

IMPERMEABILIZACION DE SUELOS Y ESTRUCTURAS CON GEOMEMBRANAS PLASTICAS EN LA INDUSTRIA PETROLERA: VENTAJAS DEL USO DE POLIETILENO

AUTORES: Lic. Liliana E. Pagliano
Ing. Alejandro E. De Gasperi

EMPRESA: IPAKO S.A.
Av. de Mayo 701 - Piso 149
1084 - Buenos Aires
Tel. 342-5976 / 6073 / 8445 - Fax 342-6198

RESUMEN

El presente trabajo tiene como propósito hacer una breve introducción al tema de los revestimientos conocidos como GEOMEMBRANAS PLASTICAS y sus aplicaciones en la industria petrolera.

Actualmente las geomembranas de Polietileno de Alta Densidad se presentan como una muy buena opción, ya que oponen una excelente barrera a los productos químicos combinada con una muy buena resistencia mecánica y una larga vida útil.

El mercado norteamericano de estos productos se encuentra en franca expansión y está dominado en un 60 % aproximadamente por Polietileno. Empresas de la talla de Texaco, Chevron, Amoco, Phillips Petroleum, Mobil Oil, Shell Oil, Gulf y Exxon entre otras vienen empleando Geomembranas de Polietileno de Alta Densidad para diversas aplicaciones desde principios de los '80. Se prevé una duplicación de la demanda en los próximos cinco años.

Esta presentación se compone de seis puntos, a saber:

- 1 - INTRODUCCION
- 2 - PRINCIPALES APLICACIONES DE LAS GEOMEMBRANAS PLASTICAS EN LA INDUSTRIA PETROLERA
- 3 - POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD: UNA EXCELENTE OPCION. VENTAJAS
- 4 - PEAD: TECNICAS DE SOLDADURA
- 5 - EVOLUCION DEL MERCADO NORTEAMERICANO DE GEOMEMBRANAS PLASTICAS
- 6 - ASPECTOS LEGALES

1 - INTRODUCCION

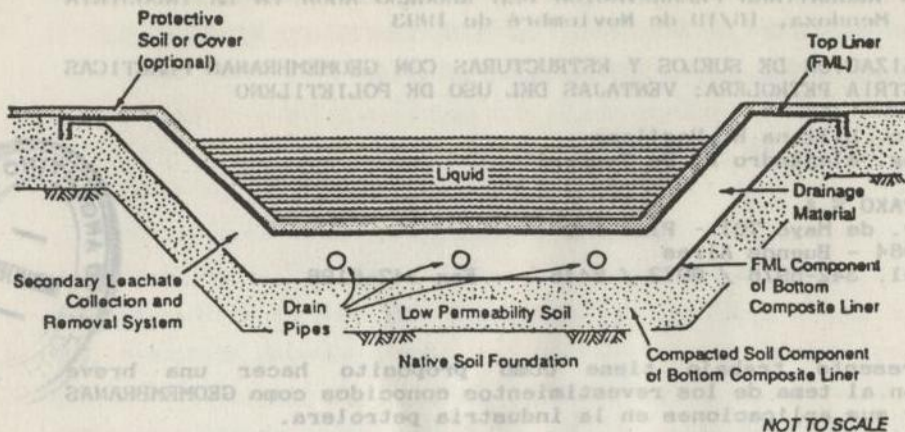
Sabido es que la elevación del standard de vida de una sociedad es consecuencia directa de la mayor actividad industrial y comercial. Esta actividad del hombre inevitablemente genera residuos de todo tipo que, si no son tratados con un criterio ecológico, pueden contaminar seriamente aguas, costas y medio ambiente en general. Actualmente existe una imperiosa necesidad de colocar barreras protectoras entre estos desechos y el medio.

Las Geomembranas Plásticas son elementos íntimamente ligados al comportamiento ecológico responsable.

Estas membranas flexibles cuyos espesores varían entre 0,5 y 3 mm. se presentan normalmente en rollos de 150 a 200 metros de largo. El ancho varía dependiendo del proceso de fabricación.

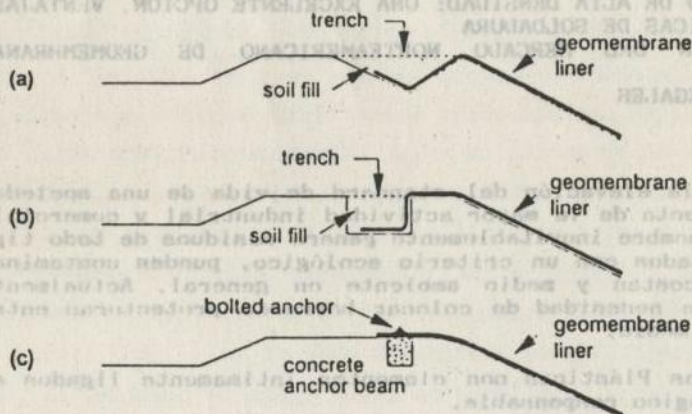
El principal propósito de estos revestimientos es crear una barrera impermeable capaz de mantener o confinar grandes volúmenes de líquidos o sólidos. Podemos impermeabilizar con ellas cualquier tipo





Schematic of an FML/composite double-liner system for a surface impoundment. (Based on EPA, 1985).

DISEÑO TÍPICO DE UNA PILETA DE SUPERFICIE CON SISTEMA DE RECOLECCIÓN DE FILTRACIONES USANDO GEOMEMBRANAS PLÁSTICAS (FML)



SISTEMAS DE ANCLAJE TÍPICOS PARA FIJACIÓN DE GEOMEMBRANAS

de terreno o estructura que no destine a la disposición de residuos industriales o cualquier elemento contaminante que no deba tocar la tierra ni las napas subterráneas de agua.

Tradicionalmente esta barrera se obtenía compactando tierra o arcilla y ha estado asociada con el control y almacenamiento de agua. Las Geomembranas Plásticas fueron específicamente desarrolladas para asegurar un almacenaje estanco y de larga vida. Esta es hoy la manera mas efectiva, segura, rápida y económica de evitar la polución de terrenos y corrientes de agua.

Las Geomembranas Plásticas surgieron en la década del '50 en Alemania y los Estados Unidos. Inicialmente se vió al PVC como la mejor alternativa, pero las desventajas surgieron debido a la baja resistencia a solventes y otros productos químicos y a la exudación de plástificantes hacia la superficie provocando fragilidad.

2 - PRINCIPALES APLICACIONES DE LAS GEOMEMBRANAS PLASTICAS EN LA INDUSTRIA PETROLERA

Entre las principales pueden enumerarse:

- Depósitos de petróleo crudo o deshidratado
- Piletas para lodos de perforación
- Protecciones contra derrames de tanques de hidrocarburos o zonas de carga en estaciones de petróleo
- Protección del subsuelo en estaciones de servicio
- Impermeabilización interna y externa de tanques de hidrocarburos
- Cubiertas flotantes para piletas o tanques
- Piletas para agua de inyección
- Piletas de Tratamiento efluentes líquidos
- Piletas de emergencia de lodos de petróleo
- Piletas de evaporación
- Celdas de contención en refineries
- Lagunas de residuos de petróleo
- Lagunas de decantación
- Lagunas para ácidos
- Piletas para agua de lluvia
- Piletas para aguas de purga
- Piletas de agua de incendios
- Piletas para recolección de efluentes de limpieza
- Lagunas químicas
- Almacenaje de petróleo deshidratado
- Piletas de tratamiento de soluciones salinas de petróleo (altamente tóxicas)
- Piletas para contaminantes producidos durante la perforación: aditivos, cementos, fluidos ácidos para tratamiento de pozos, estimulantes de flujo, etc.
- Piletas de landfarming de barron API, barro de unidades de flotación, fondos de tanques, fondos de desaladores, derrames, etc.

Analizaremos ahora en detalle algunas de ellas

a - Depósitos de petróleo

En el sector petrolero viene observándose de manera concreta la necesidad de aumentar la capacidad de almacenaje. Una alternativa muy ventajosa para solucionar este problema, muy difundida en Estados Unidos y Centroamérica, consiste en el almacenamiento de petróleo crudo o deshidratado mediante piletas excavadas en el suelo que son impermeabilizadas con geomembranas plásticas.

Se incluye la opción de una cubierta flotante para evitar la

evaporación o la contaminación con agua de lluvia o polvo. Esta cubierta debe y baja según el nivel del líquido almacenado.

La cubierta además protege a las aves, evitando que estas se zambullan o caigan dentro de las piletas.

A igual capacidad de almacenaje, las piletas construidas con geomembranas cuestan aproximadamente el 22 % de lo que cuesta un tanque metálico. El uso de geomembranas reduce significativamente los costos de pasar de un área de producción a la otra, ya que las membranas pueden recuperarse y pueden ser reinstaladas a bajo precio. Los tiempos de instalación y puesta en marcha se reducen significativamente.

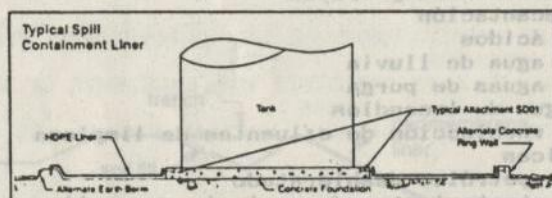
b - Piletas de lodos de perforación

El petróleo, si no se lo maneja con criterio ecológico, puede transformarse en un serio agente contaminante. Ya se trate de operaciones de carga, transporte o almacenamiento, deberán tomarse todas las precauciones posibles para evitar derrames o filtraciones. Debe evitarse particularmente la contaminación de las napas freáticas.

Las perforaciones de pozos de petróleo trae aparejada la producción de barro o lodos como desecho. Las geomembranas plásticas vienen usándose en Europa y USA desde principios de los '80 y ya existen antecedentes en nuestro país.

Uno de las primeras obras en las que se usó Polietileno de Alta Densidad fue la piletas para barro petrolero de una petrolera internacional en la localidad de Emsland, Alemania Occidental, hace aproximadamente quince años. Se emplearon geomembranas de 2,5 mm de espesor.

c - Protección contra derrames de hidrocarburos

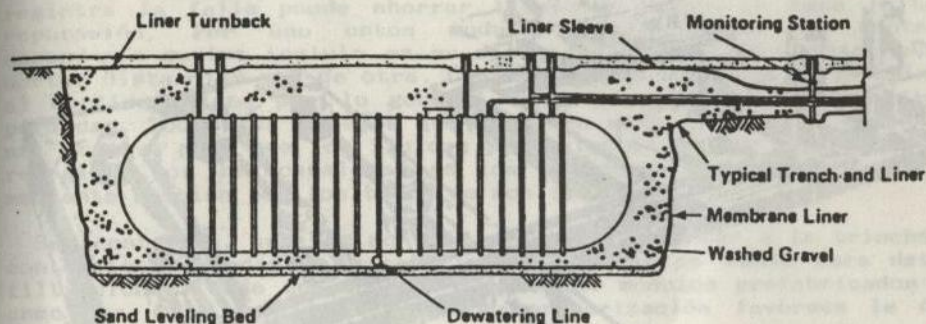


Normalmente el petróleo se almacena en grandes depósitos de acero sobre el nivel del suelo, construyéndose por fuera un muro de contención capaz de soportar el petróleo contenido en el depósito en caso de rotura o filtración de este último. El piso alrededor del depósito y del muro se revisten con geomembranas plásticas (liners) de tal manera que los posibles derrames ocasionados por accidentes u operaciones normales de carga y descarga se mantengan dentro de un área impermeable, eliminando con ello la contaminación y haciendo factible la recuperación del combustible.

d - Estaciones de servicio

La contaminación proveniente de las pérdidas de los tanques de productos químicos y combustibles se ha tornado un área de interés creciente por parte de entidades ambientalistas y público en general en USA. Los tanques de almacenamiento que ya llevan un tiempo considerable en servicio pierden su integridad estructural y se generan escapes de estos líquidos hacia el medio ambiente. Esto amenaza la salud pública y la seguridad al contaminar el entorno y las

napan subterráneo de agua.



La Asociación de Protección Ambiental de Estados Unidos (USEPA) recomienda en sus recientes regulaciones federales que las fosas donde se instalen los tanques subterráneos (en estaciones de servicio, industrias, etc.) sean impermeabilizadas con membranas plásticas a modo de contención secundaria. En el fondo de la fosa se construye un canal a modo de sumidero para monitoreo y contención de posibles pérdidas. Esta reglamentación es aplicable tanto a nuevas instalaciones como a las ya existentes que deberán ajustarse a lo especificado en el término de dos años. Una nueva regulación complementaria, actualmente en estudio, contempla un sistema de doble membrana.

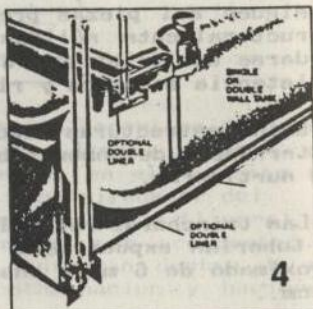
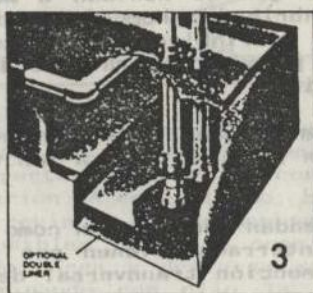
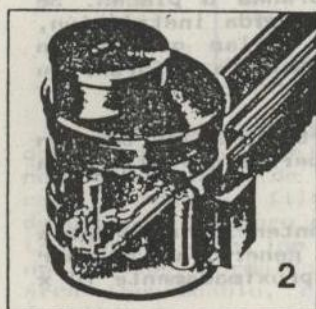
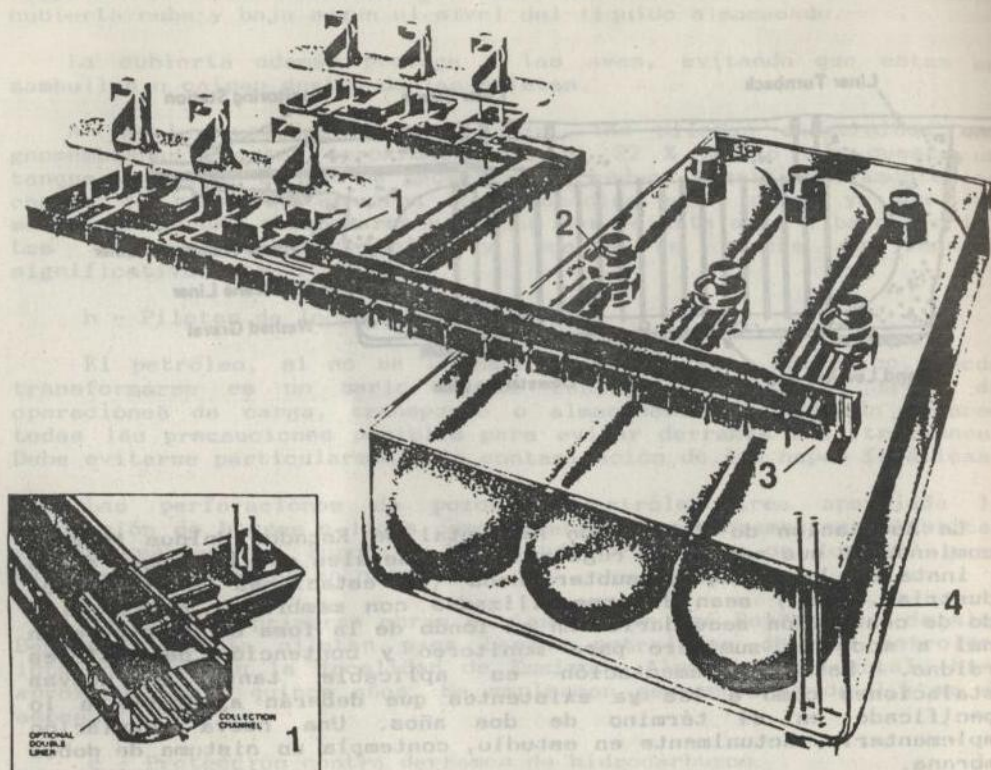
Módulos prefabricados de contención secundaria para estaciones de servicio

Se construyen en Polietileno de Alta Densidad combinando piezas rotomoldeadas o inyectadas que se sueldan a membranas o placas. Se consiguen así piezas prefabricadas homogéneas de rápida instalación, estructuralmente sólidas, confiables y durables, a las que suelen soldarse costillas en las paredes laterales o fondo para reforzar su resistencia mecánica y rigidez.

Estas estructuras huecas se usan para envolver tanto a los tanques subterráneos de combustible (Fig. 4) como a las tuberías que alimentan los surtidores.

Las trincheras rotomoldeadas que se usan como contención secundaria de tuberías expuestas o enterradas tienen por lo general un espesor aproximado de 6 mm y una sección transversal de aproximadamente 70 x 90 cm..

El ensamblado se completa en obra por soldadura o termofusión, garantizando así la estanqueidad del sistema y evitando cualquier posible derrame de combustible al terreno que lo rodea. En los diseños se contemplan detalles tales como bocas de carga de los tanques subterráneos y bocas de hombre con sus tapas (manija incluida) que impiden la entrada de agua dentro del sistema (Fig. 2), módulos de conexión de las trincheras con los surtidores de las isletas (Fig. 1) y sumideros para detección de pérdidas (Fig. 3), todo integralmente extrudado, inyectado o rotomoldeado en polietileno de alta densidad.



La experiencia en USA indica que en una estación de servicios promedio estos módulos de polietileno de alta densidad pueden ser instalados en aproximadamente dos días, de no mediar mal tiempo u otros imprevistos.

Algunos estados de USA exigen, además de los módulos prefabricados, impermeabilizar la fosa donde serán instalados tanques y cañerías con

geomembranas plásticas e instalar allí un sistema de detección de pérdidas.

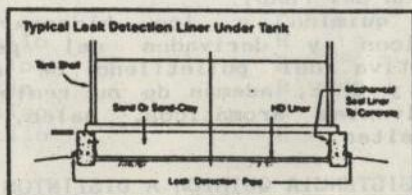
Una rápida detección de la pérdida y ubicación del sector donde se registra la falla puede ahorrar tiempo y dinero si hace falta una reparación. Por eso estos módulos prefabricados de contención secundaria suelen incluir en su diseño estaciones de monitoreo a muy cortas distancias una de otra. Cada módulo de conexión de la trinchera al surtidor tiene por lo general su propio sistema de detección de pérdidas. Todos los módulos que componen este sistema se diseñan con un declive para que los fluidos provenientes de las fugas puedan ser recogidos por las canaletas de los sumideros y luego ser extraídos mediante succión por los tubos de monitoreo.

Se acostumbra, una vez montada y soldada, someter a la trinchera de contención secundaria de cañerías a un test de vacío para detectar filtraciones. Dado que todo el sistema de módulos prefabricados opera como una sola unidad estanca, su presurización favorece la óptima detección de filtraciones.

La USEPA ha determinado que un sistema de contención secundaria con monitoreo de fugas es el método mas efectivo para prevenir escapes hacia las napas subterráneas y el medio ambiente en general. La principal ventaja de esta contención secundaria es la detección de fugas en la estructura de los tanques o cañerías antes que se produzcan emisiones al medio ambiente.

e - Impermeabilización de tanques de hidrocarburos

En los tanques ya existentes con fondos deteriorados se impermeabiliza internamente el piso del tanque con geomembranas plásticas. Sobre la misma se construye una capa drenante usando geotextiles, arena o arcilla sobre la que se apoyará el nuevo fondo metálico del tanque. El diseño permite que cualquier posible futura fuga pueda fluir hacia el exterior a través de tuberías de monitoreo. La capa drenante mas las tuberías actúan como sistema de detección de fugas.



En tanques nuevos, se impermeabiliza con geomembranas plásticas el área interna de la fundación sobre la que irá apoyado el nuevo tanque. El suelo queda protegido de cualquier posible fuga, que es de inmediato detectada por las tuberías de monitoreo.

3 - POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD: UNA EXCELENTE OPCIÓN VENTAJAS

Los tres tipos principales de geomembranas plásticas disponibles localmente en la actualidad son fabricadas con:

Polietileno de alta densidad (PEAD)
Cloruro de polivinilo (PVC)
Polietileno clorosulfonado (CSPE - "Hypalon")

Otros materiales como Polietileno Clorado (CPE) y caucho sintético

han quedado prácticamente fuera de mercado.

Se utilizan para una amplia variedad de aplicaciones que incluyen depósitos de residuos industriales (sólidos o líquidos), residuos domiciliarios, residuos peligrosos, minería, agua para riego y otros.

El Polietileno de Alta Densidad es el mas recientemente desarrollado de estos materiales y fue introducido en impermeabilizaciones diversas a partir de fines de los años 70.

Internacionalmente, las membranas de polietileno de alta densidad representan un mercado en expansión, particularmente para contención de residuos peligrosos y otras aplicaciones críticas. La principal razón técnica por la cual el Polietileno de Alta Densidad ha ido ganando mercado con respecto a otros materiales reside en la larga vida útil que posee. Las geomembranas de Polietileno de Alta Densidad aventajan además en propiedades mecánicas al PVC y al CSPE.

Ataque biológico

El PEAD no es atacado ni afectado por los microorganismos aún en las condiciones más adversas.

Resistencia al ozono

La resistencia al ozono es muy superior comparada con la de los otros termoplásticos, ya que el PEAD posee muy bajo nivel de insaturación.

Resistencia química

La excelente resistencia del PEAD a los productos químicos se debe principalmente a la naturaleza de su estructura molecular. La ausencia de grupos polares se refleja en la baja permeabilidad al agua y soluciones acuosas de ácidos, bases y sales; sólo es atacado a temperatura ambiente y en el transcurso del tiempo por oxidantes muy fuertes (p. ej.: ácido nítrico concentrado); también es muy resistente a la mayoría de las sustancias orgánicas (como lo demuestra la dificultad de disolución del PEAD).

La resistencia química a los hidrocarburos alifáticos, hidrocarburos aromáticos y derivados del petróleo crudo es característica distintiva del polietileno de alta densidad con respecto al PVC, CPE y CSPE, además de su resistencia a distintos ácidos, álcalis, solventes aromáticos, sales, metales pesados, alcoholes, aminas y aceites.

PEAD - TABLA DE RESISTENCIA QUIMICA A DISTINTOS AGENTES
- (después de 55 días - membrana de 1 mm)

	20 °C	60 °C
ACTIVOS ORGANICOS		
Acético (10%)	R	R
Acético glacial (100%)	R	r d
Cloroacético (10%)	R	R
Formico (10%)	R	R
Oleico (100%)	R	r
Oxálico (50%)	R	R
Fenol (10%)	R	R
Fenol (100%)	R	R d
Pírico (10%)	R	R
Estearico (100%)	R	r
Tánico (10%)	R	R
Tartárico (10%)	R	R
Dicloroacético (50%)	R	R
Dicloroacético (100%)	R	r d

	20 oc	60 oc
Flúlico (50%)	R	R
Glicólico (70%)	R	R
Maleico	R	R
Propiónico (50%)	R	R
Propiónico (100%)	R	r
Tricloroacético (50%)	R	R
Tricloroacético (100%)	R	r
Benzoico	R	R
Benzosulfónico	R	R
ALCOHOLES		
Bencilico	R	R
Etilico	R	R
Isopropílico	R	R
Metílico	R	R
Etilenglicol	R	R
Glicerol	R	R
Hexanol	R	R
Resorcina	R	R
Butanol	R	R
Butanoltriol	R	R
Butilglícol	R	R
Ciclohexanol	R	R
Etilhexanol	R	R
Propilenglicol	R	R
Propanol	R	R
Metilbutanol	R	r
ALDEHIDOS		
Benzaldehído	R	R
Butraldehído	R	R
Furfural	R	R
Formaldehído (40%)	R	R
AMINAS		
Anilina	R	R
Trietanolamina	R	R
Etilendiamina	R	R
ESTER		
Acetato de amilo	R	R
Acetato de butilo	R	r
Acetato de etilo	r	-
Sebacato de dibutilo	R	R
Ftalato de dioctilo	R	R
Ftalato de dibutilo	R	r
Fosfato tricresílico	R	R
Fosfato de tributilo	R	R
ETER		
Dibencilico	r	-
Isopropílico	R	r
Dietiléter	R	r
Dibutiléter	R	-
Monobutil glicol dietilénico	r	-
Etilico	r	-
Etilenglicol monoetilico	r	-
HIDROCARBUROS		
Benceno	r	r
Ciclohexano	R	R
Etilbenceno	r	r
Heptano	r	r
Hexano	r	r
Naftaleno	R	R
Tolueno	r	-
Xileno	r	-

	20 °C	60 °C
Disulfuro de carbono	r	-
Nitrobenceno	R	r
HIDROCARBUROS HALOGENADOS		
Cloruro de bencilo	r	-
Bromobenceno	-	-
Tetracloruro de carbono	r	-
Cloroformo	r	-
Dicloruro de etileno	-	-
Percloroetileno	-	-
Cloroetanol	R	R d
Cloruro de metileno	r	r
Dicloroetano	r	r
Tetrabromuro de acetileno	r	-
Tetracloroetano	R	-
Tricloroetileno	r	-
CETONAS		
Acetona	R	R
Diisobutilcetona	R	r
Metiletilcetona	R	r
ACEITES Y COMBUSTIBLES		
ASTM Nº 1	R	
ASTM Nº 2	R	
ASTM Nº 3	R	
ASTM Combustible A	R	
ASTM Combustible B	R	
ASTM Combustible C	R	

R : RESISTENTE

r : RESISTENCIA MODERADA Hinchamiento 3-8 %, Pérdida de peso 0,5-5%
Disminución alargamiento de desgarre 25 % aprox.

- : NO RECOMENDABLE

d : DECOLORACION

Ubicación del rango de PE para geomembranas

La elección de un densidad determinada surge de un balance entre dos propiedades: resistencia química y resistencia al resquebrajamiento por tensiones (ESCR). Al disminuir la densidad mejora el ESCR, pero empeora la resistencia química.

Resistencia al resquebrajamiento bajo tensiones (ESCR)

Este ensayo se realiza sumergiendo una probeta tensionada en un agente tensioactivo a una dada temperatura; esta sustancia penetra entre las cadenas moleculares produciéndose un hinchamiento del material y posteriormente la ruptura de cadenas moleculares.

Por otro lado el ESCR disminuye con el aumento de densidad, y aumenta con el aumento del peso molecular (menor índice de fluencia).

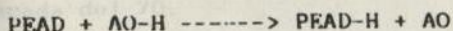
Un PEAD formulado para la fabricación de geomembranas resiste mas de 2000 horas a 70°C (ASTM 1693) sin fallas.

Estabilidad térmica

La macromolécula de PEAD es inherentemente resistente a la oxidación, pero de todas formas, es necesario agregar estabilizantes para una correcta protección ya que el PEAD puede descomponerse por oxidación térmica o pirólisis a 400 °C.

Una herramienta de uso común para determinar el grado de

protección de una geomembrana es el tiempo de inducción (OIT). El OIT es el tiempo en el que se completa la siguiente reacción:



La medición se realiza comúnmente mediante un DSC (Calorímetro Diferencial de Barrido).

Resistencia a la intemperie

Para su uso en geomembranas, el polietileno de alta densidad se aditiva con un 2,5 % de negro de humo que, con la dispersión y tamaño de partícula adecuados, lo hace resistente a la acción degradante de la luz ultravioleta y, por lo tanto, apto para exposición prolongada a la intemperie. No contiene cargas o aditivos que puedan migrar a la superficie y afectar las propiedades mecánicas.

Las membranas de PEAD deben resistir las mas duras condiciones climáticas. El negro de humo actúa como pantalla a los rayos ultravioletas. Si el material tiene vetas o zonas sin pigmentar, estas pueden ser atacadas por los rayos UV haciendo perder a la membrana sus propiedades. Esta es la razón por lo que una excelente dispersión de negro de humo es fundamental en una lámina de calidad.

La composición molecular del PEAD contiene solo átomos de carbono e hidrógeno. Por eso es que, si se produce la combustión completa de las membranas, estas desprenden dióxido de carbono y vapor de agua, pero ningún gas corrosivo.

Además el PEAD posee un excelente comportamiento entre -40 y +60 °C. Según ensayos realizados en organismos oficiales, no se obtuvieron cambios en sus propiedades físicas (resistencia a la tracción en el punto de cedido, elongación en el punto de cedido, resistencia a la tracción a la rotura y elongación a la rotura) en recubrimientos de PEAD expuestos a la intemperie durante ocho años (con un total de 13.000 horas de radiación solar).

Comportamiento a largo plazo en relación a la carga mecánica

a) Resistencia a los cambios de temperatura

Durante la colocación del revestimiento en el terreno, la superficie expuesta de la membrana sufre ciertas deformaciones y tensiones dependiendo de la temperatura externa y la radiación solar. Estas tensiones son simuladas e intensificadas en el laboratorio: se somete una probeta con una elongación del 5% a cambios de temperatura entre +90 y -30 °C con un ciclo de dos horas. Una membrana de PEAD soporta perfectamente esta prueba durante 300 ciclos, aún en las zonas de soldadura.

b) Comportamiento bajo carga de compresión constante

Los materiales colocados dentro de los depósitos causan una elongación compresiva en la membrana. Además tiene que soportar una tensión adicional resultante de la fricción. Una vez que el relleno está completo, existe una tensión constante que es perfectamente absorbida por una membrana de PEAD.

Propiedades físicas

El polietileno de alta densidad aventaja claramente en propiedades físicas a los demás materiales de aplicación en geomembranas en cinco puntos claves:

- Elongación a la rotura
- Resistencia a la tracción
- Resistencia al desgarrar
- Resistencia al punzado
- Permeabilidad al vapor

A continuación se indican las propiedades típicas de una membrana de PEAD de 1 mm de espesor:

Resist. a la tracción (pto. de rotura)	4500 psi	ASTM D-638
Resist. a la tracción (pto. de cedido)	2700 psi	ASTM D-638
Elongación (pto. de cedido)	12 %	ASTM D-638
Elongación (pto. de rotura)	> 800 %	ASTM D-638
Módulo secante al 1 %	80000 psi	ASTM D-638
Módulo de elasticidad	100000 psi	ASTM D-882
Resistencia al rasgado por iniciación	850 lb/pulg	
Resistencia al rasgado por propagación	900 lb/pulg	
Resistencia al punzado	30 lb	FIMS 101
Resistencia Mullen	310 psi	ASTM D-3786
OIT a 200 °C	100 minutos	ASTM D-3895

Técnicas de procesamiento

En general las membranas se pueden fabricar en distintos largos y anchos, dependiendo de las especificaciones de la ingeniería del proyecto en cuestión.

Básicamente se utilizan tres técnicas de procesamiento, a saber:

1 - Extrusión por soplado: mediante líneas de película soplada se pueden fabricar membranas con espesores de hasta 1,5 mm. Uno de los principales inconvenientes de la extrusión-soplado es la dificultad de fabricación de películas de gran espesor debido al efecto de la gravedad (la película se sopla verticalmente y es difícil estabilizar la burbuja en espesores grandes). Otra desventaja de este proceso es que las tolerancias de los espesores suelen ser amplias (+/- 5-10%) juntamente debida a la dificultad de estabilizar el proceso.

2 - Extrusión plana: Por medio de un cabezal de extrusión plana se pueden fabricar planchas de espesores entre 0,5 y 5 mm con tolerancias muy estrechas.

Consideraciones sobre otros materiales de impermeabilización

PVC

Las membranas de PVC se caracterizan por tener una buena flexibilidad. Pero el PVC puro es de naturaleza rígida. Esta flexibilidad solamente puede lograrse mediante el agregado de plastificantes. Presentes en el PVC en una proporción aproximada de 30 % en peso o más, entonces plastificantes son compuestos de bajo peso molecular como los aceites.

Estos plastificantes de bajo peso molecular tienden a migrar desde la estructura interna a la superficie de la membrana a causa del calor, solventes comunes, agentes químicos presentes en los suelos y esfuerzos a los que se ve sometida la membrana. Con el tiempo, esta migración provoca fragilidad y pérdida de las propiedades mecánicas de la membrana, que se torna quebradiza. Los plastificantes son también susceptibles de ser ingeridos como alimento por roedores y distintos microorganismos.

ARCILIAS

Las arcillas, como material impermeabilizante en contacto con solventes orgánicos, vienen siendo cuestionadas en USA desde fines de la década del 70.

Por años se supuso que las capas de arcilla con una permeabilidad de 10^{-7} cm/seg eran la solución mas aceptable técnica y económicamente.

Las regulaciones publicados por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (USEPA) desde principios de los años 80 ponen énfasis en el uso de geomembranas plásticas como barreras de contención, cuestionando así el uso de la arcilla en contacto con residuos peligrosos.

Este juicio se basa en un conjunto de investigaciones que señalan la pérdida gradual de impermeabilidad de la arcilla en contacto prolongado con diversas sustancias químicas.

Por ejemplo:

- Programa de Investigación de la USEPA "Impacto de los solventes orgánicos en la integridad de las barreras impermeables de arcilla para piletas de residuos industriales: Impacto en la contaminación de las napas de agua subterránea" - 1979. Se estudió el impacto de residuos industriales en la permeabilidad de distintos tipos de arcillas. La conclusión fue: "Los solventes orgánicos mas frecuentemente encontrados en los residuos industriales pueden tener significativo impacto en la capacidad de las arcillas de retener estos líquidos residuales".

- "Efecto de los fluidos orgánicos en la permeabilidad de las barreras de arcilla" firmado por Brown & Green de la Universidad de Texas - 1982. Explora cuál es el mecanismo de la falla. el objetivo fue evaluar la permeabilidad de la arcilla en contacto con materiales orgánicos. Resultado: la permeabilidad de todos los tipos de arcilla aumenta significativamente después de contactos prolongados con acetona, ácido acético, anilinas, etilen glicol, metanol, xileno y heptano entre otros. Conclusión: "La permeabilidad es la variable fundamental para evaluar la aptitud de la arcilla como elemento impermeabilizante. En el pasado, la permeabilidad de las arcillas se determinaba usando como patrón una solución acuosa de SO_4Ca 0,01 N. Como las arcillas deben exponerse a fluidos orgánicos, se desarrolló una nueva norma que permitiera comparar los efectos de estas soluciones con los de los fluidos orgánicos sobre la permeabilidad de la arcilla.

Cuatro de los tipos de arcilla usados en este estudio, cuando se evaluaron por el método tradicional del SO_4Ca , daban una permeabilidad menor que 1×10^{-7} cm/seg que las hacía aptas para su uso en contacto con residuos industriales peligrosos.

Pero estas mismas arcillas, sufrieron severos aumentos de permeabilidad cuando se testearon, en capas de hasta tres pies de espesor, en contacto con fluidos orgánicos basicos, neutrales polares y neutrales no polares, demostrando falta de aptitud para exponerse a ácidos orgánicos concentrados.

En síntesis, éstos y otros documentos cuestionan el uso de materiales arcillosos sin una correcta evaluación de su compatibilidad con los fluidos que se pretende contener.

Las arenas estabilizadas con cemento tampoco son útiles en medios ácidos.

Conclusiones

El polietileno de alta densidad es extremadamente resistente a los agentes químicos y derivados del petróleo. Tiene alta resistencia al punzado y rigidez. Cuando se lo usa en membranas se lo aditiva de modo tal que resista prolongadas exposiciones a la intemperie. No contiene ningún tipo de plastificantes, es químicamente inerte y estable. Es resistente a la absorción de solventes que provocan hinchamiento y la consecuente pérdida de propiedades mecánicas.

En Alemania, la BAM (Bundesanstalt für Materialforschung und Prüfung, Berlín) especifica a partir de febrero de 1992 que las geomembranas a usarse en contacto con residuos industriales peligrosos deben ser de polietileno de alta densidad, dado que este material ha demostrado ser el que reúne las mejores características para esta aplicación. La BAM especifica asimismo un espesor mínimo de 2,5 mm para estas membranas. En casos especiales, como ser la deposición de compuestos orgánicos aromáticos clorados, la BAM especifica espesores de 3 mm.

El ataque químico depende de la temperatura, tiempo de contacto, concentración y composición del medio agresivo. Es siempre conveniente que se realicen tests de inmersión en el momento del diseño de cada proyecto en cuestión para confirmar la efectividad del material seleccionado. Para la mayoría de las aplicaciones, una inmersión de la muestra en el líquido a contener por aproximadamente 30 días proporcionará una buena indicación de la compatibilidad del material. Este test puede hacerse fácilmente en laboratorio y debe aproximarse lo mas fielmente posible a las condiciones reales en campo.

Pasados los 30 días, las muestras se retiran de la inmersión, se pesan para determinar si han absorbido fluido y finalmente se someten a una serie de tests para detectar si ha habido cambios en las propiedades físicas del material. Si ha ocurrido deterioro severo, es indicador de que el material no es apto para la aplicación en cuestión. Si los residuos a contener son extremadamente riesgosos, puede extenderse la duración de estos ensayos. Existen tests de envejecimiento acelerado, pero por lo general son costosos.

4 - PEAD: TECNICAS DE SOLDADURA

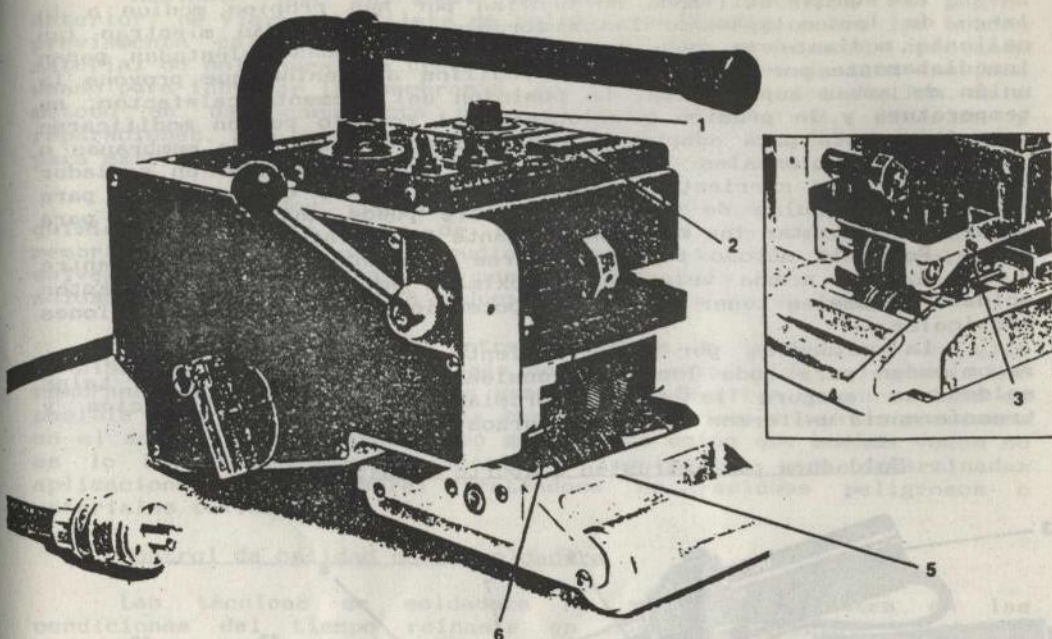
Las técnicas de soldadura en campo para polietileno de alta densidad se desarrollaron a principios de los años 70. Las constantes verificaciones de estas técnicas mediante programas de calidad hacen posibles las uniones que respondan a los requerimientos físicos, químicos y biológicos de idéntica manera que la membrana propiamente dicha.

A diferencia del PVC o CSPE, el polietileno de alta densidad no admite unión mediante uso de adhesivos ya que presenta una muy fuerte resistencia química a los solventes presentes en estos adhesivos.

Las membranas de polietileno de alta densidad se sueldan en obra mediante dos métodos principales:

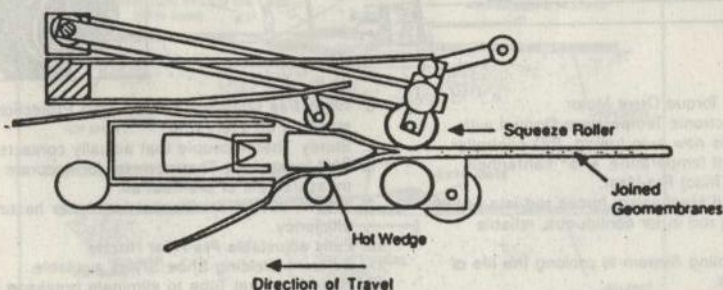
- Soldadura por cuña caliente o elemento calefactor

Consiste en fusionar superficies de revestimiento opuestas utilizando una cuña caliente que pasa entre las membranas, seguida de rodillos de presión que las apretan. En la página siguiente se muestra un equipo de estas características y un croquis que muestra su principio de funcionamiento.



Fast easy Set Up • Ball Bearing Construction Throughout • All Stainless Steel Shafts
Split or Solid Wedge and Nip Rollers Available • Ask About our Lease Program

- 1 Top-of-the-Line Watlow PID (Proportional, Integral and Derivative) Temperature Control.
- 2 LCD Temperature Read-out—Visible Even in Direct Sunlight.
- 3 Plated Cast Aluminum Heat Wedge—with Rack-and-Pinion Movement.
- 4 Wedge and Contour Rollers with Quick, Easy Adjustments.
- 5 Solid One-Piece Flex-Free Frame.
- 6 Pre-Set Load-to-Thickness Settings.

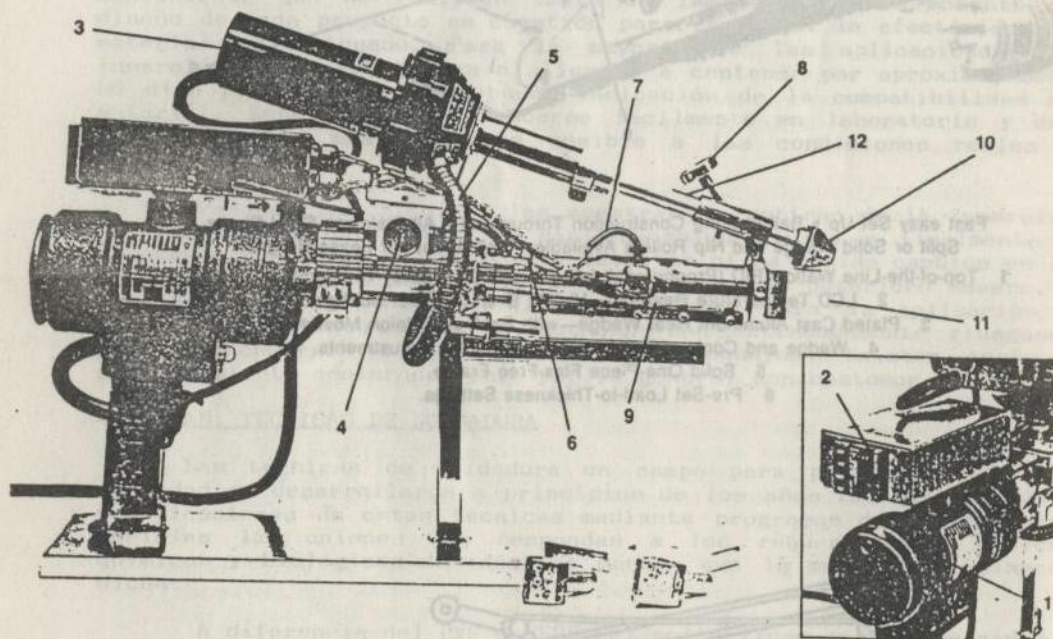


El equipo utilizado se desliza por sus propios medios a lo largo de las solapas de las membranas a ser unidas mientras las calienta mediante la cuña metálica. Las membranas calentadas pasan inmediatamente por el sistema de rodillos a presión que provoca la unión de ambas superficies. La posición del elemento calefactor, su temperatura y la presión y velocidad del rodillo pueden modificarse automáticamente para adaptarse a distintos espesores de membranas o condiciones ambientales. Puede montarse sobre el equipo un soplador que dirige una corriente de aire camino arriba del soldador para eliminar partículas de polvo. Este aire puede usarse también para secar o precalentar las membranas durante frios intensos.

Por este método pueden soldarse membranas de espesores entre 0,5 y 3,5 mm a una velocidad aproximada de 4,5 mts/minuto. Estos soldadores suelen tener suficiente potencia como para soldar uniones verticales.

La soldadura por cuña caliente o elemento calefactor se recomiendan para toda longitud considerable. La geometría de tales soldaduras asegura la unión apropiada para la distribución y transferencia uniformes de los esfuerzos.

- Soldadura por extrusión o aporte de material



1. High RPM, High Torque Drive Motor.
2. Programable Electronic Temperature Control with LED readout. This new auto tuning, PID controller maintains pinpoint temperature $\pm 5^\circ$ Fahrenheit.
3. Reliable Leicester (Triac) Pre-Heat.
4. Positive Rod Feed Mechanism forces rod into barrel instead of pulling rod in for continuous, reliable operation.
5. Exclusive Air Cooling System to prolong the life of vital moving parts.
6. Worry-free Mechanical Cold Start Protection is standard on every unit.
7. Sturdy Thermocouple that actually contacts extrudate.
8. Well located Air Thermometer for accurate measurement of pre-heat air.
9. 1300W, 220V Heat Blanket for higher heating efficiency.
10. Fully adjustable Pre-Heat Nozzle.
11. Different Welding Shoe Styles available.
12. Rigid Pre-Heat Tube to eliminate breakage.

Mediante una extrusora de mano (ver detalles en página anterior) se vierte un filete de polietileno fundido sobre los bordes previamente calentados y esmerilados de las membranas, aportando material de soldadura. Se trata del mismo polietileno de alta densidad usado para fabricar las membranas, por lo que se integra a ellas. Este método se usa comúnmente para uniones secundarias, detalles y reparaciones. Las extrusoras de mano suelen tener boquillas especiales para extrudar distintos anchos de filete o para soldar en ángulo.

Ambos métodos generan uniones que ofrecen una resistencia química equivalente a la de las membranas. No existe entre las membranas una interfase que pudiese ser afectada por la absorción de solventes. Las membranas se unen en una sola masa homogénea. La soldadura es tan resistente y durable como la misma membrana.

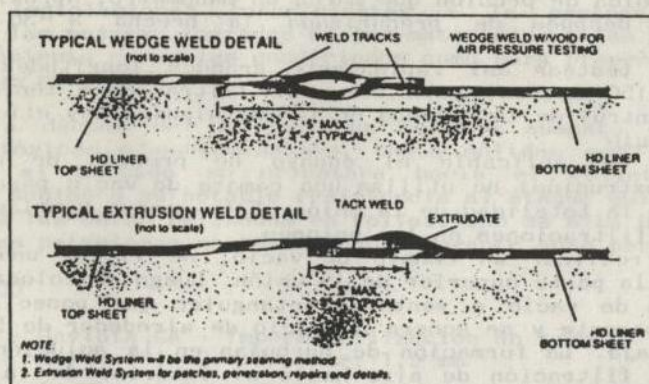
Esta unión homogénea entre membranas de polietileno de alta densidad es la principal ventaja de estos métodos de soldadura. Las membranas de PVC o CSPE por lo general se adhesivan en obra. Esto es posible dado que presentan baja resistencia a los solventes presentes en el adhesivo. Este adhesivo genera una unión que muchas veces no es lo suficientemente resistente o impermeable para determinadas aplicaciones, en especial tratándose de residuos peligrosos o materiales tóxicos.

Control de calidad de la soldadura

Las técnicas de soldadura no son independientes de las condiciones del tiempo reinante en obra. El viento, humedad y temperatura deben ser vigiladas y los equipos deben ajustarse automática o manualmente a estas condiciones.

Se realizan ensayos destructivos y no destructivos para verificar la estanqueidad y resistencia de la soldadura. La resistencia mecánica de la soldadura se ensaya mediante un método destructivo que consiste en la remoción a intervalos regulares de muestras con el objeto de verificar su resistencia. Las zonas testeadas son posteriormente reparadas mediante un parche soldado por extrusión.

En la figura siguiente vemos un corte de la soldadura por cuña caliente (Wedge Weld) y por extrusión donde se aprecia el perfil típico de cada una.



Ensayos destructivos

La USEPA aconseja realizar ensayos destructivos a todas las uniones cuando se trata de residuos industriales peligrosos. Las muestras cortadas de soldaduras realizadas en obra son testeadas en campo o en laboratorio bajo normas ASTM (D 638: ensayo de corte y D 413: ensayo de laminación o desprendimiento). Además de verificar la efectividad de la soldadura, estos ensayos son útiles para establecer adecuadamente las condiciones de soldadura antes de comenzar la tarea y después de cada intervalo.

El ensayo de corte aplica un esfuerzo de tracción desde la placa superior a través de la soldadura y dentro de la placa inferior.

El ensayo de laminación intenta desprender el borde solapado de la placa inferior apartándola de la placa superior para observar si tiene lugar la separación. El ensayo de laminación indica si las placas se encuentran soldadas en la unión de modo continuo y homogéneo.

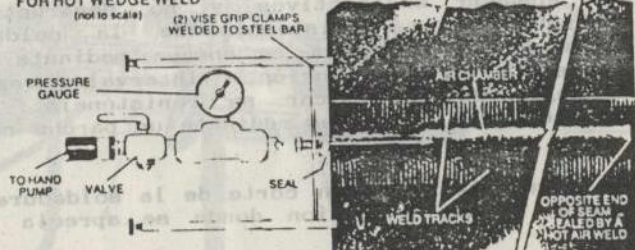
El ensayo se considera efectivo si el desgarre se produce en la superficie de las placas superior o inferior y no genera separación en la soldadura.

Ensayos no destructivos

De presión

Se realiza sobre las soldaduras por cuña caliente. La cuña y el rodillo que aplica la presión poseen una canaleta, en su parte central que origina un doble carril o cordón de soldadura con una brecha o túnel en el medio. Este ensayo no destructivo consiste en, una vez obturadas ambas bocas de la brecha, inyectar aire a presión mediante la inserción de una aguja o sonda y una bomba manual.

SEAM AIR PRESSURE TEST
FOR HOT WEDGE WELD
(NOT TO SCALE)



Se detectan las posibles filtraciones (fallas en la soldadura) mediante la pérdida de presión que marca un manómetro, aproximadamente cinco minutos después de presurizada la brecha a 30 lb/pulg² aproximadamente.

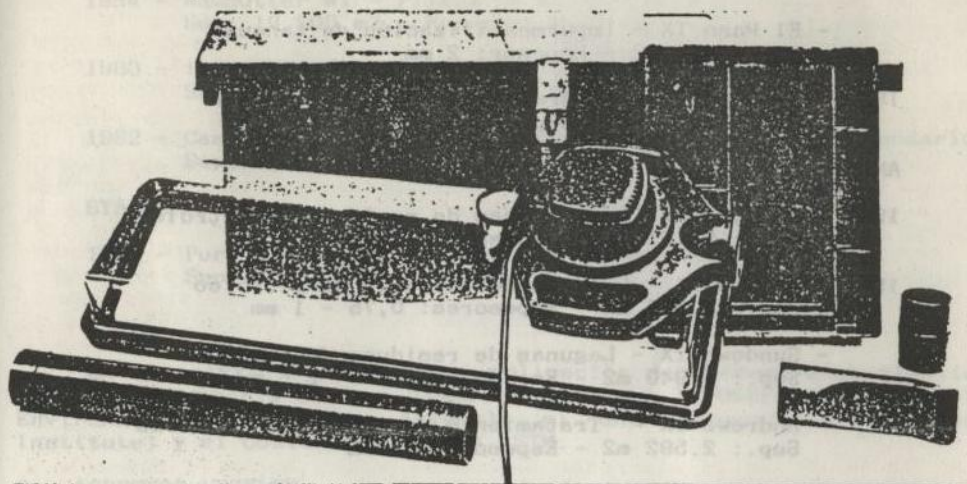
Se pueden testear así rápidamente grandes longitudes soldadas (alrededor de 150 metros) para observar filtraciones teniendo como resultado un control de la calidad de la instalación muy eficiente.

Caja de vacío

Cuando no es aplicable el ensayo de presión de aire (Ej: Soldadura por extrusión) se utiliza una cámara de vacío para realizar el ensayo sobre la totalidad de la unión. Este ensayo también confirma que no existen filtraciones en las uniones.

A fin de realizar un ensayo de vacío, se vierte una solución jabonosa sobre la parte superior de la unión. Luego se coloca sobre la unión una caja de vacío o ventosa rectangular que posee una pared superior transparente y se genera un vacío de alrededor de 5 lb/pulg² dentro de la caja. La formación de burbujas en la solución jabonosa indica que hay filtración de aire hacia el interior de la caja y a través de la soldadura, delatando así hasta la mas pequeña perforación o defecto de la misma. En la próxima figura se puede apreciar un

equipo de estas características.



5 - EVOLUCION DEL MERCADO NORTEAMERICANO DE GEOMEMBRANAS PLASTICAS

MATERIALES	MILES DE TONELADAS	
	1985	1990
Polietileno	15,6 (41%)	59,9 (57%)
PVC	9,1 (24%)	27,3 (26%)
CSPE (Hypalon)	9,5 (25%)	13,6 (13%)
Otros	3,8 (10%)	4,2 (4%)
TOTAL	38	105

El mercado norteamericano de geomembranas plásticas consumió 105.000 toneladas de compuestos poliméricos en 1990. Casi el 60 % de este volumen es Polietileno, seguido por PVC flexible, CSPE y otros polímeros. Después de haberse triplicado en los últimos cinco años, continúa en franca expansión.

Las legislaciones concernientes a la protección del medio ambiente, las mejoras logradas en los materiales y las nuevas técnicas de procesamiento crean las condiciones como para prever que esta cifra se duplique para 1995.

En la década del 80 hubo un notable aumento del volumen de desechos tóxicos o contaminantes, tanto sólidos como líquidos. Esto hizo que el mercado se orientara hacia el Polietileno de Alta Densidad, debido a su notable resistencia al ataque químico. Estas son algunas de las obras realizadas en Polietileno de Alta Densidad por las principales petroleras norteamericanas durante este período:

TEXACO

1987 - Gaviota CA - Impermeabilización de tanques
Sup.: 181 m² - Espesor: 1,5 mm

CHEVRON

1986 - El Paso TX - Contención secundaria de tanques subterráneos

Sup.: 26.756 m² - Espesores: 1 - 1,5 mm

- El Paso TX - Impermeabilización de tanques
Sup.: 554 m² - Espesor: 2 mm

1985 - El Paso TX - Impermeabilización de tanques
Sup.: 1851 m² - Espesor: 2 mm

AMOCO

1986 - Wood River IL - Lagunas de residuos de petróleo.
Sup.: 52.615 m² - Espesor: 1,5 mm

1984 - Winnie TX - Lagunas de residuos de petróleo
Sup.: 4.473 m² - Espesores: 0,75 - 1 mm

- Sundown TX - Lagunas de residuos de petróleo
Sup.: 6.940 m² - Espesores: 1,5 - 2,5 mm

- Andrews TX - Tratamiento de efluentes líquidos
Sup.: 2.592 m² - Espesor: 2,5 mm

PHILLIPS PETROLEUM

1986 - Borger TX - Lagunas de residuos de petróleo
Sup.: 6.129 m² - Espesor: 2,5 mm

1984 - Crane TX - Tratamiento de soluciones salinas
Sup.: 878 m² - Espesor: 1,5 mm

- Borger TX - Lagunas de evaporación
Sup.: 68.971 m² - Espesor: 2,5 mm

- Borger TX - Tratamiento de soluciones salinas
Sup.: 2.884 m² - Espesores: 2 - 2,5 mm

1983 - Borger TX - Tratamiento de soluciones salinas
Sup.: 1.356 m² - Espesor: 1 mm

Borger TX - lagunas de evaporación
Sup.: 27.388 m² - Espesores: 2 - 2,5 mm

MOBIL OIL

1986 - Andrews TX - Impermeabilización de tanques
Sup.: 10.786 m² - Espesores: 0,75 - 1,5 - 2 mm

SHELL OIL

1982 - Scotford, Canadá - Pileta de efluentes
Sup.: 42.921 m² - Espesor: 1 mm

GULF

1983 - Penwell TX - Piletas para agua de purga
Sup.: 4.060 m² - Espesores: 1,5 - 2,5 mm

1982 - Robb, Canadá - Piletas de efluentes
Sup.: 15.050 m² - Espesor: 1 mm

EXXON

1984 - Grand Junction CO - Pileta de efluentes
Sup.: 3.319 m² - Espesor: 2 mm

MARATHON OIL

1984 - Wamsutter WY - Pileta de efluentes
Sup: 19.509 m² - Espesor: 0,75 mm

1983 - Irran TX - Lagunas de residuos de petróleo
Sup.: 465 m² - Espesor: 1,5 mm

1982 - Casper WY - Contención subterránea en tanques secundarios
Sup.: 418 m² - Espesor: 0,5 mm

STANDARD OIL

1986 - Port Lavaca TX - Almacenaje de combustible
Sup.: 5.317 m² - Espesores: 1,5 - 2 mm

La normalización del uso y aplicación de geomembranas plásticas está en la mayoría de los casos dictada por la USEPA (United States Environmental Protection Agency), el GRI (Geosynthetic Research Institute) y el Comité D-35 de la ASTM.

6 - ASPECTOS LEGALES

Se destacan a continuación los párrafos de las reglamentaciones vigentes que hacen referencia al uso de geomembranas plásticas.

Secretaría de Energía

Resolución 105/92

Anexo I

Artículo 3.2.7 "Manejo de los desechos, fluidos de perforación y terminación"

"En caso de que se compruebe la presencia de acuíferos dulces en el subsuelo, las piletas de lodo y residuos deberán ser revestidas con láminas plásticas removibles"

"Cuando los desechos se consideran "peligrosos", situación en la que están comprendidos los originados en la perforación con lodo a base de petróleo y lodos con aditivos a base de cromo, fluidos de terminación con sales de bromo o cualquier otro producto que, acorde con las recomendaciones de uso de sus fabricantes, sea considerado como tal, se deberán seguir las siguientes prácticas:

- En áreas donde el lodo a base de petróleo es de uso circunstancial o para sólo una fracción del intervalo a perforar -capas de sal hasta haber sido atravesadas y protegidas por una entubación, por ejemplo-, puede excavar en tierra una represa adicional debidamente impermeabilizada. En ella se volcará el "cutting" y los excedentes.

En la operación con represas o piletas impermeabilizadas con lámina plástica se requiere se indique al personal de operación tener la precaución de no romper la lámina con herramientas y protegerla debidamente en los bordes donde se tenga que accionar o transitar" (*)

(*) Este riesgo se minimiza significativamente usando geomembranas de polietileno de alta densidad de espesores mayores a 1 mm.

Artículo 3.2.9 "Almacenaje de combustible e hidrocarburos líquidos de ensayo. Manejo de gases de ensayo y agua salada"

"Si el recinto está excavado en terrenos permeables y/o

absorbentes, se impermeabilizará con una capa de arcilla el fondo y bordes. De existir napas de agua dulce en el subsuelo que corran el riesgo de ser contaminadas por filtración de una posible pérdida, se lo impermeabilizará con una lámina plástica."

Artículo 4.2.5 "Agua de producción"

"El material extraído durante la construcción de las piletas debe ser compactado en los bordes laterales para evitar que la fracción arcilla caiga al fondo de las mismas reduciendo su eficiencia o revestir los bordes con láminas plásticas. Los taludes de las piletas no deben superar los 45º y deberán ser cercados con vallas de hilos de alambre para evitar el acercamiento del ganado."

RESIDUOS PELIGROSOS

Decreto 831/93

Reglamentación de la Ley Nº 24.051

Capítulo VI - Plantas de Tratamiento y Disposición Final

Artículo 33

Punto II) Impermeabilización de base y taludes: drenajes

A fin de evitar la migración de contaminantes hacia el subsuelo y aguas subterráneas, un Relleno de Seguridad debe poseer:

A) Barreras de material de muy baja permeabilidad recubriendo el fondo y taludes laterales.

B) Capas drenantes a fin de colectar y conducir flujos no deseados.

Esta combinación de barreras de baja permeabilidad empleados pueden ser:

- Suelos compactados de baja permeabilidad: existentes naturalmente o bien logrado en base a mezclas con bentonita.

- GEOMEMBRANAS: son membranas de baja permeabilidad usadas como barreras contra fluidos.

Ejemplo típico de geomembranas empleadas en el manejo de residuos peligrosos incluyen: HDPE (polietileno de alta densidad)

LLDPE (polietileno de baja densidad)

PVC (geomembranas de polivinilo)

CSPE (polietileno clorosulfonado)

- Sistemas de impermeabilización dobles y compuestos.

Punto III) REQUERIMIENTO DE DISEÑO

La estanqueidad de un relleno de seguridad debe estar asegurada por un sistema de doble impermeabilización, constituido por dos o mas revestimientos de baja permeabilidad y sistemas de colección y extracción de percolados: SCR (arriba de revestimiento superior), y SDCR (entre ambos revestimientos).

Los "requerimientos tecnológicos mínimos" especificados por la U.S.EPA para nuevos rellenos de seguridad y embalses superficiales, requieren un sistema de doble impermeabilización con un sistema de colección y extracción de líquidos (SCR) y un sistema de detección, colección y remoción (SDCR) entre ambas capas impermeables.

La guía de requerimientos de tecnología mínima identifica dos sistemas dobles de impermeabilización aceptables:

a) DOS REVESTIMIENTOS DE GEOMEMBRANAS CON UN ESPESOR MÍNIMO DE 30 MIL (0,76 MM) PARA CADA UNA.

Si la geomembrana se halla expuesta y no es cubierta durante la etapa constructiva en un plazo inferior a tres meses, EL ESPESOR DEBE SER IGUAL O MAYOR A 45 MIL (1,15 MM).

La guía indica que ESPESORES DE 60 MIL A 100 MIL (1,52 A 2,54 MM) PODRIAN SER EXIGIDOS PARA RESISTIR DIFERENTES CONDICIONES.

En cualquier caso el diseño de ingeniería debería contemplar que algunos materiales sintéticos podrían necesitar mayores espesores para prevenir fallas o para ajustarse a los requerimientos de soldadura entre paños de geomembranas.

La compatibilidad química de los materiales geosintéticos con los residuos a depositar, debería ser probada empleando el EPA Method 9090.

b) El revestimiento inferior, que sustituye a la segunda membrana, puede estar conformado por suelo de baja permeabilidad. El espesor del suelo (que actúa como segunda capa impermeable) depende del sitio y de condiciones específicas de diseño, sin embargo no debería ser inferior a 36 inch (90 cm) con un KF menor o igual a 1×10^{-7} cm/seg.

La membrana superior tiene que cumplir las mismas recomendaciones mínimas en cuanto a espesor y compatibilidad química como se mencionó en a).

Lic. Liliana E. Pagliano
Ing. Alejandro E. De Gasperi

Bibliografía: "Impermeabilización de Suelos con Geomembranas Plásticas" - (Pagliano/De Gasperi) Editado por el Instituto Argentino de Impermeabilización, 1991.

"Inspection Techniques for the Fabrication of Geomembrane Field Seams" - USEPA, mayo 1991.

"Hidrocarburos" resolución 105/92 - Secretaría de Energía - Boletín Oficial 18/11/92.

"Residuos Peligrosos" decreto 831/93 - Boletín Oficial 3/5/93.

"CQA/CQC Training" - National Seal Company, 1992.

"Lining of Waste Containment and Other Impoundment Facilities" - USEPA, septiembre 1988.

"Modern Plastics International" - Edición de febrero 1991.

"European Plastics News" - Edición de julio-agosto 1991.

"Design, Construction, and Operation of Hazardous and Non-hazardous Waste Surface Impoundments" - USEPA, junio 1991.

"Crecimiento en el mercado de geomembranas plásticas" (Pagliano) - Novedades Ipako, setiembre 1991.