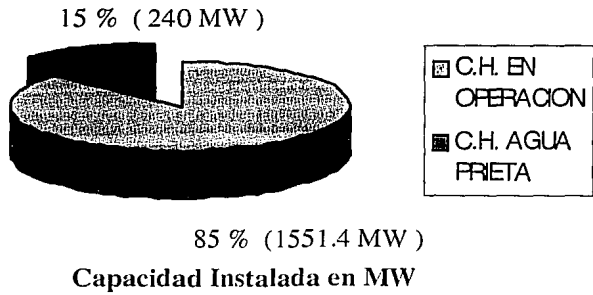
CASA DE MAQUINAS CORTE TRANSVERSAL



CROQUIS No 6

El proyecto hidroeléctrico "Agua Prieta" Jalisco se concibió para lograr el aprovechamiento de las aguas residuales durante la época de estiaje, por lo tanto, en temporada de lluvias, los escurrimientos excedentes derramarán sobre los vertedores de demasías de las obras de captación, para ser aprovechadas aguas abajo de "Agua Prieta", en la hidroeléctrica "Santa Rosa".

CENTRALES HIDROELECTRICAS AL OCCIDENTE



GRAFICA No 2

CAPITULO 2

GEOMEMBRANAS

2.1 Diferentes tipos de recubrimientos.

Como se mencionó en el capítulo anterior, la superficie del tanque regulador se recubrió, tanto en piso como en paredes, con una membrana de polietileno clorosulfonado (Hypalón), para garantizar la impermeabilidad del embalse. A continuación se describirán los tipos de recubrimientos que existen, sus propiedades y características, destacando las del "Hypalón".

Los recubrimientos resistentes a la corrosión constituyen un factor importante para el control de la misma. En algunos casos es más práctico reemplazar, por ejemplo, algunos metales susceptibles a la corrosión como el hierro y el acero, por otros materiales más resistentes como son los plásticos reforzados. Sin embargo, en muchos casos, estos materiales resistentes a este fenómeno son demasiado caros, o de alguna manera inadecuados. Es por esto, que la industria recurre cada vez más a la aplicación de recubrimientos protectores eficaces como medio de control hacia el ataque de la corrosión.

Se aplica el término "corrosión" para denominar a la alteración destructiva de materiales por reacción química por una sustancia cualquiera, ya sea sólida, líquida o gaseosa. El metal, por ejemplo, puede corroerse uniformemente por toda la superficie, como ocurre con el enmohecimiento del hierro en la atmósfera. O bien, puede sufrir un ataque tan solo superficial que no afecte seriamente la tenacidad del metal o aleación, pero cambie el color de la superficie, como le ocurre a la plata en la atmósfera. La

corrosión puede desarrollarse en zonas localizadas sobre una superficie, originando posteriormente el picado o corrosión alveola, que puede en algunos casos producir una pronta ruptura por perforación.

Debe reconocerse que el ataque por corrosión se puede manifestar de muy diferentes maneras, que varían desde los efectos del intemperismo hasta las severas reacciones químicas que resultan del contacto con fuertes ácidos, álcalis u otros materiales altamente corrosivos.

“Protección por recubrimientos” se refiere a la formación de barreras que protegerán la superficie que se desea. Estas capas o barreras, en base a sus espesores, se clasifican en tres grupos:

A) Recubrimientos delgados.- Son películas formadas a base de productos líquidos cuyo espesor de la capa final es de 5 a 15 mils. de pulgada. Por ejemplo, las modernas pinturas protectoras que fueron las primeras aplicaciones industriales de los plásticos y que se usan principalmente en la protección exterior e interior de tanques, tuberías, acero estructural contra el ataque de gases, salpicaduras y derrames corrosivos, así como para algunas soluciones en inmersión.

La mayoría de los recubrimientos delgados se pueden aplicar con brocha, rodillo o equipo de aspersión a presión. Este último es el más indicado debido al mayor control que se puede tener.

Los puntos principales que se deben considerar en la selección de los recubrimientos delgados adecuados son:

- La relativa resistencia al medio corrosivo.
- La facilidad de aplicación.
- La experiencia bajo condiciones similares de exposición.
- El costo por año del recubrimiento aplicado.

La adherencia del recubrimiento a la superficie que se desea proteger es un factor fundamental, por lo tanto, cuando el recubrimiento seleccionado en función de su resistencia química no posee esta propiedad, es necesaria la aplicación de otra u otras capas previas llamadas primarias o enlaces. Así mismo, la superficie a recubrir debe estar preparada adecuadamente para poder contribuir al factor de adherencia y protección. La superficie de hierro, por ejemplo, debe limpiarse con chorro de arena siempre que sea posible, aunque existen otros tipos de limpieza como la manual o con productos químicos que puede ser aceptable para algunos trabajos de mantenimiento. Sin embargo, cuando se trata de soluciones en inmersión, siempre debe limpiarse la superficie metálica con chorro de arena a metal blanco, ya sea que se aplique un recubrimiento delgado o grueso.

Para otras superficies no metálicas como el concreto, también debe hacerse una preparación adecuada, teniendo cuidado de eliminar las sales solubles superficiales por medio de un mordentado, posterior lavado y secado de la misma.

Características de los recubrimientos delgados.- Actualmente hay centenares de tipos de recubrimientos protectores y muchas variedades de cada tipo; sin embargo, todos ellos tienen una propiedad común: se aplican en estado líquido formando películas sólidas y continuas, después de ser aplicados a las superficies. Los recubrimientos tienen diversos grados de viscosidad o fluidez y existen varios medios para convertirlos de una película

húmeda a una completamente seca y sólida. Algunos son catalizados o curados, otros son horneados; algunos secan rápidamente, otros con lentitud y hay algunos que nunca endurecen completamente.

Todo recubrimiento debe tener un ingrediente esencial capaz de formar una película continua sobre la superficie en que se aplica. Este ingrediente recibe comúnmente el nombre de aglutinante, el cual, es generalmente de naturaleza resinosa y tiene la propiedad no sólo de formar una película con cierta adherencia, sino de retener también pequeñas partículas de sustancias minerales o de pigmentos. Así pues, un recubrimiento protector tiene dos componentes fundamentales que son el aglutinante y el pigmento.

El aglutinante que debe hallarse en estado líquido al aplicar el recubrimiento se llama, en esta fase, vehículo. El vehículo líquido puede convertirse en el aglutinante sólido por diversos métodos: uno consiste en disolver el aglutinante en solventes volátiles, los cuales se evaporarán después de aplicado el recubrimiento y depositarán el aglutinante en estado sólido. El material volátil contenido en el vehículo se conoce generalmente con el nombre de disolvente o adelgazador.

Otras formas de convertir el líquido en sólido se basan en reacciones químicas, de tal manera, que el vehículo cambia de forma sin pérdida de sustancias volátiles. En otros casos puede haber una combinación de ambos métodos.

B) Recubrimientos gruesos.- Estos se definen como Membranas o capas con espesores entre 15 mils de pulgada hasta 6 mm. Los recubrimientos gruesos se dividen en: recubrimientos líquidos, sólidos y laminados.

1) Recubrimientos líquidos.- En este grupo pueden considerarse los recubrimientos bituminosos: poliéster, epóxicos, cloruro de polivinilo plastisol, que pueden ser aplicados

solos o con refuerzos de filamentos largos o cortos, telas de fibra de vidrio o papel y pigmentos inertes.

Los recubrimientos bituminosos como el alquitrán de hulla o algunos tipos asfálticos se aplican como líquidos calientes previa fusión de su estado sólido.

Los recubrimientos de alquitrán de hulla han sido utilizados con gran éxito para la protección interior de tuberías de presión en sistemas hidráulicos y en plantas hidroeléctricas, también se usan en la protección exterior de tuberías enterradas como gaseoductos y oleoductos, reforzándolos con fibra de vidrio.

Los recubrimientos poliéster reforzados con fibra de vidrio son utilizados para recubrir el interior de tanques de concreto y acero de pequeñas dimensiones. Las aplicaciones sobre el concreto son más frecuentes que para el acero por su mejor adherencia. Sin embargo, debido a las diferencias en sus coeficientes de expansión, su uso está limitado a condiciones donde las temperaturas son homogéneas. Actualmente se aplican con equipo de automatización especial, que utiliza una pistola de dos boquillas que mezcla los ingredientes reactivos en el abanico, permitiendo tiempos de curado inicial muy bajos. Algunos fabricantes han desarrollado pistolas de tres boquillas que pueden aplicar al mismo tiempo resina poliéster, agente de curado y fibra de vidrio. Los espesores normalmente aceptados para estas resinas son de 3/32" en adelante.

A las dispersiones de resinas sólidas en plastificantes no volátiles se les conocen como plastisoles. Principalmente se usan para recubrir los soportes usados en galvanoplastia, debido a sus excelentes propiedades de resistencia hacia productos químicos y dieléctricos.

2) Recubrimientos sólidos.- Este incluye a todos aquellos recubrimientos sólidos que se aplican por plastificación o por fluidización.

La plastificación consiste en la aplicación de un plástico sólido que se funde en el momento de ser aplicado, proyectándolo hacia la superficie metálica que se va a recubrir. Generalmente se usan alambres o varillas extruidas de plástico o polvos muy finos que alimentan la pistola fundente y proyectora. La superficie debe limpiarse previamente con chorro de arena a metal blanco. Con este sistema pueden aplicarse materiales tales como: polietileno, poliestileno, acetato de polivinilo, poliamidas, cauchos naturales (seco o en polvo), epóxicos, melamina, fenólicos, politetrafluoretileno, etc.

La fluidización o lecho fluidizado es un sistema que consiste en la aplicación de plásticos finamente divididos en forma de polvos, sobre piezas metálicas precalentadas.

3) Recubrimientos laminados o de hoja "linings"- Como su nombre lo indica, estos materiales se aplican sobre la superficie para proteger en forma de láminas, utilizando adhesivos adecuados para lograr una verdadera unidad entre ellos y el sustrato. Su espesor varía de 31 milésimas de pulgada (1/32") hasta 500 milésimas de pulgada (1/2").

Los materiales más frecuentemente empleados son el hule y el cloruro de polivinilo plastificado, aunque hay una gran variedad que también se emplea: hule duro, hule suave, neopreno, policloropreno, butilo, acrílico-nitrilo, polipropileno, polietileno clorosulfonado, etc.. El éxito de estos recubrimientos depende de varios factores como son el diseño del equipo o superficie que se va a recubrir, la aplicación adecuada del recubrimiento y la inspección del mismo.

La aplicación de estos recubrimientos debe ser hecha por expertos y tienen que tomarse las precauciones de seguridad adecuadas ya que normalmente, los adhesivos

producen vapores inflamables y en ocasiones tóxicos. En la aplicación de los hules, generalmente se colocan las láminas traslapadas con un mínimo de 5 cm y la vulcanización depende del material que se usa y de las circunstancias en que se pueda realizar, por medio de diversos métodos como vapor directo, agua caliente en los recipientes o tanques y cuando se trata de piezas menores, pueden introducirse en auto clave. Para las láminas de cloruro de polivilo, la aplicación se hace a tope y posteriormente se coloca en la unión un sello, del mismo PVC, soldado con aire caliente.

Inspección.- Estos recubrimientos reciben fundamentalmente un solo tipo de pruebas que consiste en inspeccionar, por medio de un aparato eléctrico que desarrolla un voltaje de 15,000 volts, la superficie del recubrimiento buscando en ella algún defecto o poro. En el caso de películas (membranas) delgadas no debe usarse este probador, sino uno de bajo voltaje.

La limitación a la temperatura de estos recubrimientos está determinada principalmente por los adhesivos, que en el caso del PVC es de 70 y en los hules puede llegar has los 85 °C. El hule suave tiene mejores propiedades de resistencia mecánica y a cambios de temperatura que el hule duro, pero en general tiene menor resistencia química que el segundo.

C) Sistemas combinados de membranas, morteros y tabiques.- En vista de que las membranas o recubrimientos gruesos tienen limitaciones en cuanto a temperatura y esfuerzos mecánicos, se desarrollaron cementos resistentes a diferentes productos corrosivos en inmersión, los cuales, combinados con tabiques también resistentes químicamente, permitieron la construcción de tanques para decapado, fosas de neutralización, drenajes industriales y equipos de proceso en la industria química como torres de blanqueo, digestores, reactores, etc.. La mayor parte de las resinas utilizadas en estos cementos son del tipo termoestable, ya que la resistencia a la temperatura es un

factor importante, como son: furánicos, fenólicos, poliéster, epóxicos, etc. Su forma de empleo se realiza formando un mortero con la mezcla de una resina y un catalizador, este mortero tendrá un tiempo determinado durante el cual se puede emplear, dependiendo de la temperatura.

Es conveniente hacer notar que los materiales que en las últimas décadas se han venido usando y se tenían por buenos, han ido dejando de dar buenos resultados, siendo desplazados por otros recubrimientos que el mercado ofrece a industriales, ingenieros y arquitectos, con un buen surtido de éstos para el impedir la corrosión.

2.2 Historia de las geomembranas.

La primera geomembrana se fabricó en 1930 y se utilizó para el recubrimiento de albercas, ésta estaba hecha de PVC. (Staff 1944)¹. Después se extendió su uso a paneles bituminosos para membranas que cubrieran canales. La era de las geomembranas comenzó realmente con membranas para depósitos hechas de hule de butil en el año de 1950 (Chuck 1970)². Estos elastómeros térmicos eran hechos a base de un hule sintético que fue desarrollado durante la segunda guerra mundial.

La ASTM (American Society for testing materials) define a las geomembranas como una membrana esencialmente impermeable, usada con un fundamento de tierra, roca o cualquier otro material relacionado con la ingeniería geotécnica, como parte integral de un sistema hecho por el hombre.

¹ STAFF C.E. "THE FOUNDATION AND GROWTH OF THE GEOMEMBRANE INDUSTRY IN USA". 1984, DENVER, COL. PG. 5-8.

² CHUCK R.T. "LARGEST BUTYL RUBBER LIVED RESERVOIR". AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS. ASCE, 1970. PG. 44-77.

A través de los 60's y 70's una gran variedad de formulaciones para geomembranas se desarrollaron. Esta era tan amplia que casi se perdió su clasificación; muchas eran mezclas de polímeros e incluso mezcla de éstos con no polímeros, también se desarrollaron los co-polímeros que daban opciones adicionales.

De cualquier forma el mayor uso de las geomembranas, no llegó sino hasta 1982, cuando la EPA (Environment Protection Agency) de Estados Unidos registró una ley federal que exigía que las membranas previnieran la contaminación en vez de solo minimizarla como antes. Esta legislación detuvo el desarrollo y uso de una amplia variedad de geomembranas, ya que se daba preferencia a las de arcilla.

En 1984 la EPA decidió que los métodos de prueba para la compatibilidad o resistencia química eran necesarios, de este modo, solo las geomembranas probadas serían permitidas. Este método de prueba conocido como EPA 9090 redujó enormemente el uso de varios tipos de geomembranas utilizadas hasta entonces, particularmente las utilizadas para el control de la contaminación, e impulsó a los investigadores para crear nuevos tipos de membranas que cumplieran con los requerimientos de dichas pruebas.

2.3 Diversos tipos y propiedades de las geomembranas más comunes.

A) Geomembrana termoplástica (rígida) Semi-cristalina.- En este grupo se encuentran las geomembranas cercanas a la cristalización, con valores de rigidez mayores de 1000 gr-cm según las pruebas de flexo-rigidez del ASTM D-1388. La geomembrana más importante en esta categoría es el HDPE (High density polyethylene) o Polietileno de alta densidad. La formulación de este polímero es casi por completo de resina de polietileno (97%) y se le añade carbón negro (2.5%) para darle estabilidad ultravioleta y un antioxidante (0.5%).

B) Geomembrana termoplástica (flexible) Baja-cristalinidad.- Este grupo de membranas está caracterizado, en las pruebas de flexo-rigidez del ASTM D-1388, con valores de rigidez significativamente más bajos que el PVC, CPE, CSPE Y VLDPE. Algunos valores típicos de flexo-rigidez son:

Material	Flexo-rigidez
(PVC) Polivinilo de cloruro	4 g-cm
(CPE) Polietileno clorado	20 g-cm
(CSPE) Polietileno clorosulfonado	25 g-cm
(VLDPE) Polietileno de muy baja densidad	78 g-cm

Mientras todas las geomembranas mencionadas arriba tienden a la cristalización, ésta es muy baja comparada con el HDPE. De cualquier forma son polímeros termoplásticos y pueden ser confeccionados y unidos por medio de métodos térmicos. Las formulaciones más típicas de estos plásticos son:

Geomembrana	Resina (%)	Plastómero (%)	Carbón negro (%)	Aditivo (%)
PVC	45-50	35-40	10-15	3-5
CPE	60-75	10-15	20-30	3-5
CSPE	45-50	2-5	45-50	2-4
VLDPE (*)	96-98	0	2-3	1-2

* Nótese que esta formulación es típica de la mayoría de los polietilenos incluso del HDPE.

C) Geomembranas termoplásticas (flexibles-reforzadas) de baja cristalinidad.- El comportamiento de las geomembranas cuando están reforzadas de fabricación, ya sea por un "scrim" interno (tejido de poliéster muy resistente) o por un recubrimiento a lo largo de toda ella, es muy diferente que cuando no están reforzados, aún siendo la misma clase de polímeros. Con dicho refuerzo sus propiedades a corto y largo plazo suelen ser alteradas. (Ver figura No 1).

GEOMEMBRANA REFORZADA POR MEDIO DE UN "SCRIM" INTERNO

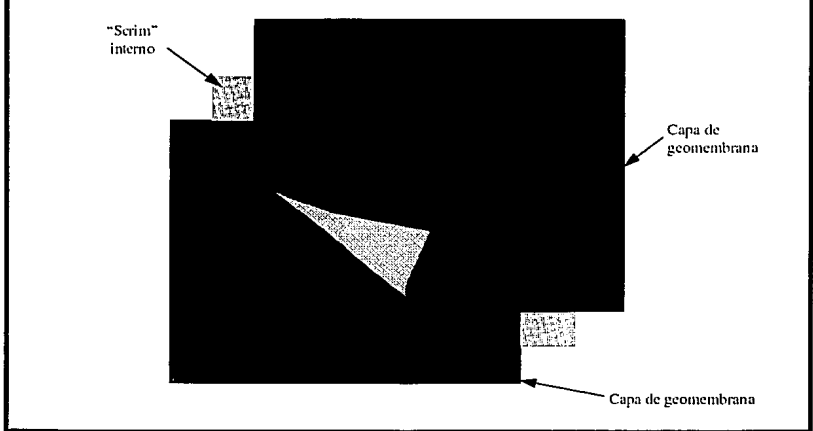


FIGURA No 1

Estas geomembranas en sí son flexibles, como las pruebas ASTM D-1388 de flexo-rigidez, muestran a continuación:

Material	Flexo-rigidez
CPE-R	25 g-cm
CSPE-R	30 g-cm

Al igual que los materiales no reforzados mencionados anteriormente, los reforzados también pueden ser confeccionados y unidos por medio de métodos

termoplásticos, ya que los compuestos de estos polímeros son los mismos que los de las membranas no reforzadas.

Acerca del tipo de material usado para el scrim reforzador, existen muchas opciones, que van desde los materiales tejidos de alta tenacidad como el poliéster o el nylon que son los más comunes. Se pueden adquirir en diferentes medidas y espesores dependiendo de la cantidad de hilos por pulgada, los hay de 10 hilos por pulgada (4 hilos por cm) en ambas direcciones, a este se le denomina scrimm de 10 x 10. Otras variantes son las de 6 x 6 y 20 x 20, aunque también existen las variaciones no balanceadas.

También hay reforzamientos no tejidos, que se aplican y distribuyen a lo largo de toda la superficie de la geomembrana, para hacerla más resistente ante picaduras o ponchaduras.

A continuación se expondrán las propiedades, usos y características de las geomembranas más comunes y eficaces utilizadas en los Estados Unidos. La información que se presenta se obtuvo de catálogos de las principales empresas norteamericanas que las fabrican, confeccionan e instalan; entre ellas STAFF INDUSTRIES INC., OXY(Occidental Chemical Corporation), STEVENS GEOMEMBRANES, DU PONT CO., HIMONT, SEAMAN CORP, JPS ELASTOMERICS, etc..

2.3.1 Principales usos y aplicaciones de las geomembranas flexibles y cubiertas flotantes.

- Como impermeabilizantes (Barreras varias).
- Estanques de Salmuera.
- Para evitar la filtración de agua en construcciones.
- Forros para canales.
- Para cubrir y proteger el carbón.
- Para estanques de enfriamiento.
- CUBIERTAS FLOTANTES:
 - * Agua potable.
 - * Desperdicios industriales.
 - * Lagunas de aguas negras.
- Para cortinas de presas.
- Cubiertas para presas.
- Para lagos recreativos.
- Estanques decorativos.
- Estanques de evaporación.
- Estanques para granjas.
- Para hacer filtros.
- Estanques contra incendio.
- Estanques para peces.
- Para cubrir depósitos que contienen cenizas.
- Estanques de campos de golf.
- DEPOSITOS PARA RELLENO:
 - * Rellenos domésticos.
 - * Rellenos industriales.
- Para almacenamiento de abono.
- Estanques de desechos mineros.

- Lotes de desperdicios y basura.
- Para contenedores de petróleo derramado y aceites.
- Estanques de oxidación.
- Estanques de desechos de papel.
- DEPOSITOS:
 - * Industrial.
 - * Potable.
- Tanques de evaporación solar.
- Tanques de desechos industriales dañinos.
- Estanques de líquidos extraídos.
- Para almacenamiento de aguas de riego.
- Para plantas tratadoras de aguas negras y residuales.
- Contención secundaria.
- Etc.

1) MEMBRANAS DE PVC.- Este material se caracteriza por tener una estructura molecular amorfa, lo cual permite que la membrana se adapte a las irregularidades del terreno o sustrato sin aflojarse, ya que no tiene una estructura cristalina como la de los plásticos duros. El PVC ha demostrado tener mayores propiedades de estiramiento en tres dimensiones (deformación triaxial), lo que la hace más resistente ante las picaduras o daños causados por el impacto de la instalación. El PVC, se puede adquirir en diferentes espesores para sus distintas aplicaciones:

PVC para acuarios.- Esta formulado para ser compatible con las más sensitivas especies acuáticas, mientras mantiene los requerimientos físicos de resistencia.

PVC resistente al petróleo y aceites.- Tiene las mismas características de resistencia física del PVC común, pero con una modificación que lo hace resistente a líquidos oleaginosos.

PVC resistente a bajas temperaturas.- Mantiene flexibilidad permitiendo su instalación aún frente al clima más frío (-28 °C).

PVC lámina terrestre.- Laminado para crear geotextiles no tejidos.

2) MEMBRANAS DE POLIETILENO CLOROSULFONADO (HYPALON).- Las características de este material serán expuestas con mayor detalle, por ser éste el material seleccionado en la impermeabilización de los tanques regulador y sedimentador del proyecto hidroeléctrico Agua Prieta Jalisco.

Es importante destacar que la membrana de Hypalón contiene en su proceso de manufactura un scrim de poliéster del tipo 10 x 10 que es encapsulado en la parte superior e inferior por capas de Hypalón.

Se describirán a continuación las propiedades del polietileno clorosulfonado (Hypalón) en cuanto a ingeniería, ya que además de fabricar geomembranas dentro de la industria de la construcción, tiene muchas otras aplicaciones en diversas ramas de la industria.

Resistencia al fuego.- El polietileno clorosulfonado no propaga el fuego. Arde con lentitud al ser expuesto a las llamas, pero se extingue por sí solo al retirarse la flama. Los productos hechos de polietileno clorosulfonado han cumplido satisfactoriamente la prueba de flama vertical en los laboratorios de las compañías de seguros, así como la prueba de incendios.

Resistencia al aceite, la grasa y agentes químicos.- Las composiciones del polietileno clorosulfonado son muy resistentes al ataque de agentes químicos oxidantes, como el ácido sulfúrico concentrado y las soluciones de hipoclorito. El Hypalón es especialmente útil cuando existe contacto con aceites a temperaturas elevadas, además de que funciona satisfactoriamente con una gran variedad de otros agentes químicos y solventes.

Resistencia al ozono.- Para todos los fines prácticos que pudiera tener, el polietileno clorosulfonado es inmune al ozono. Por ejemplo, una muestra blanca de polietileno clorosulfonado permanece intacta después de 100 horas de exposición al ozono, mientras que una muestra de caucho natural se aprecia severamente deteriorada después de 14 minutos de exposición. El polietileno clorosulfonado soporta concentraciones de ozono tan altas como la de un millón de partes en cien millones de partes de aire.

Resistencia a otros factores ambientales.- El polietileno clorosulfonado apropiadamente compuesto, no es atacado por microorganismos y no favorece el desarrollo del moho, el verdete, los hongos o bacterias. Innumerables pruebas de exposición a la intemperie de telas revestidas y cables recubiertos con polietileno clorosulfonado, conducidas de acuerdo con las especificaciones, verificaron esta resistencia al ataque microbiológico.

El polietileno clorosulfonado tampoco se ve afectado por los agentes deteriorantes asociados con el enterramiento bajo el suelo. De una forma similar, la inmersión del polietileno clorosulfonado en agua durante largos períodos de tiempo, causa poco daño.

Pruebas controladas de enmugrecimiento efectuadas sobre muestras de tela revestida y losetas, demuestran que el polietileno clorosulfonado compuesto apropiadamente es altamente resistente a la acumulación de polvo, tanto del que proviene de depósitos atmosféricos, como del contacto abrasivo con agentes enmugrecedores.

Resistencia al abuso mecánico.- La resistencia al desgaste del polietileno clorosulfonado supera a la del caucho natural y a muchos cauchos sintéticos en un promedio superior al 200 % . Tanto las composiciones de colores como las negras poseen esta habilidad.

El polietileno clorosulfonado también pone de manifiesto una buena duración en su flexibilidad y elevada resistencia al impacto.

Resistencia a las temperaturas extremas:

- Calor.- El polietileno clorosulfonado compuesto apropiadamente tiene excelentes propiedades térmicas. Los compuestos para uso general pueden operar ininterrumpidamente a temperaturas de 275 °F a 300 °F. Los compuestos especiales de polietileno clorosulfonado pueden utilizarse en servicio intermitente hasta los 375 °F.

Una muestra de polietileno clorosulfonado envejecido artificialmente en el horno a una temperatura de 158 °F durante más de 4 años, retuvo el 50 % de su extensión original e incrementó en un 30 % su resistencia a la tensión.

- Frío.- Los compuestos convencionales de polietileno clorosulfonado son utilizables desde los 0 hasta -10 °F. Los compuestos de formulaciones especiales conservan su flexibilidad hasta los -40 °F.

Colorabilidad.- El polietileno clorosulfonado puede ser compuesto en color blanco o en una amplia gama de colores que permanecen estables bajo la exposición a los rayos solares. A diferencia de la mayoría de otros cauchos, los productos en colores se pueden obtener con polietileno clorosulfonado sin sacrificio perceptible.

Propiedades eléctricas.- El polietileno clorosulfonado ha demostrado ser un aislante valioso funcionando a menos de 600 volts para cables de control y alambres secundarios. Para voltajes más altos, su utilización como cubierta protectora ha sido exitosa sobre otros materiales aislantes debido a su destacada resistencia al desgaste por causa de las condiciones climatológicas, el ozono, etc..

Usos.- La extraordinaria resistencia del polietileno clorosulfonado al calor, la abrasión, el aceite y el ozono lo hacen un material sumamente valioso para usos de alto rendimiento en muchas industrias. Se emplea como material de recubrimiento y aislamiento para alambres y cables; en sistemas de techado laminado, como laminado para tanques, pozos, buques cisterna y cubiertas; para productos industriales como mangueras, impermeables, forro de equipos, empaquetaduras, selladoras y diafragmas, recubiertos de mantenimiento, rodillos industriales; y para una gran variedad de artículos de uso cotidiano y común como son llantas de cara blanca, losetas para pisos, partes para aparatos, telas revestidas, suelas, tacones, etc..

Los pasamanos de polietileno clorosulfonado añaden color y durabilidad que realzan el diseño de escaleras eléctricas. Las instalaciones exteriores en las pistas de carreras y estadios deportivos, obtienen provecho de la excelente resistencia al desgaste del polietileno clorosulfonado.

Los cables industriales de energía eléctrica (Hasta de 600 volts) recubiertos con polietileno clorosulfonado están aprobados por las aseguradoras, ya que son muy flexibles, resistentes al fuego y los hay disponibles en varios colores. Las ventajosas propiedades del polietileno clorosulfonado permiten su doble función como aislante y como recubrimiento, inclusive para cables de automóviles y aparatos eléctricos.

Las membranas hechas con polietileno clorosulfonado poseen las mismas características mencionadas anteriormente, además de otras que se añaden por el “scrim” interno que contiene.

El “scrim” reforzador de la membrana de Hypalón aumenta sus características de desempeño. Los hilos que forman el scrim están tratados con una cubierta termoreactiva que permite una vinculación perfecta entre éste y el Hypalón. La fuerza de tensión del scrim es de 150 lb, lo que hace que la membrana sea de 5 a 10 veces más resistente que las que no lo contienen.

El Hypalón como material es un hule termoplástico que tiene gran elasticidad y baja resistencia a la tensión, pero con el scrim aunque se reduce su elasticidad, aumenta considerablemente su resistencia a la tensión, lo que le proporciona una excelente resistencia al rompimiento. La fuerza y estabilidad dimensional provista por el scrim de reforzamiento, asegura la integridad de la membrana, así como aumenta su resistencia a esfuerzos mecánicos y a altas temperaturas.

El tejido del scrim permite una excelente adherencia con el Hypalón; es semejante al corrugado de una varilla de acero que logra adherencia con el concreto.

El Hypalón tiene una excelente resistencia a los rayos ultra violeta (UV), como se había mencionado anteriormente, lo que lo hace particularmente adecuado para cubrir estanques de agua potable, por ejemplo, o cualquier otro tipo de aplicación donde se encuentre la membrana a la intemperie expuesta a los rayos del sol.

Es importante señalar que para confeccionar y unir los paneles de Hypalón, las costuras son soldadas con un cemento líquido consistente de Hypalón disuelto en un

solvente, que al evaporarse deja el material de la costura virtualmente tan resistente como la misma membrana.

Las membranas de Hypalón pueden adquirirse en diferentes grosores, con una sola hoja de scrimm es la de 36 mils. de pulgada (0.9 mm), que es apropiado para la mayoría de aplicaciones, aunque un grosor extra puede adquirirse para instalaciones de mayores demandas.

El Hypalón para membranas se encuentra disponible en dos grados: el de agua potable, diseñado para usos en contacto con agua potable, y el grado industrial formulado para una mejor resistencia química con 45 mils. de espesor. Ambos grados son usualmente de color negro, pero el grado de agua potable también es vendido en color blanco y varios otros colores.

3) SISTEMA DE GEOMEMBRANA XR-5.- El XR-5 no es una membrana flexible soportada por un scrim; es un textil de composición tejida extremadamente fuerte que está hecho de fibras como el dacrón y poliéster que han sido cubiertas molecularmente con compuestos que son mínimamente degradables frente ambientes adversos.

La combinación de membrana y su cubierta ofrecen un desempeño balanceado que permite una durabilidad que no ha sido alcanzada por ninguna otra membrana.

La membrana está formada por varias capas laminadas que son unidas por medio de un exclusivo sistema de pistones que saturan las fibras tejidas haciendo posible la atadura o vínculo del sustrato y su cubierta, convirtiéndolos en un solo sistema por lo que no hay delaminación posible y tampoco es necesario un recubrimiento en las orillas.

Estabilidad dimensional.- La fabricación del XR-5 tiene una enorme fuerza tensil y resistencia contra picaduras, además de dar máxima fortaleza ante el peso y flexibilidad que facilita su manejo.

El XR-5 está cubierto por una capa que asegura el proceso de vinculación o de unión entre las diferentes capas, esta capa está hecha a base de Elvaloy (resina modificadora) que ayuda a la no cristalización que causa daños y cuarteaduras ante la intemperie.

La flexibilidad del XR-5 hace posible que fácilmente se ajuste alrededor de contornos irregulares.

El XR-5 tiene una naturaleza termoplástica que facilita su soldadura al calor y no permite que se separen las capas o que se agrieten debido al fenómeno de expansión-contracción térmica o del ambiente. Pruebas de laboratorio han demostrado que el XR-5 reforzado es más resistente que otras membranas como el HDPE (High density polyethylene) de mayores espesores.

4) GEOMEMBRANA FLEXIBLE DE PROPILENO.- Esta nueva resina es resultado de un proceso tecnológico con controles estadísticos de calidad que ha logrado modificar la estructura molecular de los polímeros, para dar un producto con propiedades especializadas.

El propileno (propylene) combina algunas de las propiedades del PVC con otras propiedades de contenimiento del polietileno. Además tiene cualidades de diseño y resistencia al medio ambiente muy superiores que el polietileno. Este material es adecuado para instalaciones que requieran resistencia a elevadas temperaturas o largos períodos de

calor, ya que su punto de derretimiento es de 140 °C, lo mismo que resiste bajas temperaturas de hasta -40 °C.

El propileno tiene un muy bajo nivel de cristalización, comparado con el del polietileno de media y baja densidad, lo que es un indicador de su excelente resistencia a esfuerzos mecánicos; además tiene gran resistencia a una amplia variedad de químicos y muy buena estabilidad dimensional.

El propileno es tan flexible como el PVC, por ello es que puede fabricarse en láminas y paneles muy largos y doblables, además de que tiene una excelente adaptación a terrenos irregulares.

El propileno reduce en gran medida la transmisión de gas metano, cumpliendo así con los requerimientos, como membrana o barrera, de la mayoría de los códigos municipales y estatales para los basureros de desperdicios y sólidos en EEUU.

5) SISTEMA DE MEMBRANA POLIPROPILENO.- La membrana de polipropileno fue desarrollada para enfrentar las necesidades de rigurosos diseños e instalaciones de contenimiento ecológico para la industria.

El polipropileno es bajo en cristalinidad y no susceptible al desquebrajamiento por esfuerzo. Es una membrana termoplástica muy flexible; es sumamente estable por su estructura molecular básica, diseñada para sobrevivir bajo difíciles condiciones.

Esta geomembrana no contiene plastómeros, por lo que permanece flexible aún ante su exposición al ambiente, agentes químicos y rayos ultravioleta, lo que le permite resistir, perfectamente, aún después de años de intemperie.

Los resultados de las pruebas de laboratorio para comprobar la resistencia a tensión uniaxial, multiaxial e hidrostática del polipropileno ilustran la habilidad de este sistema para soportar el esfuerzo producido por carga o peso, manteniendo su estabilidad dimensional y térmica. Todas estas características se mantienen gracias a sus costuras unidas con calor.

La membrana de polipropileno es un material extremadamente estable, que muestra bajas cantidades de expansión o contracción termal, lo que permite que la membrana permanezca plana con un mínimo de ondulaciones o arrugas.

Las costuras del polipropileno pueden hacerse con aire caliente o con un soldador, que crea un vínculo homogéneo sin necesidad de maltratar la superficie de la membrana.

Las geomembranas de polipropileno tienen una amplia tolerancia a las temperaturas, pueden soportar variaciones en las temperaturas del agua de hasta 200 °F (93.3 °C) y permanecer flexible hasta los -40 °F (-40 °C). Puede superar aplicaciones de temperaturas intermitentes hasta de 100 °F.

Estabilidad multiaxial.- La carga o presión en el sustrato ejerce un esfuerzo en la membrana en muchas direcciones, el polipropileno ha sido ampliamente probado, resistiendo la carga multiaxial.

Alta resistencia contra picaduras.- El polipropileno ha mostrado una garantizada resistencia ante picaduras que pudieran causar rocas u otros objetos duros que se encontraran en el sustrato y las fallas que tales materiales pudieran causar en el sistema.

Resistencia química.- El polipropileno es altamente resistente a una amplia variedad de químicos y “Leachates” (residuos orgánicos e inorgánicos altamente contaminantes que están contenidos en una solución acuosa). Por lo que es recomendable para aplicaciones desde basureros y cubiertas flotantes anaeróbicas, hasta estanques con soluciones de cianuro y petróleo.

El polipropileno puede obtenerse reforzado por medio de un scrim de 10 x 10, o también no reforzado, laminado o geotextil con un geocompositivo. Esta diversidad en la línea de producción ofrece libertad para seleccionar y elegir el tipo de geomembrana más adecuada, de acuerdo al diseño y necesidades.

6) RESINA MODIFICADORA ELVALOY.- Como el título lo indica, el elvaloy no es propiamente una membrana, es una resina diseñada para mejorar la calidad, extensión y vida útil de artículos fabricados con PVC y otros polímeros. Esta sustancia tiene un peso molecular alto, por lo que ofrece mejor actuación que los polímeros convencionales. Mezclar elvaloy con plastómeros seleccionados, resulta una variedad de propiedades que incluyen varias texturas y el polímero supera sus cualidades evitando su migración y volatilidad.

El elvaloy aumenta la resistencia de la membrana ante el impacto de bajas temperaturas, el ataque de organismos microbiológicos y ante los rayos ultravioleta, lo que resulta un mejor desempeño de los polímeros protegidos por una capa de esta resina.

La resina modificadora elvaloy puede ser surtida en forma de “pelotillas” de 1/8 de pulgada o en un polvo fino.

2.4 Mecanismos de degradación en las geomembranas.

A continuación se describirán varios procesos de degradación en los polímeros, mismos que se han considerado aisladamente. Es importante destacar que para calcular los efectos ocasionados ya en el campo se necesitan estudios y pruebas más representativas que tomen en cuenta enfoques de ingeniería geosintética, ciencia plástica y experimentos químicos más rigurosos.

Degradación ultravioleta.- Como se muestra en la figura No 2, el espectro de luz natural se rompe en dos regiones mayores, una visible y otra ultravioleta, de acuerdo a la medida de onda de radiación solar. Cierta longitud de onda de rayos ultravioleta degrada particularmente los materiales plásticos ³(Van Zaten 1986).

La luz con ondas de longitud más sensitivas entra en la estructura molecular del polímero liberando radicales que causan la separación de la estructura y primer vínculo del polímero, este mecanismo actua en proporción directa a la intensidad de la luz, causando una reducción en las propiedades mecánicas del polímero volviéndolo frágil y agrietado.

Generalmente esta degradación puede reducirse, grandemente, mediante el uso de carbón negro y otros químicos que sean estabilizadores de luz. El carbón negro es un polvo fino que se dispersa en el polímero actuando como un bloqueador que evita que los rayos ultravioleta penetren en la estructura del polímero.

³ VAN ZATEN 1986 "GEOTEXTILES AND GEOMEMBRANES IN CIVIL ENGINEERING". BALKEMA PRESS, BOSTON 1986.

ACUSE DE RECIBO DE EJEMPLARES DE TESIS EN LA BIBLIOTECA CENTRAL

NOMBRE DEL ALUMNO: SANTIAGO SOSA ZENDIS

NOMBRE DE LA TESIS O SEMINARIO: "ANÁLISIS SOBRE LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE GEOMEMBRANA DE POLIETILENO CLOROSULFORADO (HYPALON), COMO IMPERMEABILIZANTE DE LOS TANQUES REGULADOR Y SEDIMENTADOR EN EL PROYECTO HIDROELECTRICO AGUA PRIETA, JALISCO"

ESCUELA O UNIVERSIDAD	CARRERA
UNIVERSIDAD LA SALLE	INGENIERIA CIVIL

FECHA	DIA	MES	AÑO
	18	01	1995

SELLO Y FIRMA
DE LOS DOS EJEMPLARES
DE LA TESIS EN
BIBLIOTECA
CENTRAL

- * FAVOR DE LLENAR POR TRIPPLICADO A MAQUINA O CON LETRA DE MOLDE
- * ENTREGAR DOS EJEMPLARES DE LA TESIS EN LA BIBLIOTECA CENTRAL U.P.A.M.
- * EXIGIR QUE LE SELLEN Y LE FIRMEN LAS DOS COPIAS

ESPECTRO DE LONGITUD DE ONDA RADIACION SOLAR VISIBLE Y ULTRAVIOLETA

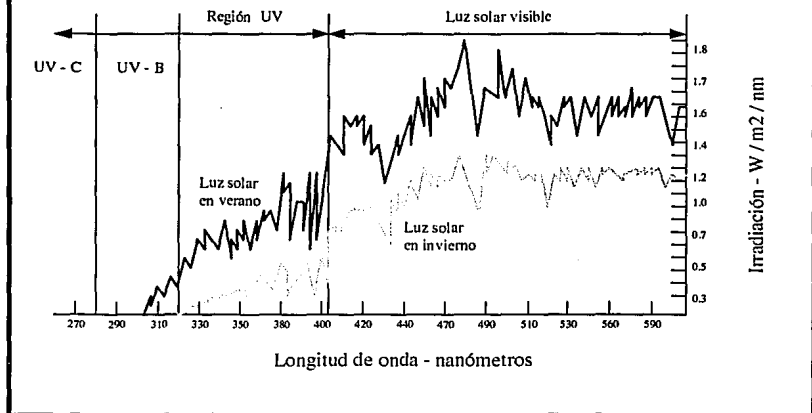


FIGURA No 2

Es necesario aclarar que la efectividad de este carbón negro decrece uniformemente con el tiempo de exposición, por ello la cantidad y la dispersión del carbón negro es muy importante. De cualquier forma hay una cantidad máxima límite que puede agregarse al polímero ya que mientras mayor es la cantidad de carbón, menor es la fortaleza de la estructura del polímero.

Hay otros químicos estabilizadores de luz, que añadidos al compuesto del polímero actúan con los radicales liberados, previniendo la propagación de la degradación, pero cuando estos aditivos se consumen la degradación ultravioleta se acelera.

⁴Se ha encontrado que una combinación de carbón negro y químicos estabilizadores como los mencionados anteriormente es la solución más efectiva para evitar la degradación ultravioleta, pero al paso del tiempo todos estos remedios tienden a agotarse.

Como se mencionó anteriormente un recubrimiento o relleno de tierra elimina el problema de la degradación ultravioleta por completo. Tan solo 15 cm de recubrimiento de tierra son suficientes para detenerla, aunque debe tomarse en cuenta que hay situaciones en las que esta cubierta de tierra es por demás inaplicable, como sucedería en el caso de superficies arriba del nivel líquido, membranas para canales, cubiertas flotantes o recubrimientos en laderas de montes en donde la erosión de la tierra impide esta aplicación. En estos casos la degradación no tiene remedio.

Degradación por radiación.- Existe en las investigaciones de Charlesby⁵ sobre los efectos de la radiación en las propiedades de los polímeros, amplia información al respecto. En este documento, solo se dará un breve resumen.

Los efectos de los rayos gamma (neutrones) y los rayos beta (electrones) penetran en el polímero, creando una degradación. Los rayos beta penetran superficialmente en el polímero 1 mm aprox., mientras que los rayos gamma penetran mucho más profundamente. Los rayos alfa "helium nuclei" penetran solo micrómetros pero producen un daño a la superficie muy alto.

Las propiedades básicas del polímero empiezan a cambiar con una dosis total de radiación entre $10 E6$ y $10 E7$ rads ⁶(Phillips 1988). Un rad equivale a 100 ergs de energía

⁴ GRASSIE AND SCOTT 1985 "POLYMER DEGRADATION AND STABILIZATION". CAMBRIDGE UNIVERSITY, PRESS 1985, USA.

⁵ CHARLESBY 1960 "ATOMIC RADIATION AND POLYMERS". OXFORD UNIVERSITY, PRESS 1960. LONDON. PG. 447-455.

absorbida por gramo de material. Para propósitos de referencia, una dosis letal de radiación para un humano, es de 100 a 200 rads. De ahí aparece que si una geomembrana contiene desechos nucleares de bajo nivel aún más altas que la dosis que causaría la muerte a un ser humano, el tiempo antes de que ocurriera un daño significativo en la geomembrana por radiación sería bastante largo.

Es necesario tomar en cuenta que los efectos de la radiación en los aditivos, son mucho más severos que en el polímero. Por ello la importancia de la degradación por radiación radica más en el desgaste de los aditivos que en el del polímero, ya que como se mencionó anteriormente si el polímero no está protegido por aditivos se vuelve más susceptible a otro tipo de degradaciones como la ultravioleta.

Pruebas simuladas a corto plazo de Wyatt y Farnsworth⁷, han mostrado que bajo altas dosis radioactivas, solo el polietileno y el polipropileno no fueron afectados por la radiación.

Degradación química.- Esta degradación es la que posiblemente ha sido más estudiada, ya que la mayoría de estas pruebas son susceptibles de hacerse en laboratorio. La EPA de EEUU ha desarrollado el método 9090 por medio del cual las muestras de geomembrana son sumergidas en diferentes sustancias químicas (por ejemplo el leachate) a diferentes temperaturas y en varios períodos de tiempo, mientras que varias pruebas mecánicas son aplicadas y luego comparadas con una muestra que no haya sido expuesta. Estos experimentos ayudan a calcular el porcentaje de cambio, desgaste y degradación que podrían sufrir diferentes materiales en su aplicación de campo, logrando así controlar más eficientemente su aplicación.

⁶ PHILLIPS, D.C. "EFFECTS OF RADIATION ON POLYMERS". MATERIALS SCIENCE AND TECHNOLOGY, VOL 4. 1988, PG. 85-91. USA.

⁷ WHYATT AND FARNSWORTH 1990 "THE EFFECTS OF RADIATION ON THE PROPERTIES OF HDPE AND PP LINERS". 1990, USA. ASTM SPECIAL TECHNOLOGY PUBLICATION.

Debido a los químicos la membrana suele registrar una hinchazón, que por sí misma no es peligrosa. Muchos polímeros pueden acomodar líquidos en sus regiones amorfas, sin eliminar sus propiedades físicas o mecánicas, pero éste es el primer paso para empezar a degradarse perdiendo fuerza. Este efecto suele ser reversible cuando se extrae el líquido. Cualquier cambio físico o mecánico en la geomembrana indica algún tipo de reacción química y su consecuente degradación.

Degradación por hinchazón.- Una indicación de la durabilidad de la geomembrana es la cantidad de hinchazón o abultamiento que existe en la membrana debido a la absorción de líquido. Esta hinchazón no necesariamente debe continuar con la separación o división de la membrana, pero usualmente trae cambios en las propiedades físicas y mecánicas que al paso del tiempo pueden provocar una falla en el sistema.

Las pruebas realizadas por la ASTM D-570, mostraron que esta absorción de líquido suele ser significativamente diferente en las orillas y superficie de los productos laminados. Este hecho sugiere que al confeccionar las membranas laminadas, estas deben ser cubiertas y protegidas contra la humedad.

Degradación por delaminación.- Para las membranas que son manufacturadas por medio de cilindros o por cubiertas esparcidas, la delaminación es una posibilidad. Se ha observado, que cuando el líquido entra por las orillas de la geomembrana, suele conducirse debajo de la superficie por tensión capilar. Esto puede ocurrir entre las pilas de geomembrana, entre el scrim de reforzamiento o entre las diferentes cubiertas del material de la geomembrana. Cuando ocurre esto, los componentes individuales son separados y la acción del compuesto total se pierde.

Degradación por oxidación.- Cuando se crea un radical libre E.G. en un átomo de carbón dentro la cadena de polietilenos, el oxígeno puede crear una carga que puede

producir la degradación. El oxígeno se combina con un radical libre para formar un radical hidroperoxil, que se pasa alrededor de la estructura molecular. Eventualmente reacciona con otra cadena de polímeros creando un nuevo radical, que causará la separación o partición de la cadena.

El añadir aditivos antioxidantes al compuesto evita que estos radicales libres interfieran este proceso. Estos aditivos o estabilizadores son específicos para cada tipo de resina. Para quitar el oxígeno de la superficie de la geomembrana, basta colocar una cubierta de tierra que evitará esta degradación.

Degradación biológica.- Con las variadas formas de vida biológica como plantas, bacterias, actinomicetos, hongos y algas, la degradación del polímero se hace esencialmente posible por el alto peso molecular en las resinas usadas para las geomembranas.

Con las formas de vida más altas como protozoa, arácnidos, insectos, ratas y otros pequeños mamíferos, los polímeros no constituyen un posible alimento, por ello no pueden consumirlo, pero es posible que el animal trate de penetrar la geomembrana para encontrar acceso a otro lado. Aquí la dureza de los dientes del animal va en contra de la dureza de la geomembrana, esta es la clave de comparación aunque este fenómeno es casi inexistente.

Efectos sinérgicos que causan degradación.- Existen varios fenómenos que aisladamente no producen daños a la geomembrana, pero en conjunto suelen acelerar el proceso de degradación:

A) Temperaturas elevadas.- Cuando la temperatura aumenta en la superficie o en la geomembrana, los diferentes tipos de degradación mencionados anteriormente, excepto el

biológico, se aceleran. Invariablemente las más altas temperaturas producen trastornos y cambios más grandes que las bajas temperaturas.

Para las geomembranas colocadas, las altas temperaturas se pueden evitar con una cubierta de tierra, líquido o algún otro material. En las aplicaciones de geomembranas enterradas se reducen grandemente las temperaturas, aunque ya se mencionó que en algunas ocasiones estas cubiertas son inaplicables.

B) Tensión aplicada.- Las pruebas de degradación hechas a geomembranas son en su mayoría realizadas en laboratorio, por lo que no reciben pruebas de tensión y compresión similares a las reales. Por lo tanto, la degradación causada por este esfuerzo es casi desconocida.

C) Degradación por exposición.- Una larga exposición, incluye múltiples efectos, tales como degradación ultravioleta, oxidación, delaminación, etc., que pueden resultar en efectos sinérgicos más agresivos cuando están en combinación.

Para materiales como el polietileno, por ejemplo, años de exposición a temperatura ambiente no muestran indicaciones de algún trastorno en sus propiedades. Para otros polímeros, algunos cambios en la superficie y textura o incluso en las propiedades microscópicas pueden ocurrir, pero su influencia en la geomembrana y su comportamiento en el sistema total no están claros.

Es oportuno mencionar que varios propietarios de campos para rellenos sanitarios han empezado a experimentar, situando muestras de membrana en lugares clave, sometidos a degradaciones reales y cada año sacan estas muestras para evaluar su comportamiento. Solo estos estudios ayudarán a obtener información confiable sobre la degradación causada por el tiempo, esfuerzos y la combinación de todos los mecanismos de degradación actuando al mismo tiempo.

CAPITULO 3

PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO

3.1 Antecedentes.

La Comisión Federal de Electricidad a través de su subdirección de construcción, ordenó que se realizaran los trabajos de impermeabilización del tanque sedimentador y tanque regulador del Proyecto Hidroeléctrico Agua Prieta, Jal.

Para tal efecto con anterioridad se presentaron varias opciones de geomembranas que cumplieran con los antecedentes y requisitos sobre la normatividad de esta tecnología, siendo el POLIETILENO CLOROSULFONADO (Hypalón) la geomembrana seleccionada para la impermeabilización de los tanques, contando con la experiencia de colocación y manejo de este producto en más de 65,000 m² en México.

El Proyecto Hidroeléctrico Agua Prieta requirió de la aplicación del impermeabilizante con el más estricto apego a las normas, dada la obligación de no contaminación al subsuelo y a los mantos acuíferos. Por lo anterior no deberán aceptarse fugas debidas a fallas en la geomembrana, tanto por los desperfectos de fábrica como los ocasionados en obra, así como también por baja calidad en su colocación.

3.2 Suministro y manejo.

El suministro de la geomembrana, placa de acero inoxidable, roldanas, tuercas, tornillos, espuma de neopreno y hule duro, fue realizado por STAFF INDUSTRIES INC., quienes poseen la aplicación de esta tecnología, proporcionando a la contratista un técnico y tres especialistas con experiencia comprobada en los Estados Unidos.

El contratista entregó al Laboratorio de Pruebas de Equipos y Materiales (LAPEM) de la Comisión Federal de Electricidad, los certificados de pruebas de control de calidad de laboratorio en fábrica, cumpliendo con las especificaciones de contrato, donde se indica el aseguramiento de calidad de los materiales adquiridos.

El Geotextil fue suministrado por HOECHST CELANESE CORPORATION para protección del Hypalón. El manejo en obra se procuró hacer dentro de lo marcado por el fabricante para evitar cualquier agresión física, sobre todo en la geomembrana.

En la obra se presentaron etapas de construcción en que se requirió advertir la falta de protección por exposición directa al sol de la geomembrana, lo que provocó vulcanizaciones al Hypalón que tuvieron que ser corregidas con parches de refuerzo.

3.3 Limpieza, corrección de protuberancias, corte y extracción de varillas, clavos y alambres.

Durante el transcurso de la obra se inspeccionó minuciosamente al personal, herramienta y equipo, así como el criterio para la preparación de muros y pisos con el fin de eliminar protuberancias, filos o elementos punzo cortantes, sin dejar de palpar con

guante y en observación directa m^2 a m^2 en distancias no mayores de 0.60 m, resanando con mortero cemento-arena las zonas detectadas como inadecuadas para el asiento de la geomembrana.

Una vez que se aprobaron las áreas para la aplicación del impermeabilizante, se procedió a tender el geotextil, membrana 100 % poliéster de 3.3 mm de espesor, la cual se recibió reportando los datos de su tarjeta de identificación como son: contenido, medidas, espesor, marca y estado de su empaque.

3.4 Colocación de membrana geotextil.

El geotextil, membrana protectora del Hypalón de 3.3 mm de espesor, se colocó en muros y pisos bajo el impermeabilizante trasladando los lienzos longitudinalmente 0.30 m. En los muros se aseguraron los lienzos en la parte superior con siete clavos de pistola con explosivo, usando en los traslapes y remates inferiores resistol 5000 para asegurar la fijación y sostenimiento de este elemento.

En las zonas donde se colaron placas de concreto simple, para protección de la membrana, el geotextil se colocó bajo y sobre el impermeabilizante.

El geotextil que se utilizó en la obra es conocido con el nombre de "Trevira Spunbond" fabricado por HOECHST CELANESE CORPORATION, siendo el tipo 1135 con 340 grs/ m^2 y un espesor de 3.3 mm.

3.5 Colocación de polietileno clorosulfonado (Hypalón) de 36 y 60 mils. de pulgada.

El manejo de este producto requiere sumo cuidado y contar con un procedimiento constructivo bien elaborado, llevado a cabo por gente con experiencia que debe tomar en cuenta las normas que fabricantes e instaladores han elaborado después de haber aplicado esta tecnología en millones de m².

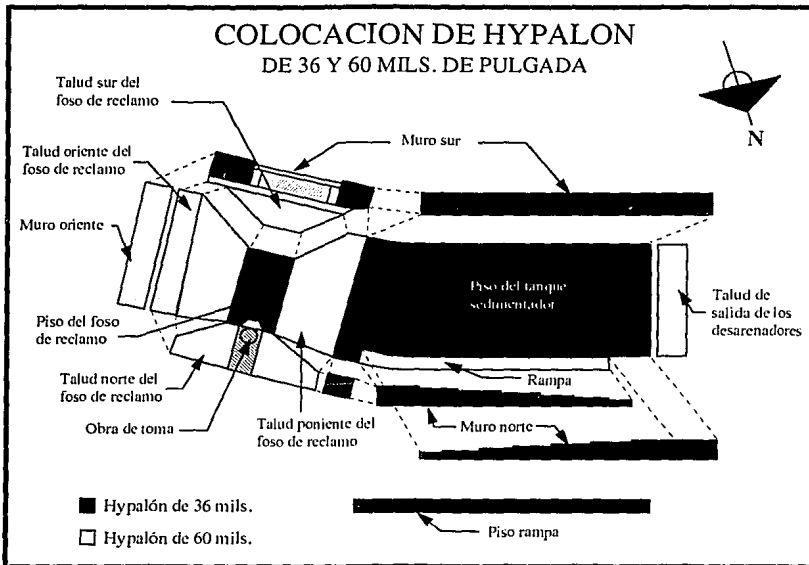
El HYPALON (polietileno clorosulfonado) suministrado en esta obra, es una geomembrana fabricada por J.P.S. ELASTOMERICS y confeccionada por STAFF INDUSTRIES INC.. Las propiedades y características físicas se anexaron en el capítulo 2 de esta tesis.

Para describir el procedimiento constructivo unicamente nos referiremos al tanque sedimentador, ya que fue el primer tanque en que se colocó el impermeabilizante y el procedimiento constructivo es el mismo que se empleó para el tanque regulador.

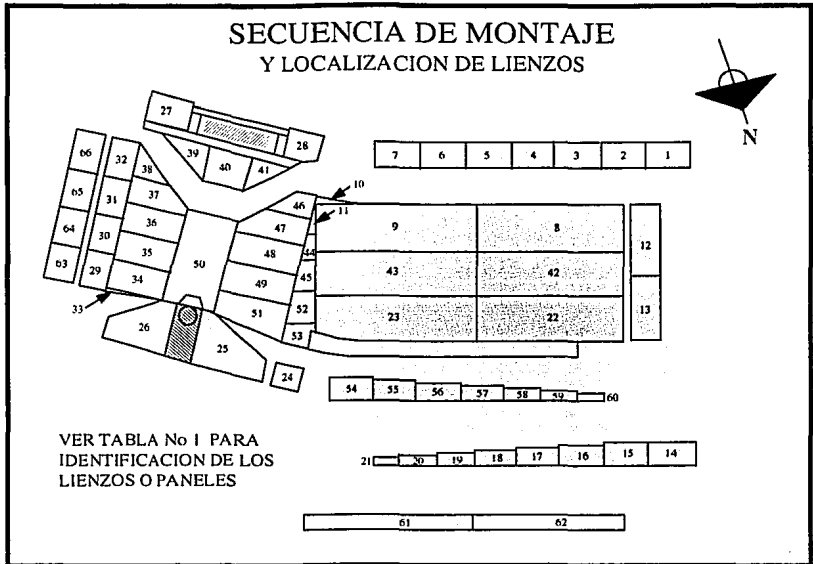
En la impermeabilización de los tanques sedimentador y regulador se manejaron dos espesores de Hypalón, siendo el de 36 milésimas de pulgada el colocado en el piso del foso de reclamo, en el tanque sedimentador y de 60 milésimas de pulgada el colocado en los taludes del foso de reclamo y talud del tanque amortiguador de salida de los desarenadores. (Ver croquis No 7).

Para esta obra, el contratista y STAFF elaboraron un plano maestro de localización y montaje de paneles y lienzos, dada la necesidad de atacar pisos y muros al mismo tiempo, el cual se pretendió seguir con un estricto control, siendo revisado, corregido y aprobado por la Jefatura del Proyecto Hidroeléctrico Agua Prieta y por la supervisión externa Grupo Rfo Balsas S.A. de C.V. (Ver croquis No 8).

El adhesivo que se utilizó para unir los lienzos se identifica como STAFF MASTER HH 631 HYPALON ADHESIVE. Se recomienda que éste se almacene y se use entre 16 °C y 36 °C para obtener mejores resultados, así como utilizar un agente de limpieza para que las superficies que se adhieran queden perfectamente limpias. El agente de limpieza que se utilizó fue el XILENE o XILENO que es fabricado por PEMEX.



CROQUIS No 7



CROQUIS No 8

Durante una obra de estas características se debe contar con los recursos suficientes y adecuados para desarrollarla cabalmente. De lo contrario, se encontrarían, probablemente, problemas de agresión física a la geomembrana. Por ejemplo, un andamiaje mal diseñado provocaría innumerables roturas al Hypalón, tanto en muros como en piso, en el momento de trabajar en el pegado de lienzos, perforación de muros, instalación de tornillos de apoyo de la placa de sujeción, inspección y pruebas que se hagan en la geomembrana, etc.. Con esta serie de problemas no previstos, se dispararía el tiempo de ejecución de la obra y el costo, por lo que hay que evitarlos al máximo.

IDENTIFICACION DE LIENZOS Y SECUENCIA DE MONTAJE

SECUENCIA	PIEZA	SECUENCIA	PIEZA	SECUENCIA	PIEZA
1	TS-1-G	23	FF	45	F2
2	TS-1-F	24	TS-5	46	TS-7-A
3	TS-1-E	25	TS-6-A	47	TS-7-B
4	TS-1-D	26	TS-6-B	48	TS-7-C
5	TS-1-C	27	TS-6-A	49	TS-7-D
6	TS-1-B	28	TS-6-B	50	FONDO
7	TS-1-A	29	TS-9-A1	51	TS-7-E
8	FA	30	TS-9-B1	52	F1
9	FB	31	TS-9-C1	53	F1-A
10	F4-A	32	TS-9-D1	54	TS-4-A
11	F4-B	33	TS-9-J	55	TS-4-B
12	TS-2-A	34	TS-9-I	56	TS-4-C
13	TS-2-B	35	TS-9-H	57	TS-4-D
14	TS-3-H	36	TS-9-G	58	TS-4-E
15	TS-3-G	37	TS-9-F	59	TS-4-F
16	TS-3-F	38	TS-9-E	60	TS-4-G
17	TS-3-E	39	TS-8-C	61	RA
18	TS-3-D	40	TS-8-E	62	RB
19	TS-3-C	41	TS-8-D	63	TS-9-A
20	TS-3-B	42	FC	64	TS-9-B
21	TS-3-A	43	FD	65	TS-9-C
22	FE	44	F3	66	TS-9-D

TABLA No 1

Lo anterior exige un control de calidad llevado a cabo por una supervisión que autorice el tipo de andamiaje, el izaje, los colados de concreto y demás actividades, revisando que se cumplan los requisitos de limpieza y protección de la geomembrana.

El Hypalón requiere de un estricto control de calidad en sus diferentes etapas que se enlistan a continuación:

1.- Suministro.- Al recibir el Hypalón se debe comprobar su espesor, la etiqueta de embarque, el estado del empaque, las dimensiones y el peso; debe colocarse en un lugar donde no reciba los rayos directos del sol para evitar vulcanizaciones, no se deben amontonar las cajas y éstas deben estar ventiladas adecuadamente.

2.- Estado de empaque.- En la apertura del empaque es necesaria la inspección de roturas, raspaduras, vulcanizaciones, marca, nombre del fabricante, fecha de embarque y marca de orientación del doblado del Hypalón. A menudo las grapas de las cajas contenedoras logran romper o cortar la membrana, teniendo que parcharse.

3.- Fabricación.- Se debe recabar toda la información estadística del proceso de fabricación y las copias de las pruebas de laboratorio que el fabricante debe entregar al momento de la compra.

4.- Apertura de empaque.- Cuando se abre una caja o contenedor debe orientarse previamente para desdoblarse y extender el Hypalón, para esto se observan las indicaciones que debe traer la caja y así poder saber como va el sentido de las juntas de lienzos; una vez extendido se revisa por ambos lados pues con frecuencia presenta agresiones en una cara sin que se note en la otra, estas agresiones pueden presentarse debido al manejo en fábrica o en el transporte a la obra.

5.- Tendido de la geomembrana.- Ya abierta la caja se deberá extender el Hypalón en el área en que se va a colocar; alineándola con gente de acuerdo a las indicaciones del técnico o jefe de cuadrillas; es recomendable colocar sobre la membrana bolsas de arena que sirvan como contrapeso, ya que la fuerza del viento levanta los lienzos sin importar la gente que lo esté sujetando.

6.- Módulos o paneles.- TECNOSUELO-STAFF diseñaron módulos o paneles tanto para el piso como para los muros de tamaño tal que disminuyeran el mayor número posible de juntas de lienzos en campo, resultando 14 juntas en el piso del tanque sedimentador, en las que quedaron localizadas y efectuadas las pruebas de unión de juntas con lanceta de aire (Ver figura No 3), obteniéndose además muestras de las juntas para realizar pruebas destructivas y no destructivas. En los muros norte y sur se requirieron 8 juntas de campo en cada uno, las que también fueron probadas y localizadas. (Ver croquis No 9).

7.- Medición previa de la obra.- Es necesario hacer una medición previa de la obra en campo para comprobar que las medidas acusadas en los planos coincidan con las reales. Con las medidas exactas se pueden diseñar los páneces y lienzos, dibujando un plan maestro en el que se ubicarán y detallarán las formas y medidas de los mismos.

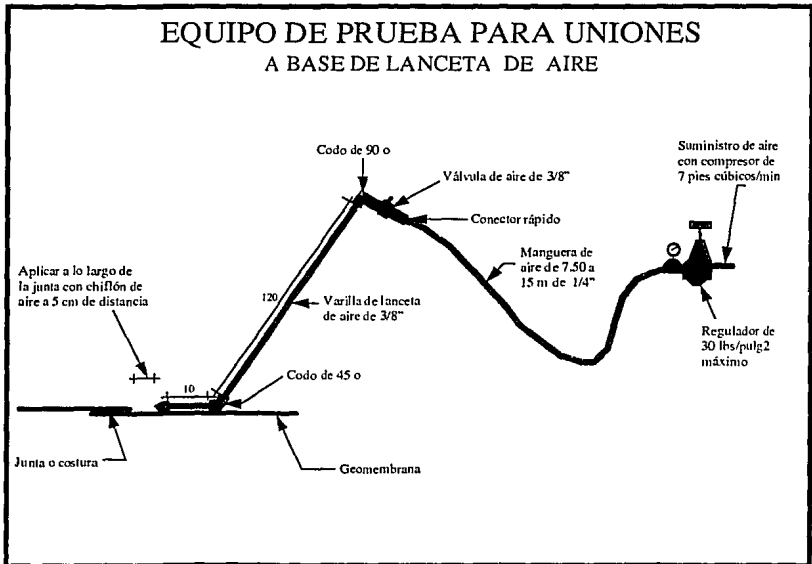
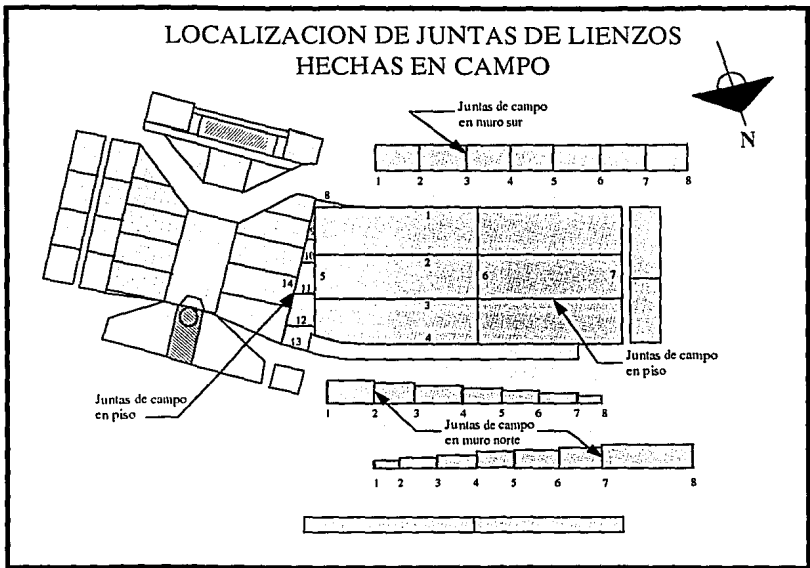


FIGURA No 3

Al no contar con las medidas hechas en campo, es posible que los lienzos y páneces lleguen a la obra algunos largos y otros cortos, lo que provocaría ajustes y juntas horizontales en los muros, que están prohibidas por el fabricante y por las especificaciones de colocación.



CROQUIS No 9

En la impermeabilización de los tanques regulador y sedimentador, las juntas horizontales se localizaron y reforzaron mediante un parche longitudinal en el que se tuvo que utilizar un adhesivo especial recomendado por STAFF para el aseguramiento de este tipo de fallas. Afortunadamente los parches quedaron ubicados en zonas inferiores, cercanas al piso del tanque, por lo que no se presenta un esfuerzo considerable por el peso propio del Hoyalón.

8.- Izaje del Hoyalón.- En este tipo de obra con muros de más de 10.00 m de altura y en algunas zonas más de 20.00 m de altura, se requiere de una buena planeación de procedimientos constructivos, reforzados con equipo y herramienta específicos. La empresa instaladora debe recorrer la obra previamente para conocerla y observar los diferentes niveles, cambios de dirección, obstáculos, voladizos, etc.. Con esto podrá

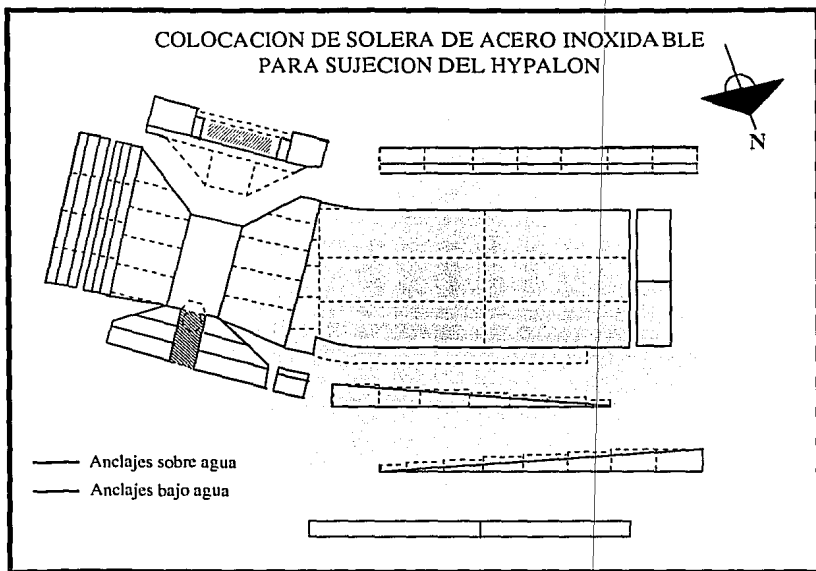
diseñar adecuada y económicamente sus andamios y demás elementos de ataque, como lo es el procedimiento de izaje de lienzos. Si este procedimiento no es el correcto, es posible que se provoquen tirones y forzamientos a la membrana en el momento de izarla, a su vez estos tirones ocasionarían arrugas que tendrían que ser reparadas por medio de cortes y parches.

El izaje se hace colocando firmemente en los lienzos de Hypalón (los cuales pesan entre 2 y 2.5 toneladas), por la parte superior, prensas de carpintero; se protege la membrana por medio de un dobléz de refuerzo y se reparte la presión con tablas de madera de 1/2" x 4" x 2' aprox.; se calcula el peso por levantar; repartiendo la carga en cada punto de izaje de acuerdo a la separación y se hace la operación a base de garruchas o polcas con cable de manila.

Tanto el plan de izaje como el andamiaje deberán ser exigidos al contratista previo al inicio de la obra, para poder saber si lo que presenta garantiza la no agresión a la geomembrana y la adecuada instalación.

3.6 Colocación a cualquier altura de solera de acero inoxidable G-304.

La sujeción del Hypalón tanto en la parte superior como en los cambios de dirección vertical de los muros de concreto del tanque, así como la intersección de muros con piso se hizo colocando una solera de acero inoxidable G - 304 de 1/4" de espesor y 2" de ancho. En los muros se perforaron previamente agujeros de 7/16" de diámetro a cada 6" de separación centro a centro, los cuales fueron sopleteados con compresor para poder garantizar la limpieza y colocación de la resina epóxica C - 100 especificada por el contratista para lograr el empaque y anclaje del tornillo de acero inoxidable G - 304 de 3/8" por 3" de largo. (Ver croquis No 10).



CROQUIS No 10

Para sellar el agujero hecho en la geomembrana para el paso del tornillo se utilizó placa de espuma cerrada de neopreno de $\frac{1}{4}$ " de espesor por 2" de ancho. El diseño de este sistema de instalación considera el sello de cada tornillo respecto al orificio hecho en el Hypalón, de tal forma que al presionar con la placa en las zonas que rodean al perno, la espuma de neopreno fluya a través del agujero del Hypalón y de la superficie perimetral del perno, sellando y logrando la hermeticidad del sistema.

Para poder darle presión a la geomembrana a través de la placa de acero inoxidable, se colocó una placa de tira de hule crudo de $\frac{1}{8}$ " de espesor por 2" de ancho con agujeros de $\frac{3}{8}$ " de diámetro a cada 6" centro a centro en zonas localizadas bajo el agua y a cada 12" centro a centro en los remates del Hypalón fuera del agua. A las tuercas

se les dió una presión de 30 lbs. de torque, según lo especificado, para asegurar el sellado.
(Ver figura No 4).

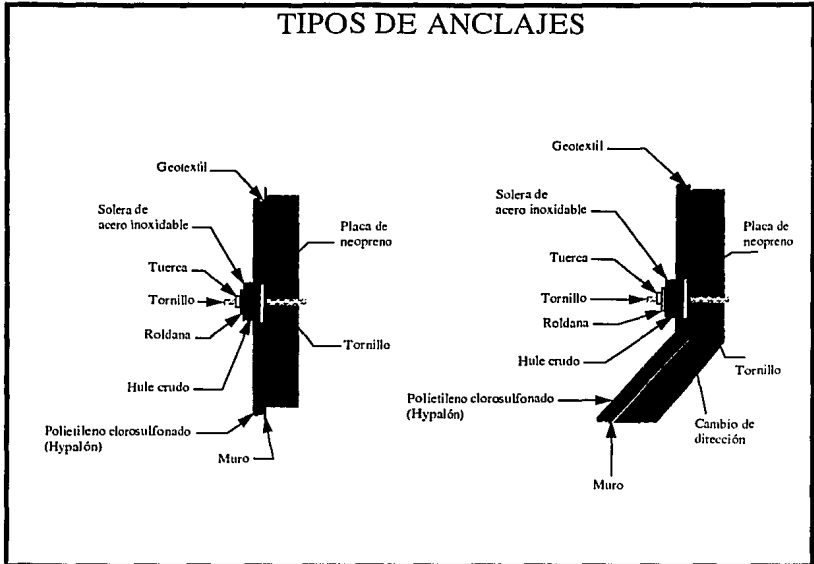


FIGURA No 4

Los resultados de las pruebas de anclaje, efectividad de la resina epóxica, perpendicularidad de los tornillos, distancia entre barrenos y coincidencia de taladros de la placa con los tornillos previamente colocados, fueron deficientes en un 3 %, lo cual es muy elevado dada la importancia del sello y sujeción que requieren principalmente las zonas intermedias de los muros. La impermeabilidad de las zonas localizadas en la intersección de muros y piso presentaron también deficiencias que fueron reforzadas por medio de una tira de Hypalón, pegada a lo largo de la placa de acero inoxidable, para

impedir la entrada de agua por alguno o algunos de los tornillos, ya que aunque se tengan todos los cuidados, siempre se puede presentar la eventualidad de la entrada de agua.

La tira de protección de Hypalón se aplicó en las placas intermedias, pues la placa superior no tiene problemas de introducción de aguas negras por localizarse arriba del NAMO y las inferiores respondieron en mejor colocación y seguridad. (Ver figura No 5).

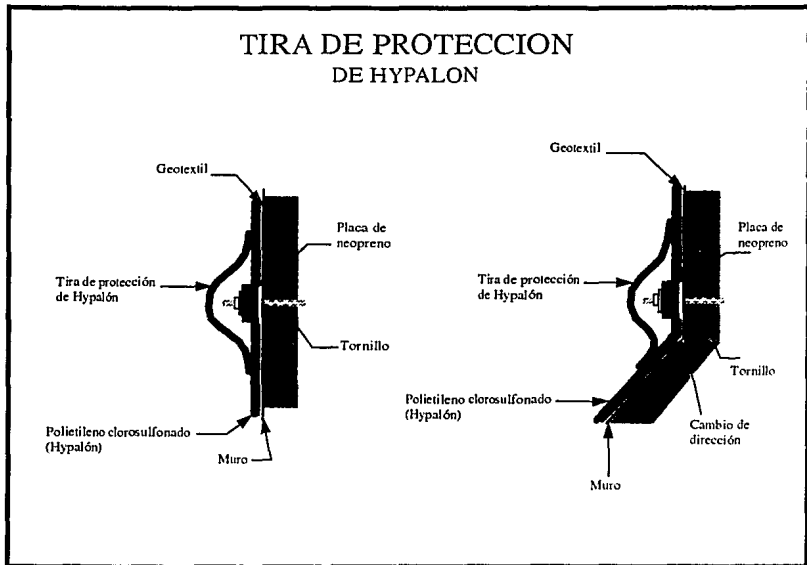


FIGURA No 5

Se observó también, el “puente” formado por el Hypalón sobre la parte superior central del talud sur del foso de reclamo, por lo que se hizo un cálculo del

comportamiento de la membrana a tensión, considerándose que no era necesario cortar y aplicar la placa de sujeción en ese punto donde el muro acusa un cambio de dirección y provoca dicho puente. (Ver figura No 6).

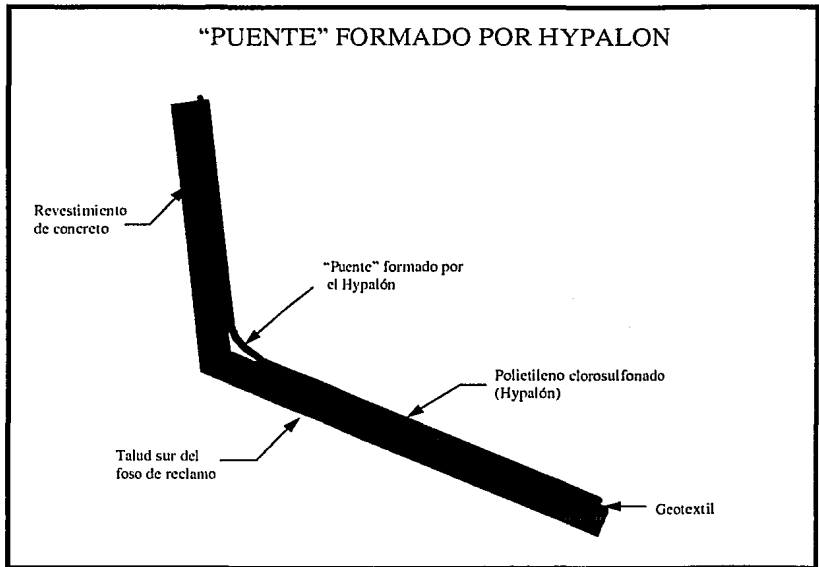
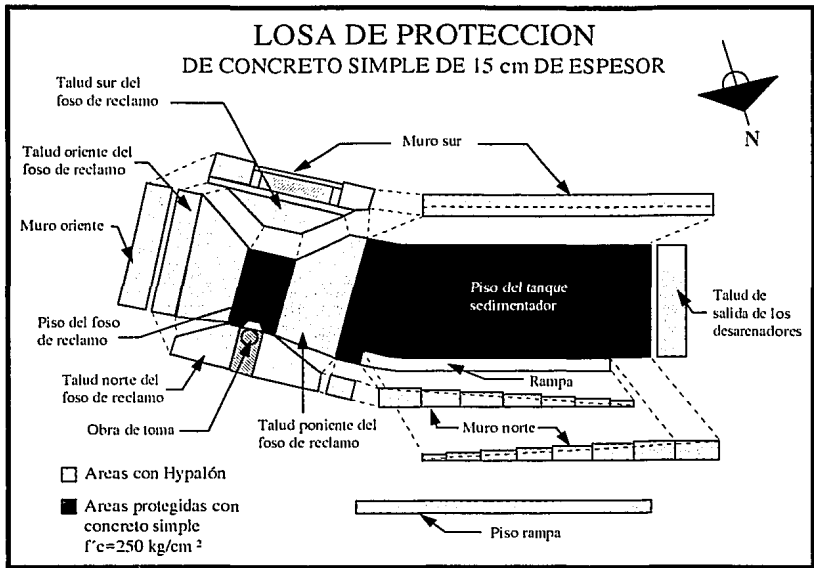


FIGURA No 6

3.7 Protección de la geomembrana con losa de concreto simple.

La geomembrana que se colocó en el piso del tanque sedimentador y en el piso del foso de reclamo se protegió por medio de una losa de concreto simple de 15 cm de espesor; para este trabajo la contratista implementó un sistema de colado utilizando cimbra metálica y concreto premezclado bombeado. (Ver croquis No 11).



CROQUIS No 11

Cuando no se utilizan los recursos adecuados, en las diferentes actividades, se pueden causar daños a la geomembrana o al geotextil, así mismo, la organización del tránsito de vehículos, gente y equipo en general, debe ser cuidada para evitar agresiones físicas al Hypalón.

Una de las zonas más agredidas por las actividades de cimbrado y colado de losas de concreto fue la del talud poniente del foso de reclamo, ya que en dicho sitio se tuvieron que suministrar materiales, herramienta, equipo y tránsito obligado de gente, que aunque se les exigió protección y cuidado, no existió la vigilancia suficiente. La gente agredió la geomembrana con cables, mangueras, escaleras, herramienta y hasta con zapatos de suela de cuero, lo que motivó una gran cantidad de parches; esto nos indica la necesidad de

establecer en los alcances de este tipo de obras, la exigencia y control que se debe tener por parte de la empresa instaladora, previendo una protección total de las zonas en donde se tiene que transitar o hacer instalaciones mecánicas, eléctricas o de albañilería por medio de elementos reforzados que soporten este tipo de trabajos sobre el Hypalón, sin dañarlo.

3.8 Recomendaciones, llenado del tanque y reparaciones.

1.- La empresa instaladora del Hypalón deberá cumplir con lo especificado para el manejo y suministro de materiales, almacenando la geomembrana en un lugar cubierto y ventilado; deberá presentar a la supervisión los comprobantes de compra y pruebas de laboratorio para su identificación.

2.- La contratista deberá presentar a la supervisión el plano maestro de instalación del Hypalón junto con el plano del levantamiento topográfico de campo, así como los comprobantes y fechas de adquisición de los materiales de importación.

3.- La empresa instaladora deberá presentar el programa de construcción de la obra, desglosando actividades con flujo de recursos de acuerdo al procedimiento constructivo.

4.- El contratista deberá presentar el personal técnico especializado, para la instalación del impermeabilizante, con los antecedentes avalados por la empresa fabricante, que cumpla con el requisito de haber instalado un mínimo de 200,000 m² de Hypalón.

5.- La contratista deberá contar en obra con el mínimo de herramienta, equipo y maquinaria, con el fin de proteger el impermeabilizante, sin alterar el tiempo de ejecución de la obra.

6.- Las pruebas destructivas y no destructivas que se le hagan a la geomembrana deberán ser entregadas por la empresa instaladora a la supervisión, de acuerdo al número y tipo

indicado en normas del fabricante; dichas pruebas deberán obtenerse en campo en el momento en que se esté realizando el pegado de juntas de lienzos, así mismo el fabricante deberá también realizar pruebas y reportarlas al cliente.

7.- El Hypalón ha sido probado de diferentes formas en cuanto a esfuerzos físicos a través de experiencias obtenidas en más de 15 años de aplicación, existiendo a la fecha normas ASTM que establecen los parámetros respectivos. El fabricante y la empresa instaladora deben por norma entregar al cliente las copias de todas las pruebas efectuadas al material que se va a ocupar en la obra contratada. Es por todo lo anterior, obligación del fabricante extender una garantía de los materiales utilizados en obra, que generalmente es por 20 años en la calidad del material.

8.- La empresa instaladora del Hypalón deberá extender a nombre del cliente, en este caso la C.F.E., una garantía estipulada en el contrato contra defectos de colocación, vicios ocultos o incumplimiento del objetivo del contrato que es, en este caso, el de impermeabilizar el tanque sedimentador y tanque regulador.

9.- El contratista deberá demostrar anticipadamente que ha suministrado en obra los elementos adecuados y suficientes para proteger la geomembrana contra agresiones físicas y de intemperismo.

10.- Llenado del tanque sedimentador.- El día 11 de enero de 1993 se llevó a cabo el llenado del tanque sedimentador, presentándose el levantamiento de un tablero de losa de concreto del piso del foso de reclamo, ubicado al pie del muro norte y colindando con el pie de la rejilla y el talud poniente del mismo foso; también se presentaron fallas y roturas en otras zonas del mismo piso a lo largo del pie del talud poniente y talud sur.

Estos daños fueron causados por el impacto del agua en la caída del piso del tanque sedimentador al foso de reclamo, debido a la fuerza concentrada del agua en la intersección del talud poniente y talud sur con el piso del foso.

Después de vaciar el foso de reclamo se hicieron las observaciones de agresión a la membrana, encontrándose que no obstante de lo aparatoso de los daños que presentó la losa de concreto, el Hypalón no presentó agresiones ni señales de debilidad o fatiga; sin embargo, al revisar con detalle la membrana se encontró que ésta se agredió durante las maniobras que se hicieron para extraer los tramos de losa antes mencionados.

Una vez revisados todos los puntos que se consideraron importantes y hechas las pruebas de aire necesarias, se comenzó el colado de la losa dañada reforzándola con varilla de acero y al mismo tiempo se hizo el colado de la intersección de la losa del piso con el talud poniente y sur, de tal manera que se estableciera un plano hidrodinámico eliminando al máximo el impacto del agua con la losa, rematando este complemento de concreto armado con una funda abierta de Hypalón de 36 milésimas de pulgada de espesor sobre la superficie colada.

Cuando se llenó nuevamente el vaso, funcionó satisfactoriamente la operación, estableciéndose las mediciones de filtración, las cuales se hicieron hasta determinar el comportamiento específico del impermeabilizante y demás elementos que integran el tanque.

11.- Conclusiones.- Este tipo de obra, única en su género en América, ha generado experiencias que llevadas a especificaciones y alcances, permitirá ejecutar en el futuro aplicaciones de geomembranas donde se puedan obtener resultados óptimos en cuanto a limpieza y eficiencia del impermeabilizante; no permitiendo ejecutar y traslapar al mismo tiempo actividades incompatibles, tales como la colocación y pegado de Hypalón con cimbrado y colados de concreto. Con esto aumentará el control de calidad y aseguramiento correspondiente.

La impermeabilización de los tanques sedimentador y regulador fue inspeccionada adecuadamente, además de que se probaron todos los elementos que exigen las normas. En lo que respecta a considerar que se pueden presentar fugas con un flujo por permeabilidad a través de la superficie total impermeabilizada, no se considera factible, cumpliendo así con el objetivo de la obra.

El área total impermeabilizada fue de 150,000 m², aproximadamente, comprendidos por:

- Piso del tanque sedimentador y foso de reclamo (15,861.80 m²).
- Muros y taludes del tanque sedimentador (14,065.60 m²).
- Piso del tanque regulador (104,000.00 m²).
- Muros del tanque regulador (16,000.00 m²).

3.9 Guía de mantenimiento del Hypalón.

1.- Se deben revisar periódicamente las áreas impermeabilizadas, principalmente las zonas de sujeción con placas de acero inoxidable, observando cuidadosamente si se forman bolsas en la parte superior, lo cual indicaría la penetración de agua en alguna zona superior a la placa o a través de la misma.

2.- Revisar periódicamente el comportamiento del Hypalón principalmente en los muros que tengan mayor exposición a los rayos directos del sol, como son los muros ubicados al norte, para verificar que no tenga fallas por intemperismo.

3.- Se debe revisar con frecuencia si el Hypalón ha sido agredido por acciones de vandalismo, animales como roedores o alguna otra causa, ubicando las roturas para su reparación.

4.- Una vez detectada la zona en donde el Hypalón presenta una agresión, se mide el tamaño del daño y se corta la cantidad de Hypalón del mismo espesor que el que se va a reparar, redondeando las esquinas; el tamaño será lo que resulte después de trazar tomando como centro del daño un área con un radio igual a 15 cm, (El parche puede hacerse también con Hypalón de 36 mils. aunque la membrana sea de 60 mils. de pulgada).

El parche deberá limpiarse con un trapo usando la cantidad suficiente de VERGIN XILENE (XILENO) producido por EXXON CHEMICAL o por PEMEX, así mismo deberá limpiarse también con este producto el área que va a recibir el parche, quedando las dos superficies perfectamente limpias y adecuadas para recibir el adhesivo que se identifica como fundente a base de Hypalón disuelto en THF ó HH631 HYPALON ADHESIVE fabricado por STAFF MASTER INDUSTRIES; este producto se aplica con brocha asegurándose de “pintar” uniformemente toda el área por pegar, para posteriormente pasar un rodillo sobre toda la superficie del parche cuando menos trece veces tratando de no dejar burbujas de aire atrapado en el parche ni tampoco dar demasiada presión, recomendándose rodillar de adentro hacia afuera del parche.

Se recomienda hacer la operación del parchado cuando la temperatura ambiental sea de unos 16 a 30 °C, cuando se haga a temperaturas bajas se recomienda que se auxilie de un calentador portátil para asegurarse de darle la temperatura y flacidez indicada en especificaciones de instalación.

5.- Es conveniente vigilar y observar periódicamente el comportamiento de la funda con que se cubrió la placa de acero inoxidable en algunas zonas donde se consideró conveniente, ya que puede llegar a despegarse o desprenderse sobre todo en las zonas de arrugas.

CAPITULO 4

INSTALACION DE GEOMEMBRANAS Y CONTROL DE CALIDAD

4.1 Instalación de geomembranas.

La importancia de instalar correctamente una geomembrana no puede ser ignorada, simplemente porque cualquier membrana que no sea propiamente instalada no tendrá un buen desempeño ni funcionará adecuadamente.

Las membranas más largas, son manufacturadas desde la fábrica en paneles que son unidos en el terreno en el que se aplicarán, para tomar la forma del sistema de contenimiento. El proceso de instalación es tal como el proceso de la manufactura de la geomembrana, por ello es esencial que el mismo nivel y control de alta calidad que se tuvo durante la fabricación se extienda y mantenga en el campo de trabajo.

Además de la membrana el sistema de contenimiento puede incluir una subestructura que soporte la membrana, el sistema de anclaje que sostiene la membrana en su lugar, la tierra que la cubrirá y protegerá y posteriormente también anclará la membrana, los sistemas de ventilación que permitirán a los gases escapar y otros aditamentos como pipas exteriores e interiores, equipo de agitación, acreadores, cajas de control, etc.. Todos ellos influirán en un buen desempeño de la geomembrana, ya que la construcción e instalación de todos estos detalles puede afectar directamente al sistema de contenimiento final.

Esta pretende ser una guía de instalación que cubra todos los tópicos mencionados anteriormente y también la recepción y requerimientos de almacenamiento de la geomembrana, lo mismo que recomendaciones para el personal que lo instale, herramientas y equipo necesarios para hacerlo. Una instalación correcta ayuda a asegurar el contenimiento.

4.1.1 Equipo necesario para la instalación de geomembranas

Además de la excavación y equipo necesario para la construcción del sistema de contenimiento se requiere de:

- Equipo para transportación del material con capacidad de hasta 6,000 lb (2,700 kg) para poder descargar y posicionar las secciones de membrana. En el lugar en el que se descargue es posible que se requiera equipo para terreno duro o resistente.
- Una herramienta de cinta cortante para abrir los contenedores en los que se transporta el material.
- Brochas para pintar de 2" de ancho para dispersar los químicos que vincularán la membrana durante la unión de lienzos en el campo.
- Pistolas de aire caliente para calentar las costuras durante el proceso de unión como se ha requerido en las especificaciones según el tipo de material de geomembrana que se utilice.
- Contenedores de un galón que mantendrán el solvente durante la unión y costura de la geomembrana.

- Un tablón o tabla gruesa de madera de pino de medidas 1" x 10" x 10' a 16', para usarse como una superficie de trabajo debajo de la operación de costura. Un hoyo debe hacerse en un extremo de la tabla y atar una cuerda a éste que servirá para jalar la tabla y posicionarla durante la unión de lienzos.
- Bolsas de arena para usarlas como pesas que mantengan la membrana estable durante el proceso de costura.
- Un abasto de trapos limpios para limpiar la membrana durante la unión de lienzos.
- Un abasto de palitos o barritas de madera para mover o mezclar los solventes.
- Guantes y lentes de protección, zapatos con suela suave antirresbalante para todo el personal que la instale.

4.1.2 Recepción y almacenamiento de la geomembrana.

Comunmente el material será entregado días antes de la instalación, por lo que la recepción y almacenamiento correctos son esenciales para prevenir cualquier daño a la membrana antes de su instalación.

La membrana vendrá en secciones acomodadas y dobladas en forma de acordeón desde la fábrica, todas ellas son selladas en contenedores de madera para su transporte. Cada contenedor tiene un peso aproximado de 6,000 lb (2,700 kg). Un camión de carga u otro equipo de carga de suficiente capacidad, debe ser usado para descargar los contenedores del vehículo que los transporta.

Para ayudar en la recepción e instalación, el contenido de cada contenedor es claramente marcado en el exterior de la caja. Una letra clave del sistema es usada para marcar cada sección de cajas con su localización adecuada, de esta forma se controla que el plan para sacar la membrana funcione, y los trabajadores que la reciban puedan determinar que la membrana entregada esté completa. El tamaño de cada sección y su desdoblamiento adecuado también son indicados en las instrucciones del plan para instalación.

Si las membranas son almacenadas por un corto período de tiempo anterior a su instalación, los contenedores de éstas deberán ser colocados en una bodega o una estructura cubierta que los proteja de los elementos ambientales como el sol, humedad, temperatura, etc.. Como regla general las membranas deberán ser instaladas tan pronto como sea posible.

Cuando las estibas de cajas que continen las membranas son almacenadas fuera del lugar de instalación, deben cubrirse con un material a prueba de agua y reflectivo que lo proteja de la dañina luz del sol y mantenga las secciones de membrana secas para su instalación.

Los químicos de unión o vinculación para la membrana deben protegerse de la congelación, pero no deben ser almacenados cerca de fuentes de calor directo o flamas. Los químicos y otros accesorios para la instalación de la geomembrana deben almacenarse también en espacios cubiertos.

CUIDADO! el Hypalón y el CPE (polietileno clorado) son materiales termoplásticos que son susceptibles a un bloqueo o vulcanización debido al calor o presión. El color negro de estos materiales puede causar que alcancen temperaturas de entre 160 y 180 °F (71 y 82 °C) cuando son expuestos a los rayos del sol, esta exposición

resulta en la vulcanización o unión de las diferentes capas del material. Esta unión de las capas también puede ocurrir si se camina sobre ellas o se les aplica una presión.

4.1.3 Preparación del sitio en donde se instalará la membrana.

La preparación del sitio es de particular importancia en el proceso de instalación de la geomembrana, porque las membranas flexibles requieren del soporte de una subestructura para actuar adecuadamente. Esto es especialmente necesario para los casos en que las membranas serán soportadas por excavaciones de tierra.

A) Excavaciones de tierra.- Una inspección geotécnica completa debe ser conducida como el primer paso en la construcción de un estanque de tierra. Este reconocimiento puede detectar la presencia de desechos orgánicos, otros materiales en descomposición e inestabilidad del terreno que podría afectar el desempeño de la membrana.

Una vez que la conveniencia del sitio ha sido establecida, proceda con el desarrollo del plan de excavación, basado en el diseño de la estructura de contenimiento. El plan debe incluir una excavación con las dimensiones requeridas, superficies compactas y lisas.

Las inclinaciones o taludes preferentemente no deberán ser más inclinados que 3:1 especialmente si la geomembrana será cubierta posteriormente con una capa de tierra u otro material. Si el espacio es limitado, un talud de 2:1 es aceptable para membranas expuestas, de cualquier forma el peligro de la inestabilidad de la tierra y un deslavamiento debajo de la membrana aumenta.

Todas las superficies en contacto con la membrana deben estar libres de piedras filosas, varas u otros materiales que puedan producir ponchaduras o roturas a la misma,

esto significa que el removimiento de la tierra, su fortalecimiento y remplazo será necesario para asegurar que existan condiciones propias para la membrana. Una capa de arena u otro material fino o geotextil puede ser usado si el terreno es inadecuado. Es necesario también limpiar o desmontar las áreas que contengan yerbas, pasto o cualquier otra forma de vida silvestre que pueda causar un daño potencial a la geomembrana.

Una trinchera o zanja de anclaje que mida entre 8 y 12 pulg debe construirse alrededor del perímetro de la excavación, ésta se requiere para asegurar la membrana. Si la excavación debe contener líquidos, esta zanja de anclaje debe situarse arriba del nivel del agua. Las trincheras o zanjas de anclaje pueden construirse usando equipo de excavación. (Ver figura No 7).

B) Ventilación y drenaje.- La instalación de membranas sobre restos orgánicos, materiales en descomposición o sobre una área pantanosa con un nivel de agua fluctuante, debe evitarse a causa de las burbujas de gas que pueden formarse debajo de la membrana. Estas burbujas pueden hacer que las membranas floten en el líquido que contiene la estructura, resultando en un daño a las mismas.

Si la membrana tiene que ser instalada en una área con estas características, será indispensable también la instalación de un sistema de ventilación. Un método de ventilación es crear una inclinación en la base de la excavación arriba cerca de los lados, esto provoca que el gas circule hasta la orilla de la membrana donde escapa a través de conductos localizados arriba del nivel del agua en declive. (Ver figura No 8).

TRINCHERA O ZANJA DE ANCLAJE

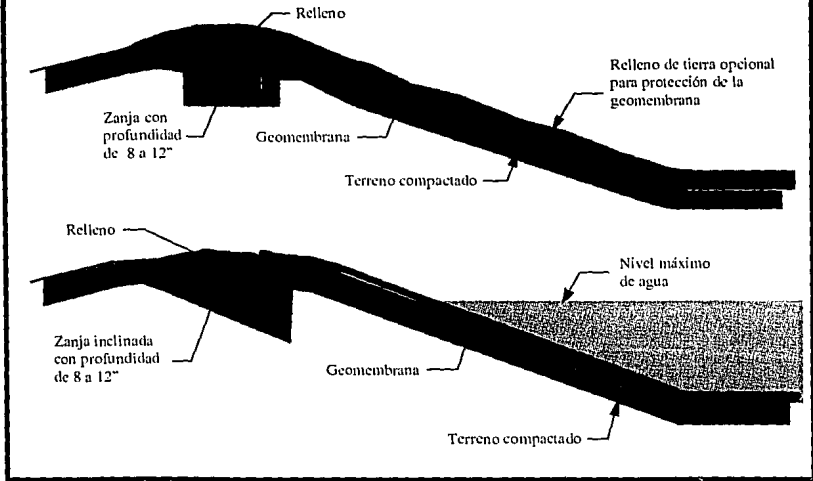


FIGURA No 7

Los sistemas de ventilación prefabricados pueden conseguirse a través de las compañías instaladoras, éstos pueden ir de acuerdo a los requerimientos particulares. (Ver figura No 9).

Las geomembranas también pueden ser instaladas en estructuras de contenimiento hechas de acero, concreto, madera u otros materiales. Estas estructuras también deben estar libres de orillas filosas o irregularidades que puedan romper el material.

Las áreas con hoyos o declives deben rellenarse para que ninguna porción de material quede mal soportada. Los instaladores de la membrana preparan y dan instrucciones específicas sobre el lugar en el que será colocada la misma.

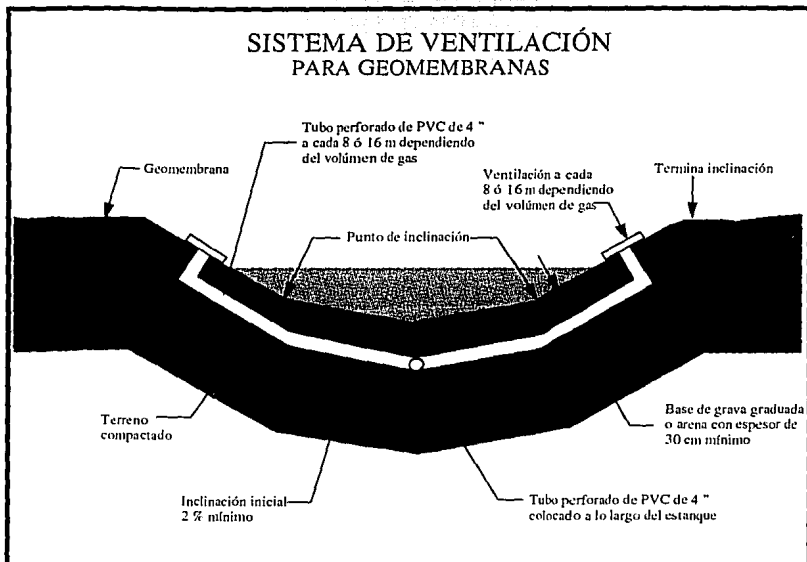


FIGURA No 8

4.1.4 Instalación de los paneles de geomembrana.

Debe usarse equipo de carga para situar los paneles en una posición adecuada a lo largo del terreno de instalación, las cintas o listones de acero que los envuelven deben ser cortados cuidadosamente para no dañar el material.

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

Para facilitar la instalación las cajas pueden ser abiertas en una superficie plana cercana al lugar de instalación y los p neles desdoblados longitudinalmente, mientras se llevan al lugar de excavaci3n y son colocados por el equipo de carga lentamente. Esto reduce el esfuerzo manual requerido para desdoblar los p neles largos en un terreno irregular y ayuda a prevenir el daño causado por transportar los pesados p neles a través de largas distancias.

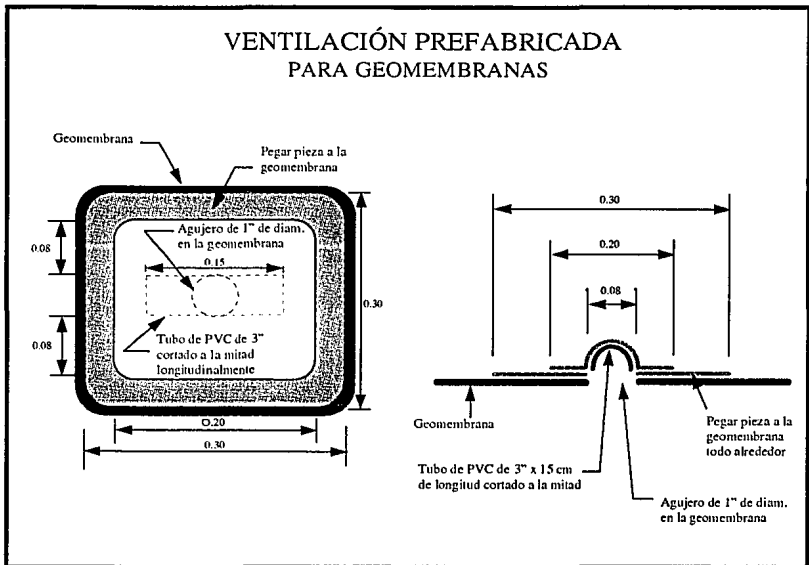


FIGURA No 9

Los p neles que se extenderán sobre las laderas de inclinaci3n y que llegarán hasta la orilla de la estructura de contenimiento, deben ser enterrados en la zanja de anclaje antes de que el pánel sea desdoblado desde abajo. Una vez que el pánel est 

completamente desdoblado, la zanja de anclaje puede ser llenada permanentemente y compactada.

Ya que los paneles de geomembrana se empalmen para unirse en el campo, el relleno de la zanja de anclaje, debe permitir que se sitúen los paneles adyacentes o continuos en la zanja antes de compactar el material.

El primer panel es generalmente abierto por completo y posicionado antes de que los paneles adyacentes sean movidos hasta su posición. Estos paneles pueden desdoblarse por completo antes de su vinculación o pueden ser desdoblados longitudinalmente descubriendo la orilla que se unirá al panel contiguo antes de desdoblarlo a lo ancho.

Los paneles que se unirán deben empalmar sus orillas aproximadamente 4" (10.16 cm) calculando cualquier encogimiento por su exposición al calor antes de ser unidos. (Ver fig No 10).

El embarque y empaletado de la membrana doblada en acordeón es un método que simplifica la instalación de los largos paneles. Este método permite que los paneles sean ubicados fácilmente usando equipo mecánico para las maniobras.

Deben orientarse adecuadamente los contenedores para que los paneles puedan ser desdoblados en una posición propia para su instalación. Una vez que un "acordeón" se ha orientado o situado, el personal de trabajo puede desdoblar el panel longitudinalmente, alinearlos y después desdoblarlos a lo ancho. Esta forma de desdoblar la membrana ayuda a prevenir que innecesariamente se ensucien o entierren las orillas que serán unidas posteriormente; también se protege al material del daño causado por el reposicionamiento de la membrana desdoblada.

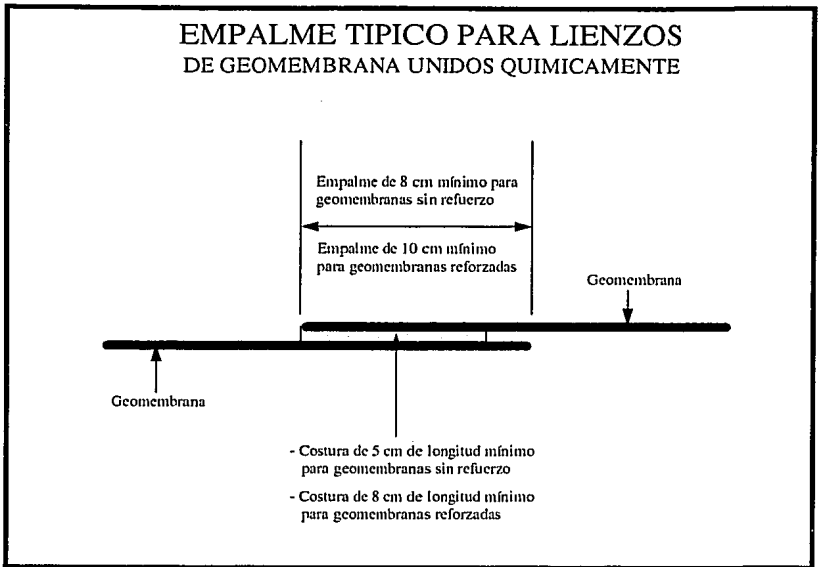


FIGURA No 10

4.1.5 Instrucciones generales de unión de páneces o lienzos.

La siguiente es una descripción general de los procedimientos recomendados para unir los páneces de geomembrana. Información extra se encontrará en un inciso posterior que habla sobre la unión en campo según el tipo de material. Aquí solo se encuentran instrucciones generales para unir la membrana.

Los químicos empleados para unir los páneces de geomembrana en la fábrica deberán ser utilizados también en el campo. Esta unión de páneces no debe ser hecha bajo la lluvia o cuando los páneces estén expuestos al lodo, charcos o mucho frío.

Las condiciones de temperatura requeridas para la unión varían dependiendo del tipo de material.

Cuando un pánel de membrana está en su lugar y listo para unirse con otro, ponga las pesas (bolsas de arena) en ambos extremos y en el centro de la unión para evitar que los pánels se muevan. Estas pueden irse quitando conforme se avanza el pegado.

Es importante empezar la unión en el punto medio de los pánels y trabajar hacia las orillas, para que dos equipos puedan trabajar simultáneamente. Use un equivalente de un cepillo de limpieza para quitar la tierra y los trapos para limpiar la superficie de unión de los pánels.

Posicione los pánels adecuadamente haciendo que el área del empalme sea la misma a lo largo de toda la unión. Los químicos pueden ser aplicados usando brochas de 2" limpias, y contenedores de un galón llenos hasta un cuarto de su capacidad. Esto prevendrá la evaporación de los químicos y que accidentalmente puedan derramarse grandes cantidades de adhesivo sobre la membrana que puedan dañarla posteriormente.

Levante la orilla del pánel de arriba lo suficiente para aplicar los químicos al mismo tiempo en las dos superficies, en porciones máximas de 18". Una vez que se aplican los químicos presione inmediatamente los pánels juntos, para evitar la evaporación. Rápidamente comience a aplicar presión ligera, desdoblado el pánel superior aumentándola gradualmente, comenzando de la parte de adentro y moviéndose hacia afuera. Esto causará que el exceso de adhesivo salga o sea expulsado de la zona de unión, el cual deberá ser limpiado.

Esta técnica de unión también previene la formación de burbujas o arrugas. Debe cuidarse que las orillas expuestas estén completamente pegadas.

Una alineación propia de los paneles debe mantenerse durante la unión para evitar las llamadas "bocas de pescado", que son boquetes, ondas o espacios. Si se notan este tipo de defectos durante el proceso de unión, quite los objetos que se encuentren sobre el panel y jale esa sección hacia atrás hasta el punto donde empezó esa costura, esto deberá quitar las arrugas y permitirá que la unión continúe.

Para lograr una mejor unión entre paneles coloque la tabla que se mencionó anteriormente debajo del área de pegado, y presiónese a lo largo de toda la tabla, deteniéndose aproximadamente 2 pies (60 cm) antes del final de ésta; jale la tabla hacia adelante con la cuerda que tiene amarrada en un extremo y continúe la unión hasta que ésta sea terminada desde en medio hasta el extremo.

Las membranas unidas químicamente, desarrollan una adecuada fortaleza en 15 minutos aproximadamente pero su resistencia final de unión se alcanza después de varios días, de cualquier forma, los paneles recientemente unidos son suficientemente fuertes para permitir su ubicación inmediata y la unión de paneles adicionales.

Todas las uniones deben ser inspeccionadas 30 a 60 minutos después del pegado para detectar áreas en las que el sellado sea cuestionable y proceder a unir las nuevamente.

4.1.6 Unión de campo según el tipo de material.

Las instrucciones de unión de páneces o lienzos varían dependiendo del tipo de material que se use, por ello es importante tomar en cuenta las especificaciones para la unión de cada material expuestas a continuación brevemente:

A) Hypalón y CPE reforzado.- Empalme todas las costuras un mínimo de 4" (10.16 cm). Una temperatura de 100 °F (38 °C) es necesaria para lograr una unión óptima, lo que significa que serán necesarias pistolas de aire caliente cuando se presenten días fríos. Aplique calor a las orillas de los páneces cubiertos con químicos y desenróllelos poco a poco durante el calentamiento para lograr una fortaleza completa en la unión.

B) PVC reforzado y XR-5.- La unión de estos materiales puede hacerse con químicos o por medio de sellamiento con calor. El equipo de calentamiento, debe fundir las superficies unidas, para ello es necesario empalmar todas las costuras un mínimo de 2" (5.08 cm) para su sellamiento al calor. Este proceso de unión permite un ahorro de material.

Si se desea hacer una unión con químicos, una temperatura en el material de 100 °F (38 °C) es suficiente, lo que implica que serán usadas pistolas de aire. Después desenrolle las orillas calientes igual que en el caso del Hypalón.

C) PVC y CPE no reforzados.- Empalme todos los páneces un mínimo de 3" (7.62 cm), aplique calor para calentar las áreas de unión. Los requerimientos de calor dependen de la temperatura del aire, la intensidad del sol y el espesor del material. Las costuras deberán ser volteadas mientras se derriten para asegurar una unión fuerte y completa.

4.1.7 Reparación de la membrana.

Si la membrana es dañada durante su instalación ponga un parche del mismo material sobre el área dañada con un mínimo de longitud de 6" (15.24 cm) de radio sumado al radio del agujero y empálmelo. Este parche debe ser redondo o tener las orillas redondeadas; aplique adhesivo y químicos de unión a la membrana dañada y al parche, aplicando presión sobre éstos de adentro hacia afuera.

4.2 Control de calidad.

4.2.1 Introducción y objetivos.

El concepto de control de calidad en la instalación de geomembranas se desarrolló por primera vez en 1983. Desde esa fecha la práctica del control de calidad ha mejorado enormemente y es una práctica bien establecida en Estados Unidos.

El proceso en el control de calidad de la instalación de geomembranas, solo puede lograrse entendiendo el comportamiento de éstas. Solo a través del análisis de la información obtenida de las pruebas de laboratorio aplicadas a geomembranas y del análisis de sistemas de geomembranas que hayan fallado, podremos conocer el comportamiento de las geomembranas a través del tiempo, frente a diversos cambios de temperatura, esfuerzos mecánicos, ataque de químicos, ozono, rayos ultravioleta, etc..

A continuación se expondrá un resumen de lo que especialistas en polímeros e ingenieros geotécnicos han recopilado para elaborar una guía práctica que sirva para mejorar la instalación de geomembranas, su control de calidad y desempeño a largo plazo.

Varios documentos y reportes se han publicado acerca del control de calidad de las geomembranas y otros geosintéticos como son los siguientes: GIROUD AND KASTMAN, 1983; FLUET, 1985; GIROUD AND FLUET, 1986; USEPA, 1986; FLUET 1987; USEPA, 1987; WALLACE AND STAINLE, 1987; MATRECON, 1988; USEPA, 1989; MONTELEONE AND DIPIPO, 1989; FLUET, 1990. Basándonos en sus análisis y descripciones desarrollaremos este tema.

El control de calidad en la instalación de geomembranas es un servicio prestado al cliente por un equipo independiente del instalador de la geomembrana, que consiste en monitorear las actividades de instalación y las medidas tomadas para controlar la calidad de la membrana instalada, verificando y documentando que todas las operaciones se hagan conforme al diseño y especificaciones del plan.

Las metas para la instalación de la geomembrana y su control de calidad pueden resumirse en :

- 1.- Verificar y documentar a través de pruebas, que la geomembrana suministrada cumpla con las especificaciones.
- 2.- Verificar y documentar a través de actividades de monitoreo que la geomembrana sea instalada de acuerdo al diseño y sus especificaciones.

3- Verificar y documentar que los materiales adyacentes a la geomembrana sean situados de acuerdo a las especificaciones que sean designadas para minimizar el riesgo de daño a la membrana.

Estos tres objetivos pueden resumirse en tres palabras: conformidad, integridad y supervivencia. Estas tres condiciones son necesarias, pero no suficientes para asegurar el desempeño a largo plazo de la geomembrana.

La integridad de la geomembrana era una noción sutil, en el principio de los 80's. El objetivo de integridad consistía esencialmente en minimizar el número de hoyos en la geomembrana debido a picaduras y costuras inadecuadas. En 1990 este objetivo se alcanzó virtualmente en todas las instalaciones de geomembranas, pero de cualquier forma los análisis de geomembranas que han fallado, muestran que además de la integridad en el momento de instalación, ésta también puede fallar por sobrecalentamiento o presión excesiva durante el proceso de unión, lo que debilita la geomembrana y afecta su desempeño a largo plazo.

Al instalar la geomembrana bajo altas temperaturas ambientales puede causar un gran esfuerzo tensil y agrietar la geomembrana cuando la temperatura baja, por ello puede lograrse un progreso en la instalación, si el diseño e instalación se llevan a cabo de acuerdo a las especificaciones que determinan la integridad y durabilidad de la geomembrana, y no solo las medidas dirigidas a minimizar el número de hoyos.

4.2.2 Alcances en el control de calidad para instalación de geomembranas.

El proceso de control de calidad empieza con la preparación de un plan de construcción seguro y controlado. Este documento debe ser hecho por el ingeniero que haga el diseño o por un especialista trabajando en coordinación con un ingeniero de diseño.

El control de calidad de la instalación y el plan, deben ser desarrollados en conjunto con las especificaciones del proyecto, ya que ambos documentos están interrelacionados, y su mutua consistencia es necesaria para obtener una instalación de alta calidad.

El plan de control de calidad es típicamente un documento de 50 a 100 hojas, que describe en detalle todos los aspectos pertenecientes al proceso de control de calidad. En particular este plan describe las actividades de aseguramiento en la instalación que incluyen:

- Repasar el diseño, en particular el de los dibujos, para cerciorarse de que estén claros y completos y para conocer perfectamente el proyecto.
- Repasar las especificaciones para verificar que estén completas y claras y lograr un detallado conocimiento de los materiales y procedimientos de construcción a usarse en ese sitio.

- Repasar el plan de control de calidad de instalación para obtener un entendimiento completo y concienzudo de los procedimientos de control y poder evaluar su adecuación.
- Remitir comentarios al autor del plan de control de calidad, si parece que alguno de los procedimientos deban ser cambiados.
- Monitorear y documentar el material de los paneles de geomembrana que sean descargados a partir de la entrega.
- Monitorear el manejo y almacenamiento de los paneles de geomembrana.
- Registrar el panel de manufactura y la cantidad de material entregado.
- Seleccionar muestras de los rollos de geomembrana abastecida, para hacer pruebas de conformidad en el lugar donde se instalará.
- Designar un número clave a las muestras y registrar los números de manufacturas del panel de que fueron obtenidas.
- Etiquetar, empacar y enviar muestras de la geomembrana suministrada para que sean analizadas en un laboratorio independiente.
- Interpretar los resultados de las pruebas de laboratorio de acuerdo a las especificaciones (aceptación o rechazo).
- Revisar los resultados de las investigaciones topográficas para verificar que las líneas y grados del lugar ya construido sean compatibles con el diseño.
- Obtener una aceptación escrita del sustrato por el instalador de la geomembrana.

- Evaluar y documentar las condiciones climatológicas (temperatura y aire) para realizar un informe del lugar, que será hecho por un representante del cliente que pueda decidir si se detiene la instalación de la geomembrana.
- Monitorear y documentar el acomodamiento e instalación de la geomembrana lo mismo que las condiciones de los paneles mientras se localizan.
- Registrar y marcar las locaciones de los paneles instalados y checar que éstos hayan sido instalados de acuerdo al diseño.
- Monitorear la costura triple hecha antes de cada secuencia de costuras para lograr evaluar al personal y equipo de unión.
- Evaluar y documentar los resultados de las pruebas de unión triple que deben resultar acordes con las especificaciones y la aceptación o rechazo del equipo.
- Evaluar y documentar la adecuación de las condiciones climatológicas (temperatura, aire y humedad) para uniones. Informar al representante del cliente cuando las condiciones climatológicas no vayan de acuerdo a las especificaciones y pueda entonces detenerse la unión de paneles.
- Monitorear la unión de la geomembrana.
- Designar un número clave a cada unión o costura, almacenar información como el nombre del trabajador, maquinaria usada, fecha, tiempo de ejecución y temperatura ambiente.

- Monitorear y documentar las pruebas no destructivas hechas para evaluar la continuidad de todas las uniones.
- Seleccionar los lugares a donde las muestras de geomembrana serán llevadas para hacer las pruebas destructivas.
- Monitorear el recorte de muestras que se han hecho por el personal que instala la geomembrana.
- Designar un número clave a cada prueba y lugar de muestra almacenada; y a cualquier observación pertinente hecha durante el muestreo.
- Monitorear el recorte de la muestra en tres partes: una para pruebas de laboratorio independiente, otra para el instalador y otra para el equipo de control de calidad.
- Monitorear y documentar las pruebas destructivas hechas en el campo por el instalador de la geomembrana.
- Etiquetar, empaquetar y enviar muestras a un laboratorio independiente para pruebas destructivas.
- Interpretar los resultados de laboratorio y aceptar o rechazar las uniones o costuras de acuerdo al control de calidad.
- Monitorear y documentar los parches que se usarán para la reparación de daños y agujeros.
- Monitorear y documentar las pruebas no destructivas asociadas al parchado.

- Monitorear y documentar la reparación de las costuras rechazadas y las pruebas no destructivas hechas a éstas ya reparadas.
- Monitorear y documentar las pruebas destructivas relativas a la reparación de la costura, igualmente, las costuras regulares.
- Realizar una observación visual-sistemática de toda la superficie de la geomembrana para localizar y documentar los defectos, e indicar para cada defecto la clase de reparación que se necesita.
- Monitorear y almacenar la reparación de defectos y hacer las pruebas no destructivas al material reparado.
- Almacenar y registrar la localización y naturaleza de las reparaciones.
- Monitorear la aplicación y la ubicación de materiales en la superficie de la membrana.

Las operaciones enlistadas arriba, deben ser implementadas por el equipo asignado a ese lugar para llevar el control de calidad, por el periodo durante el que se construya el sistema de geomembrana. Durante este tiempo el equipo de control de calidad documenta y recopila todas las operaciones, resultados de pruebas, decisiones y observaciones, además los monitores del control de calidad almacenan todas estas observaciones y comentarios en un reporte diario.

La última fase del control de calidad en la instalación de la membrana consiste en preparar un reporte final que incluye:

- Una breve descripción del proyecto, incluyendo tipo de servicio, nombre del lugar, localización, altitud, nombre del propietario, diseño del ingeniero, instalador de la geomembrana, trabajos de preparación del sustrato, nombre del contratista, etc..
- Una detallada descripción del sistema de geomembrana, incluyendo superficie, área, sección cruzada, definición de todos los materiales, etc..
- Una referencia del plan de control de calidad.
- Una copia de especificaciones sobre el material de la geomembrana.
- Una copia o referencia de los documentos del control de calidad del fabricante.
- Un informe general de las actividades, tales como fechas en las que se realizaron las operaciones de control de calidad, número y nombres de los monitores del control de calidad; número y nombres del personal que instaló la geomembrana.
- Un informe fotográfico completo, que incluya fotografías del sitio en las diferentes fases de instalación y detalles de ésta, lo mismo que de todas las operaciones y detalles del control de calidad.
- Una copia de los resultados de las pruebas de laboratorio y campo.
- Una copia de todas las formas llenadas por los monitores del control de calidad y sus reportes diarios.
- Una discusión de los problemas especiales que se encontraron y cómo se solucionaron.
- Una copia escrita de la aceptación del sustrato por los instaladores de la geomembrana.

- Un informe de los dibujos de control de calidad indicando los números claves de cada reparación de costuras, fecha en la que se hizo y localización.
- Un informe con dibujos de instalación que muestre detalles que se hayan modificado, diferentes a los presentados en los dibujos de diseño.
- Una declaración de que la instalación ha sido hecha de acuerdo al diseño, incluyendo la aprobación de los cambios del ingeniero que la diseñó.

4.2.3 Pruebas de uniones.

Las pruebas de uniones constituyen uno de los pasos más críticos en la instalación de la geomembrana y control de calidad, por lo que merecen una discusión especial.

Las pruebas de las costuras o uniones incluyen pruebas no destructivas hechas en campo, y pruebas destructivas hechas en campo o en laboratorio. Las pruebas no destructivas, pretenden evaluar la continuidad de las costuras y son aplicadas a lo largo de la misma. Las pruebas destructivas, pretenden evaluar la capacidad de las costuras para soportar esfuerzos de tensión a través de la medida de fuerza y elongación, y solo pueden realizarse un número limitado de muestras. En este estudio únicamente se explicarán las pruebas destructivas, ya que las no destructivas fueron descritas anteriormente.

Es importante evaluar la fuerza y elongación de las costuras por dos razones: primero, porque es la forma más objetiva para medir la calidad de éstas y asegurarse del trabajo e integridad de la geomembrana; segundo, es importante para verificar que las costuras sean fuertes pero dúctiles, y ello minimizará el riesgo de falla de la membrana ante un esfuerzo aplicado.

Idealmente las costuras o uniones deben ser tan fuertes y dúctiles como la geomembrana en sí, pero esto es difícil de alcanzarse porque la simple presencia de la costura causa molestias al material.

Se llevan a cabo dos tipos de pruebas para medir la fuerza de unión en las costuras: prueba de esfuerzos cortantes y de desquebrajamiento. Una falla producida por el esfuerzo cortante, ocurre después de cierto esfuerzo y estiramiento, que provoca en la superficie de la geomembrana irregularidades tales como arrugas pliegues o estrías. En este caso las pruebas han mostrado que el material se debilita fallando con un esfuerzo menor del 50 % comparado con un 700 % o más del material en buen estado.

Los siguientes mecanismos suelen causar esta falla producida por el esfuerzo cortante:

- Profundas marcas de rayaduras paralelas a la dirección de la costura (para aquellas uniones que requieren rayar la superficie para poder ser vinculadas).
- Deformaciones en la geomembrana tales como arrugas, pliegues o estrías causadas por un sobrecalentamiento durante el proceso de unión.
- Grietas en la geomembrana debido a cambios micro-estructurales por la introducción de energía térmica durante la costura.

Una vez en servicio, las geomembranas que han sido así debilitadas, pueden fallar por el esfuerzo agrietándose, esta falla se registra comúnmente en las orillas o al lado de las costuras.

La falla en las pruebas de desquebrajamiento, ocurre después de una separación parcial o total de el área de geomembrana unida inicialmente, por lo que aparecen cuarteaduras, posiblemente como resultado de los esfuerzos de torsión, alargamiento y dobleces generados durante el desquebrajamiento.

Las pruebas hechas a geomembranas que presentan el desquebrajamiento han mostrado que su resistencia a esfuerzos es siete veces menor que una geomembrana en buen estado.

4.2.4 Costo-beneficio del control de calidad para geomembranas.

Basados en la información de actuales depósitos de rellenos sanitarios en EEUU, el costo del control de calidad para geomembranas varía desde un cinco hasta un veinte por ciento del costo de la geomembrana (material e instalación). Este amplio rango del porcentaje, depende de la variedad de la geomembrana, así como de los diferentes grados del control de calidad que se ha implementado. Tal vez el costo del control de calidad, no es fácilmente calculable, pero los beneficios son sustanciales y serán discutidos a continuación.

Durante el período de 1983 a 1990, la calidad de geomembranas instaladas ha aumentado enormemente en EEUU, como resultado del control de calidad. Como exponen Giroud y Fluet (1983), el control de calidad en la instalación de geomembranas ha sido benéfico, no solo para el cliente, sino también para toda la sociedad, porque se ha incrementado la protección del ambiente en contra de la contaminación.

Giroud, basado en un análisis de instalaciones reales, concluyó que el control de calidad ayudó a disminuir el número de defectos en la instalación de la geomembrana en un 30 %, comparado con otros sistemas instalados por un instalador competente pero sin el control de calidad.

Tal disminución en los defectos, muestra que el control de calidad tiene un costo efectivo, y resulta en importantes y grandes beneficios para la protección del medio ambiente.

Es importante mencionar que hoy, aproximadamente siete años después del análisis de Giroud y Fluet, el porcentaje arriba mencionado, debe ser mayor al 30 % debido a las mejores técnicas de unión y costura y a un mejor control de calidad.

4.2.5 Perspectiva histórica del control de calidad de geomembranas.

En el principio de los 80's , la calidad en la instalación de geomembranas daba mucho que desear. Durante la conferencia internacional de geomembranas de 1984 se estableció que:

“Si las geomembranas no siempre tenían éxito, se debía principalmente a que mucha gente ignoraba dos aspectos importantes, el diseño y control de calidad y la creencia de que las geomembranas eran absolutamente impermeables bajo cualquier circunstancia”.

La verdad es que no existe tal absoluta impermeabilidad en las geomembranas; aunque la conservación de los recursos y la protección del ambiente continúan siendo dos de los retos más importantes en nuestros tiempos, no serán alcanzados mediante la simple

colocación de la geomembrana en la tierra. Un diseño adecuado y el control de calidad son indispensables.

Afortunadamente se han logrado varios progresos en el control de calidad; un primer intento se llevó a cabo a través de un documento que guiaba sistemáticamente la instalación de la geomembrana y su control de calidad. Gracias a esta guía se obtuvo experiencia significativa en el control e información relevante sobre las fallas parciales o totales registradas en un sistema de contenimiento; éstas fueron documentadas por más de una década y organizadas por categorías.

En los Estados Unidos hubo un mayor ímpetu por el control de calidad de las geomembranas para desechos peligrosos, gracias a la publicación de la USEPA, titulada "Guía técnica mínima en sistemas de doble membrana para depósitos de rellenos sanitarios. Diseño, construcción y operación" (USEPA 1985). Uno de los aspectos más notorios en este documento es el requerimiento de un extenso aseguramiento en el control de calidad durante la instalación de la geomembrana.

En 1984 algunas grandes compañías propietarias de negocios de desperdicios, pidieron a ingenieros y consultores, preparar planes de control de calidad específicos para su caso y necesidades; así se empezaron a preparar manuales de control de calidad, que eran documentos genéricos que podían utilizarse como guías para preparar el lugar con requerimientos especiales.

4.2.6 Práctica del control de calidad en la instalación de geomembranas.

Hoy en día el control de calidad para la instalación de geomembranas en los EEUU es una práctica bien establecida, y es obligatoria para las geomembranas que servirán para guardar desechos dañinos, y en muchos estados también es obligatoria para los basureros municipales. Se ha incrementado grandemente el número de los ingenieros consultores y compañías de consultoría que hoy en los EEUU prestan sus servicios de control de calidad, lo mismo que los laboratorios encargados de probar las muestras de geomembrana.

Este control de calidad será mejor, si se toman en cuenta factores como la influencia de la temperatura en las geomembranas, que es determinante para su desempeño a corto y largo plazo.

4.2.7 Influencia de la temperatura en las geomembranas y medidas para el control de calidad.

Los efectos de la temperatura sobre la geomembrana pueden ser reversibles o irreversibles. Dos efectos reversibles son el cambio en los módulos de la geomembrana y la extensión-contracción térmica en ella.

La contracción en la geomembrana resulta de una variedad de mecanismos que se originan en su mayoría por elevadas temperaturas y a veces referida a su estabilidad dimensional.

Los cambios ocurren más rápidamente por un aumento en la temperatura, ambos efectos reversibles e irreversibles traen una serie de consecuencias de deterioro en el desempeño de la geomembrana.

La contracción de una geomembrana puede ser reversible, si se debe tan solo a un descenso en la temperatura ambiente o irreversible cuando el cambio se debe a la inestabilidad dimensional.

Durante la contracción, la geomembrana tiene cambios notables como el levantamiento de las áreas deprimidas y de los cambios de inclinación. Si la geomembrana está levantada en una área y se presiona mediante la inyección de un líquido, las costuras no estarán sujetas a romperse o pelarse, que sería un efecto mucho más severo que ocasionaría la falla de la geomembrana.

Otro problema es que la geomembrana no está totalmente libre de contraerse debido a la fricción con el terreno que la soporta o porque están literalmente ancladas y unidas a todos los otros paneles. Como resultado de esta unión desarrollan un esfuerzo tensil y una contracción térmica.

Cuando la temperatura es muy baja, los módulos de la geomembrana se debilitan y los compuestos de polímero tienen un bajo coeficiente de conductividad térmica. La diferencia resultante entre las temperaturas del lado expuesto de la geomembrana al clima frío y la del lado soportado por el sustrato y su fricción, causan contracciones diferenciales, que tienden a abrir cualquier arruga o defecto en la superficie de la geomembrana y a propagarse más profundamente, causando cuarteaduras por esfuerzo.

La exposición de la geomembrana ante altas temperaturas causa un arrugamiento excesivo; durante la instalación las arrugas impiden una buena unión y en ocasiones resultan en bocas de pescado que tendrán que ser reparadas. Las arrugas en las geomembranas también impedirán la instalación de materiales para drenaje y materiales de recubrimiento en la geomembrana.

Es importante tomar en cuenta que la unión de paneles contiguos de geomembrana, deberá hacerse en períodos de tiempo cortos para que existan temperaturas similares, ya que si llegara a variar mucho la temperatura entre la instalación de un panel y otro, su contracción-extensión, también resultaría diferente y esto provocaría la presencia de arrugas.

Las arrugas también pueden producirse durante las operaciones de instalación, especialmente durante las maniobras para poner el material de recubrimiento sobre la geomembrana que puede resultar perjudicial a ésta.

4.2.8 Temperatura de las geomembranas en el campo.

Las geomembranas expuestas en el campo, estarán sujetas a cambios drásticos de temperatura que por ejemplo en los EEUU van desde los -50 °C, en el invierno, hasta los 80 °C que soportarán en los días soleados de verano, en los que debido al color negro del material de la geomembrana, las temperaturas se elevan.

Una capa de tierra que cubra la geomembrana, baja drásticamente los rangos de temperatura a los que ésta pueda estar expuesta. Mientras más espesa sea la capa de tierra, menor será el rango de temperaturas que deba soportar la membrana.

Es bien sabido que mientras la temperatura aumenta, los materiales termoplásticos tales como el HDPE y el PVC se suavizan; cuando la temperatura baja, se endurecen y se vuelven quebradizos. Esta información se ha obtenido de las pruebas de laboratorio.

La influencia de la temperatura puede resumirse así:

Mientras la temperatura aumenta, cede la fortaleza del material y su fuerza de rompimiento baja hasta llegar al valor de cero en el que se derrite, esta temperatura es de 105 a 120 °C para el PVC y de 100 a 135 °C para el polietileno. Ante este debilitamiento los módulos iniciales reducen más su fortaleza.

A) Encogimiento irreversible.- La exposición a altas temperaturas, causa una pérdida en los componentes volátiles de la geomembrana, y un alivio del esfuerzo residual interno. Ambos mecanismos resultan en una contracción irreversible de la geomembrana, también llamado "encogimiento".

Algunas geomembranas hechas de polietileno contienen una cantidad mínima de componentes volátiles, pero en materiales como el PVC que contienen hasta 35 % de plastómeros que son volátiles, en su exposición al calor, pueden perder tanto como la mitad de sus plastómeros y al perder el 25 % de éstos se vuelve inflexible y quebradiza.

Cuando la geomembrana se calienta para su unión, este calentamiento aumenta la movilidad de moléculas; éstos esfuerzos se alivian, pero como resultado la membrana se contrae irreversiblemente.

No se conoce ninguna temperatura mínima o máxima para que se produzca el encogimiento pero si se sabe que el calor producido por el sol es suficiente para causar el

encogimiento irreversible. Lo que si se sabe por las pruebas de la ASTM D-1204, que las geomembranas de PVC tienen menor estabilidad dimensional que las de HDPE.

Estos fenómenos pueden resumirse en:

- El encogimiento irreversible de la geomembrana se debe a una pérdida de los componentes volátiles y a un alivio del esfuerzo interno.
- El encogimiento debido a la pérdida de componentes volátiles es insignificante para las geomembranas que no contienen una cantidad significativa de plastómeros como el HDPE pero en el caso del PVC que si los contiene es de 0.5 % a 2.0 %.
- Este encogimiento es de 2 % y 4 % para las geomembranas expuestas de PVC (con plastómeros) y es probablemente menor de 1 % para geomembranas de HDPE.

Obviamente estos valores para las geomembranas cubiertas por tierra u otro material son infinitamente menores.

B) Expansión-contracción termal- Las geomembranas exhiben significativos pero reversibles cambios en su dimensión cuando la temperatura varía, se expanden cuando la temperatura sube y se contraen cuando la temperatura baja. Este mecanismo de contracción-expansión es reversible, mientras la geomembrana pueda moverse libremente.

En otras palabras, si después de la expansión o contracción causada por los cambios de temperatura, ésta vuelve a su valor inicial, la geomembrana recobrará su longitud original.

Debe notarse que en la mayoría de los casos las geomembranas son instaladas durante el día a una temperatura más alta que la de en la noche y no se instalan en clima frío. Por este motivo tienden a contraerse cuando cambia el clima y baja la temperatura, ya sea en la noche o en el invierno.

La tendencia de la geomembrana a contraerse puede generar un esfuerzo tensil excesivo si la geomembrana no se instaló con suficiente espacio y soltura. De ahí que todas las geomembranas deben ser instaladas con cierta holgura, debe notarse que un espacio adicional es necesario para aliviar el efecto de encogimiento irreversible.

C) Encogimiento de una membrana que descansa sobre tierra.- Cuando una geomembrana es calentada, tiende a expandirse, pero si se tiende sobre tierra no puede expandirse libremente, ya que existe una fricción entre la tierra y la geomembrana. Es muy probable que debido a esta fricción se presenten arrugas.

Se han mencionado varios fenómenos que suceden durante la instalación de geomembranas como lo son la influencia de la temperatura, su contracción-extensión, arrugas que se puedan desarrollar, etc..

Para evitar y disminuir futuras fallas del sistema de la geomembrana, se resumirán a continuación recomendaciones prácticas que pueden servir como una guía para los instaladores y para el personal que monitorea el control de calidad.

Hay tres tipos de medidas que deben tomarse:

1.- La elección del tiempo de instalación.

2.- Evaluación del espacio requerido.

3.- Situar correctamente este espacio.

Las siguientes medidas que serán enlistadas, son recomendables para geomembranas expuestas, como suele ser el caso de los depósitos que contienen líquidos.

El tiempo óptimo para instalar la geomembrana puede seleccionarse tomando en cuenta las siguientes consideraciones:

Para minimizar la contracción termal, la geomembrana debe instalarse bajo la más fresca temperatura que sea compatible con la calidad de unión. En el verano, esta condición podría significar una unión y costura de los lienzos en la noche o muy temprano en la mañana.

Para minimizar el riesgo de arrugas diferenciales, mejor conocidas como bocas de pescado, entre los paneles, ningún panel deberá ser instalado junto a otro panel que esté tensionado. Similares estrategias deben desarrollarse caso por caso con base en el diseño de ingeniería, para que esta situación no se presente.

Como una regla general, la instalación de los paneles que se hizo temprano en la mañana, no deberá estar junto a la instalación de los paneles instalados en la tarde, porque su expansión al bajar o aumentar la temperatura, cambiará, y la diferente expansión-contracción de paneles contiguos, dará origen a arrugas por tensión.

El espacio requerido para la geomembrana puede evaluarse así:

- El espacio requerido para el sistema completo de geomembrana es igual a la suma del espacio que los componentes de la geomembrana necesitan para superar la contracción debida a la pérdida volátil y a la contracción-expansión térmica.
- El espacio debe ubicarse de tal forma que sea efectivo, para ello debe tomarse en cuenta la siguiente recomendación:

Partiendo de la cantidad de espacio necesario para la instalación de la geomembrana, el ingeniero que diseñe el sistema, debe preparar especificaciones de instalación, tomando en cuenta el tamaño y probable espacio entre arrugas que se puedan presentar.

Algunas de estas recomendaciones, no son apropiadas para geomembranas no expuestas, porque las variaciones en la temperatura de una geomembrana cubierta son mucho menores, por lo tanto, el espacio necesario para instalarlas se reduce, porque los efectos de pérdida de componentes volátiles y contracción térmica también se reducen.

CONCLUSIONES

Los sistemas de geomembranas son una solución eficaz y económica para la protección del medio ambiente, siempre y cuando éstos se lleven a cabo correctamente, bajo procedimientos, normas y especificaciones establecidas.

El mercado nos ofrece una amplia variedad de geomembranas, de las cuales podemos elegir la que más nos convenga en base a las características y necesidades de la obra, costo y eficiencia del impermeabilizante.

Para poder calcular los efectos en campo, ocasionados por los mecanismos de degradación en las geomembranas tales como temperatura, rayos ultravioleta, radiación, agentes químicos, oxidación, etc., es necesario hacer varios estudios y pruebas más representativas auxiliándonos de otras ciencias como son la física, meteorología, geosíntesis, geotecnia, ciencia plástica y experimentos químicos más detallados.

El Proyecto Hidroeléctrico Agua Prieta Jalisco es único en su tipo en el continente Americano; ha generado experiencias que llevadas adecuadamente a especificaciones y alcances, nos permitirá ejecutar en el futuro mejores aplicaciones de geomembranas, donde se puedan obtener resultados óptimos en cuanto a la eficiencia del impermeabilizante.

Un ejemplo, es no permitir ejecutar y traslapar actividades incompatibles como son la colocación de la geomembrana con el cimbrado y colado de losas de concreto. Con todo esto se aumentará el control de calidad y aseguramiento correspondiente.

No debe ser ignorada la importancia de instalar correctamente una geomembrana, ya que cualquier membrana que no sea propiamente instalada es susceptible a presentar daños ocasionando que el sistema sea permeable, y por lo tanto, no tendrá un buen desempeño ni funcionará adecuadamente.

El proceso de instalación es tan importante como el proceso de fabricación de la geomembrana, durante el cual se tuvo un estricto control de calidad, por ello es esencial que el mismo nivel y control de calidad, que se tuvo durante la fabricación, se mantenga y mejore durante la ejecución de los trabajos.

“Una instalación limpia y correcta ayuda a asegurar el contenimiento”. Es necesario mantener simple, en este tipo de obras, una perfecta organización de nuestros recursos, tales como materiales, instaladores, obreros, maquinaria y equipo en general, para evitar al máximo posibles agresiones físicas a la membrana.

Programar las zonas de trabajo en el plano maestro del Hypalón, el suministro correcto de los materiales, la fabricación exacta de lienzos y paneles, así como un andamiaje e izaje bien planeados, nos darán una correcta y rápida instalación del impermeabilizante.

Durante el proceso de control de calidad en la instalación de geomembranas, es necesario entender, antes que nada, el comportamiento de éstas; a través del análisis de la información obtenida de las pruebas de laboratorio aplicadas a geomembranas que hayan presentado fallas. De esta manera podremos conocer el comportamiento del impermeabilizante a través del tiempo frente a los diversos mecanismos de degradación.

El control de calidad durante la instalación y el plan de trabajo, deben desarrollarse junto con las especificaciones del proyecto. Ambos documentos están interrelacionados y su mutua consistencia es necesaria para obtener una instalación de alta calidad.

El costo del control de calidad para geomembranas muchas veces es, relativamente alto, pero los beneficios que otorga son sustanciales. El control y aseguramiento de calidad en la instalación de geomembranas ha sido benéfico, no solo para el cliente, sino también para toda la sociedad, ya que contribuye con la protección del medio ambiente en contra de la contaminación.

En México, al igual que en otros países, existen actualmente normas que especifican la utilización de geomembranas y otros sistemas para almacenar desechos dañinos, para basureros municipales, para recubrir canales a cielo abierto, drenajes sanitarios, descargas urbanas e industriales, estanques para peces, etc.. Esto ayudará enormemente en el cuidado de nuestros mantos acuíferos, recursos naturales y en general del medio ambiente.

BIBLIOGRAFIA

1. Bonaparte Rudolph, "Waste containment systems", ed. American Society of civil engineers (ASCE), Austin, Tx..
2. Fritz and Thod, "Corrosión y protección", ed. Aguilar, México D.F..
3. Kirk-Ottmer, "Enciclopedia de tecnología química", vol. 3 y 10.
4. Mark, Gaylord and Bikales, "Science and technology", ed. Board, 1965.
5. DuPont Co., "Elvaloy resin modifiers # 741 and 742", Wilmington, De., 1992.
6. DuPont Co., "Flexible membrane liners for containment applications", Wilmington, De., 1992.
7. DuPont Co., "Fluid resistance of liners and covers based on Hypalon", Wilmington, De., 1992.
8. Himont Geomembranes, "Flexible propylene polymers for geomembranes", Chicago, IL., 1993.
9. JPS elastomerics Co., "Durable industrial grade landfill lining and cap membranes", Northampton, Ma., 1992.
10. Occidental Chemical Co., "PVC fabricated products specifications", Dallas, Tx., 1991.

11. Schoenbeck M.A., "Comparison of Hypalon synthetic rubber and HDPE for flexible membrane liners", DuPont Co., Wilmington, De., 1992.
12. Seaman Corporation, "XR-5 geomembrane systems", Wooster, Ohio, 1993.
13. Seaman Corporation, "Technical data and specifications for XR-5 chemical, oil and high temperature resistant geomembrane", Wooster, Ohio, 1993.
14. Staff Industries Inc., "Staff impermeable liner and floating cover installation guide", Detroit, Mi., 1992.
15. Staff Industries Inc., "Staff floating membrane covers", Detroit, Mi., 1992.
16. Staff Industries Inc., "Polyvinyl chloride (PVC) specification", Detroit, Mi., 1992.
17. Staff Industries Inc., "Fishgrade polyvinyl chloride (PVC) specification", Detroit, Mi., 1992.
18. Staff Industries Inc., "30, 40 and 50 mil. oil resistant polyvinyl chloride (PVC) specification", Detroit, Mi., 1992.
19. Staff Industries Inc., "Potable water grade reinforced Hypalon # 8210-36 and 8210-45 specification", Detroit, Mi., 1992.
20. Staff Industries Inc., "Industrial grade reinforced Hypalon # 9210-36, 9210-45 and 9210-60 specification", Detroit, Mi., 1992.
21. Staff Industries Inc., "UC 4000 (reinforced) specifications", Detroit, Mi., 1992.
22. Staff Industries Inc., "30 mil. XR-5 specifications", Detroit, Mi., 1993.

23. Stevens Geomembranes, "High-performance potable water grade containment membrane", JPS elastomerics Co., Northampton, Ma., 1992.
24. Stevens Geomembranes, "Polypropylene geomembranes general information", JPS elastomerics Co., Northampton, Ma., 1993.
25. Revista "Petróleo y petroquímica internacional", México D.F., 1973.
26. Aguilar Barraza Guillermo Gonzalo, Tesis "Alternativa de construcción del piso del tanque de regulación. Proyecto hidroeléctrico Agua Prieta Jalisco", Universidad Autónoma de Guadalajara, Jal., 1992.
27. Rodríguez Loya Romeo Fernando, Tesis "Estudio para prevenir la corrosión con recubrimientos de policlorobutadieno y polietileno clorosulfonado", Instituto Regional de Ciudad Madero, Tamps., 1975.
28. Grupo Río Balsas S.A. de C.V., "Supervisión del Proyecto Hidroeléctrico Agua Prieta Jalisco", (Memoria descriptiva, reporte de laboratorio, programa de obra, bitácora de obra y reporte fotográfico), México D.F., 1992.
29. Comisión Federal de Electricidad, "Historia del alumbrado y la industria eléctrica de Jalisco", C.F.E. Departamento de Operación div. Jalisco, 1989.
30. Comisión Federal de Electricidad, "Proyecto Hidroeléctrico Agua Prieta Jalisco. Memoria descriptiva", C.F.E. Subgerencia de diseños hidroeléctricos, Departamento de ingeniería civil, 1985.