

.... con el agua no se juega, parte I

por Harro Draheim, Dipl. Ing. CELESUR

Este lema es el referente para una serie de artículos en torno al agua y el Medio Ambiente, visto desde el sector productivo de la impermeabilización.

El agua acumulada en la superficie terrestre (lagos, ríos, otros lugares) o debajo de la misma (de forma freática o en acuíferos), nuestro máximo bien común, necesario para todo tipo de vida en nuestro globo, corre peligro de contaminación si no somos respetuosos con él, conservando el Medio Ambiente, en particular el de su entorno.

En línea con la editorial de esta revista "Agua@Ambiente" trataremos por parte del sector productivo, dedicado a la construcción y obras de ingeniería donde se emplean impermeabilizaciones, acercar al lector interesado a la problemática de la conservación del Medio Ambiente, evitando la posible contaminación del agua, originada por fluidos y materiales peligrosos no controlados.

El estado de las tecnologías actuales con sus modernas formas de aplicación de las mismas, permiten a nuestro sector de la construcción e ingeniería especializada afrontar de forma eficaz, la conservación del Medio Ambiente y con ello proteger el agua necesaria para la vida, contra la contaminación donde sea apropiado y necesario.

Por otra parte, a consecuencia de la cada vez mayor densidad de la población, en muchas partes, el espacio disponible de las reservas del agua, se encuentra en peligro de alguna acción contaminante, causada por el hombre o la sociedad en general.

En prevención y protección del agua y su espacio medioambiental, cuando la sociedad o industria pretende la instalación de actividades, que pueden causar contaminación al mismo, exige el legislador o la administración competente, la intervención de la ingeniería especializada para evaluar, en el marco de la legislación vigente los riesgos, y proponer soluciones de protección del Medio Ambiente, en aplicación de las tecnologías modernas.

Ilustrar e informar sobre dichas tecnologías, que correctamente aplicadas, dentro de un esquema de Control de Calidad apropiado, evitan la contaminación del agua y su entorno medioambiental o conservan el mismo, es el propósito de esta serie de artículos.

1. LA PROTECCIÓN DEL AGUA acumulada en el subsuelo, EL MEDIO AMBIENTE, su cuidado y conservación.

Ámbitos de protección del Medio Ambiente mediante la impermeabilización son:

- los vertederos de residuos urbanos, de residuos sólidos que produce la industria;
- de aguas residuales o contaminadas procedentes de una multitud de orígenes.
- cierres o clausuras de vertederos.

Otros ámbitos de la aplicación de la impermeabilización son:

- canales, acequias;
- embalses;
- obras de ingeniería y de construcción.

Luego tenemos la aplicación de geosintéticos en el ámbito del Medio Ambiente:

- para la conservación paisajista;
- estabilización de taludes;
- evitando la erosión de áreas de paisaje y facilitar su revegetación;
- estabilización de las orillas de ríos, flujentes, canales, etc...

Las tecnologías, que usa el sector para dar soluciones a la distinta problemática que encontramos en estos ámbitos, incluye la utilización de una gama de productos geosintéticos por sí solos, o en combinación con otros materiales (hormigón, arcilla, tierras, etc.).

Dichos geosintéticos, resultado de la investigación por parte del sector científico o la industria, cuya calidad y su eficacia ha sido experimentadas, en gran parte, a lo largo de las últimas tres décadas.

2. LOS PRODUCTOS MÁS USADOS EN LA TECNOLOGÍA DE LA IMPERMEABILIZACIÓN.

2.1 Impermeabilización con mineral natural.

Lo clásico como material de impermeabilización en la antigüedad y hoy en día, como barrera pasiva de seguridad en los vasos de los vertederos, es la aplicación de grandes capas de mineral natural (arcilla) compactadas, con un coeficiente de permeabilidad $k \leq 10^{-9}$ m/s, donde el suelo no ofrece la impermeabilidad deseada.

Otras formas son pe. hormigones proyectados, conglomerados, asfálticos, etc.

2.2 Impermeabilización con geomembranas sintéticas, de polietileno de alta densidad.

La geomembrana de más aplicación en el mercado de actualidad es la de polietileno de alta densidad (PEAD) y es el material seleccionado preferentemente donde su aplicación requiere dureza y larga durabilidad. Esa razón se basa en sus características particulares, que contienen la mezcla apropiada de resistencia química, resistencia para la exposición atmosférica, resistencia biológica, dureza y durabilidad.

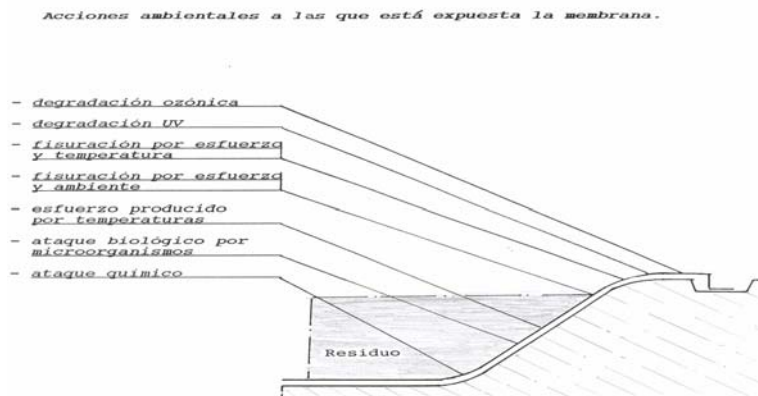


Fig. 1 Acciones a las que la geomembrana puede estar expuesta

Es el material de selección para los forros de los cables transoceánicos de teléfono, tubería de gas, tubería en general, forro de cables eléctricos, tanques modernos de automoción, receptores para basuras peligrosas, impermeabilizaciones de diversas obras de construcción (embalses, vasos de vertederos, recubrimientos o sellado de vertederos) y otros.

Sus primeras aplicaciones en ambiente exterior datan de principios del 1940.

2.2.1 Propiedades y estructura cristalina de la resina de polietileno.

Su estructura molecular y morfología define el polietileno como un material de calidad superior para geomembranas. Es un polímero semicristalino que contiene tres características básicas que determinan sus propiedades de utilidad:

- a) la cantidad y tipo del cristalino,
- b) el peso molecular y su distribución,
- c) la ramificación encadenada controlada (impactos de un tipo de monómeros ligantes, su concentración, el proceso de polimerización)

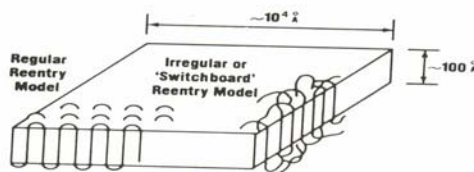
Debido a la interacción de estas variables, las resinas disponibles en el mercado poseen distintas propiedades, que destacan entre sí.

Las cadenas del polietileno tienden a ordenarse en bloques de cristalinidad enrejados. La cantidad cristalina correlaciona con la densidad. A una alta densidad de la resina corresponde una más alta cristalinidad del polietileno. Mas ramificación encadenada reduce la cristalinidad y por lo tanto la densidad.

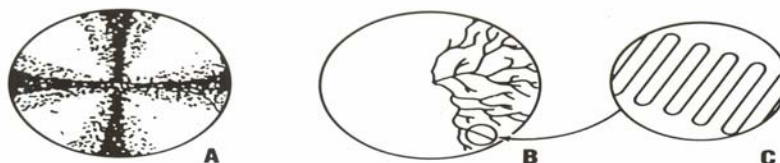
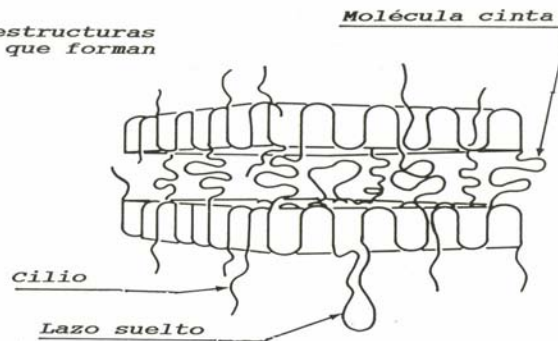
Las moléculas cristalizan plegándose en cadenas de polímeros, formando cintas (lamellae). Estas cintas se agregan creando estructuras mayores, que son lazos sueltos (spherulites). Estos lazos, en cambio crecen, saliéndose del núcleo de forma radial hasta su encuentro de otros lazos. El tamaño, la forma, ordenación e interacción de estos lazos tienen su impacto en las propiedades físicas del polietileno. Diámetros pequeños de dichos lazos correlacionan con una mayor resistencia contra la fisuración por esfuerzos.

La naturaleza cristalina del polietileno es la razón de su magnífica resistencia química. Estructuras cristalinas estrechamente ordenadas constituyen un blindaje efectivo contra la invasión de agentes químicos. Por lo tanto, resinas de alta densidad tienen una mayor resistencia química, que las de baja densidad.

La estructura y morfología molecular definen el mejor material.



Cristal polímero con estructuras encadenadas plegadas, que forman cristales laminares



- (A) *Apariencia esferoide*
- (B) *Ramificaciones de laminas en esferoides*
- (C) *Orientación de cadenas de laminas*

Fig. 2 Estructura y morfología molecular del polietileno

El peso molecular y su distribución son también importantes, en particular cuando se pretende minimizar la fisuración causada por esfuerzos externos. Resinas con estrecha acumulación del peso molecular tienen menos moléculas de bajo peso molecular, que a su vez se congregan en los espacios entre los lazos, por donde se propagan las fisuras.

Una elevada media de peso molecular, tal como lo señala un índice de fluidez bajo, indica cadenas largas de polímeros. Cadenas largas del polietileno suponen la máxima cantidad de moléculas enlace (cadenas que se propagan a través de las regiones amorfas), que se inician y finalizan en las cintas (lamellae) cristalinas. Dichas moléculas enlace, constituyen el mortero que fusiona la estructura cristalina del polietileno.

En resumen, lo anterior subraya, que por parte de cada fabricante de geomembranas de polietileno, es de suma importancia la selección cualitativa de la materia prima. Con dicha selección se determinan a su vez los límites de uso, que tienen ciertas resinas.

2.2.2 Propiedades y aplicación práctica de la resina de polietileno.

Resistencia química:

El polietileno (especialmente el PEAD) es naturalmente inerte y resiste a una amplia gama de componentes químicos, incluido ácidos, básicos, metales pesados, hidrocarburos, sales inorgánicas, detergentes, grasas, aceites naturales, hidrocarburos con cloro y otros.

Resistencia a la exposición:

Durante su exposición en el ambiente exterior, según revelan los ensayos de larga duración, la pérdida de las propiedades mecánicas es mínima en los inicios, mostrando su estabilidad sin más pérdidas durante los años siguientes.

La práctica actual de producción del PEAD especifica el añadido de 2,0 a 3,0 % de carbón negro, que propiamente dispersado en la estructura cristalina ofrece la máxima protección. En la opinión de los expertos, el polietileno así estabilizado, expuesto en zonas de intensa radiación UV, tiene una duración de más de 100 años, siempre que este material haya sido fabricado dentro de las normas de calidad.

Resistencia biológica:

Muchas de las geomembranas, que no se fabrican de polietileno tienen que contener plastificantes para facilitar un estado flexible de las mismas.

Plastificantes son normalmente componentes extraíbles, que son grasas monoméricas y estéreos, que tienden a lixiviarse, causando en consecuencia, que la membrana cambie su estado flexible por otro rígido y frágil. Dicha extracción se produce en presencia de disolventes comunes, como los usados en el servicio doméstico e inclusive en contacto con las tierras.

Un estado frágil de la membrana es el causante de su fisuración y roturas.

Las geomembranas que no son de polietileno, contienen plastificantes, en muchos casos, son comidas o mordidas por roedores y soportan además microorganismos o cultivos de hongos. Los microorganismos, que se alimentan de los plastificantes pueden causar fisuraciones de la membrana. Grasas y estéreos proporcionan alimentos para varias formas vivientes.

El polietileno es flexible por naturaleza y no requiere aditivos plastificantes. En consecuencia membranas de dicho material no pierden su flexibilidad a causa de la extracción de algún aditivo. El hecho de que estas membranas no tienen plastificantes, ni tampoco son alimento por sí mismo, les hace resistentes a roedores y microorganismos.

Resistencia física y dureza:

Las geomembranas de polietileno son por naturaleza resistentes al desgarro, perforación y tracción. Son también resistentes por inherencia al impacto y la abrasión. Por todo esto, la membrana de polietileno se hizo popular en multitud de aplicaciones.

Para el uso e interpretación de dichas características físicas por parte del mercado, cada fabricante de estas geomembranas, facilita su cuadro o ficha técnica, con los datos referentes a resistencias y dureza. Estos datos a su vez son el resultado de ensayos, al amparo de las normas propias, nacionales o internacionales (UNE, ASTM, DIN, etc.) realizados por el laboratorio del fabricante, quien certifica dichos datos en el marco de un esquema de Control de Calidad (ISO 9000, EN 10204, AENOR, ASTM, otros)

2.3 La producción de la geomembranas de polietileno.

Las geomembranas se fabrican por un proceso de extrusión en caliente. La materia prima o resina, un producto de la industria petrolífera, se suministra en granos, aproximadamente del tamaño del arroz. Antes de su utilización pasan los suministros de la granza por un control de calidad. Se comprobarán su limpieza y pureza, luego dicha granza es homogeneizada mediante un proceso térmico, durante el cual se introduce el añadido de carbono negro.

La extrusión se realiza en dos formas:

- con un sistema de boquilla plana, con enfriamiento mediante rodillos refrigerados (de calandrado);
- con un sistema de boquilla circular y torre de enfriamiento;

La extrusión con boquilla plana produce geomembranas con espesores de pequeña tolerancia (+/- 3-5%). Las membranas procedentes de este sistema de extrusión gozan de la homologación de los institutos más exigentes a escala mundial.

La extrusión con boquillas circulares produce geomembranas cuyas tolerancias de espesor cumplen con las exigencias normativas (+/- 10%)



Fig. 3 Conjunto de extrusión con boquilla plana y rodillos de calandrado.



Fig. 4 Conjunto de extrusión con boquilla circular y torre de enfriamiento mediante aire soplado

2.4 El Control de Calidad por parte del fabricante con las geomembranas de polietileno.

A efectos de control y seguimiento en cada obra, el fabricante marca cada panel o rollo con su código de serie de fabricación.

Para el conocimiento de las propiedades físicas por parte del usuario y Certificación del cumplimiento de la Calidad, generalmente irá cada panel de membrana acompañado de un Informe de Ensayos.

| INFORME DE ENSAYOS | | | |
|---|--------------------------------|----------------------------|-------------------------------|
| Rollo nº | BL 3157 DJ | | |
| Fecha de fabricación | 24.05.2002 | | |
| Longitud | 80 m | Ancho | 7,5 m |
| Superficie | 600 m ² | Peso | 1.432 kg |
| Información sobre la resina D02257 | | | |
| Índice de fluidez | DIN EN ISO 1133 190/2,16 190/5 | | 0,75 / 2,02 g/10 min. |
| Densidad | DIN 53479 A | | 0,931 g/cm ³ |
| Humedad | | | 0,06% |
| Propiedades | | | |
| Espesor, medio | DIN EN ISO 2286-3 | | 2,51 mm |
| Mínimo/máximo | | | 2,49 / 2,54 mm |
| Aspecto visual | DIN 16726 | | sin irregularidades |
| Estabilidad dimensional | DIN 53377 | DF/DP | (-0,1 / 0,1) % |
| Índice de fluidez 190/5 | DIN EN ISO 1133 | | 2,2 g/10 min. |
| Esfuerzo en el punto de fluencia | DIN EN ISO 527-3 | DF/DP | 18,8 / 19,1 N/mm ² |
| Alargamiento en el punto de fluencia | | DF/DP | 12,0 / 14,0 % |
| Resistencia a la tracción | | DF/DP | 36 / 40 N/mm ² |
| Alargamiento a la rotura | | DF/DP | 897 / 984 % |
| Contenido en negro de carbono | ASTM D 1603 | | 2,4 % |
| Dispersión del carbono | ASTM D 5596-94 | | Categoría 1 |
| Resistencia inicial al desgarro | DIN 53515 | DF/DP | 154 / 166 N/mm |
| Resistencia mecánica a la perforación | FTMS 101 C/2065 | | 675 N |
| Densidad de la geomembrana | DIN 53479-A | | 0,944 g/cm ³ |
| Notas aclaratorias: DF = Dirección fabricación; DP = Dirección perpendicular a fabricación Verificación de dimensiones de rollo +/- 1% | | | |
| EL VERIFICADOR, visto bueno: | 25.06.2002 | BBE, QS Labor -GSE Rechlin | |

Fig. 5 Informe de Ensayos, Certificación de Calidad del fabricante

Dichos ensayos se realizan normalmente al amparo de las normas (EN, ISO, UNE, DIN, ASTM, otros), que aplica cada fabricante.

Sin entrar en la valoración de los datos técnicos, que muestra cada informe de ensayos, me parece interesante para el lector el comentar un poco la finalidad genérica de estos y de otros ensayos de interés para definir la calidad.

a) MEDICIÓN DEL ÍNDICE DE FLUIDEZ:

El índice de fluidez facilita una indicación sobre el peso molecular, sobre la viscosidad y procesabilidad del material (ventana del campo utilizable de temperaturas en el proceso de soldadura).

b) MEDICIÓN DE LA DENSIDAD DEL MATERIAL DE LA GEOMEMBRANA:

Con la determinación de la densidad del polietileno se pueden predecir algunas condiciones físicas y propiedades del polímero, como pe. su resistencia química.

c) ENSAYOS DE TRACCIÓN:

La resistencia a la tracción es esencialmente una forma de medir el máximo esfuerzo que aguanta la geomembrana hasta su desintegración. El ensayo determina el valor, por unidad, de la resistencia a la tracción hasta su punto de fluencia y hasta la rotura con el alargamiento correspondiente en el punto de fluencia y el máximo en el punto de rotura.

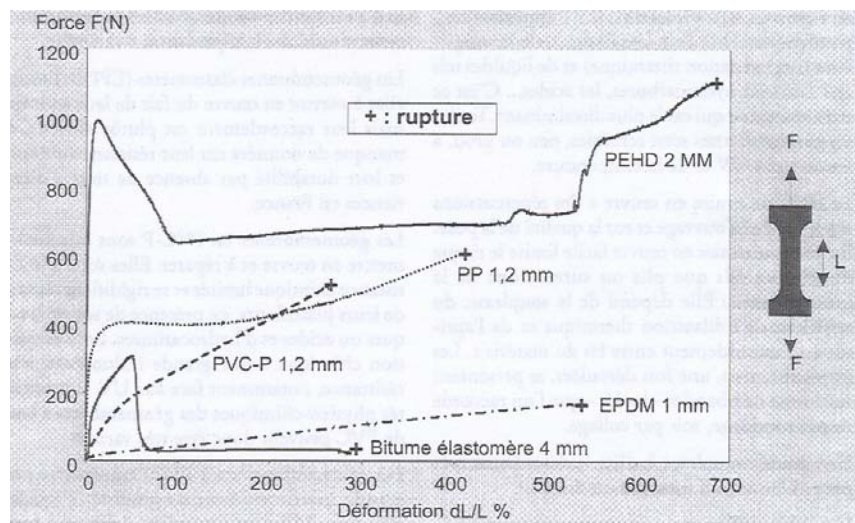


Fig. 6 Ensayo de la resistencia a la tracción unidireccional con diferentes geomembranas

d) ENSAYO MULTIAXIAL:

Es un método alternativo a la forma tradicional de ensayos unidireccionales, que simula mejor los esfuerzos a que puede ser sometida la membrana en algunas condiciones de aplicación (pe. en casos de clausura de vertederos, como capa de sellado, cuando se asienta la superficie inicial de la misma).

El ensayo se realiza en un recipiente de presión, simulando la carga o el esfuerzo con presión de agua. Este ensayo determina el punto máximo de la deflexión y el alargamiento del material, en esta condición.

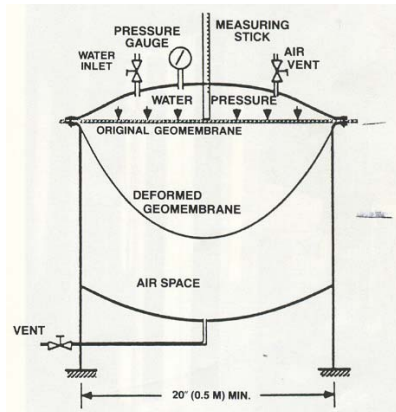


Fig. 7.1 Dispositivo de ensayo multiaxial



Fig.7.2 Ensayo

e) ANÁLISIS MICROSCÓPICO DE LA MEZCLA DEL CARBONO NEGRO:

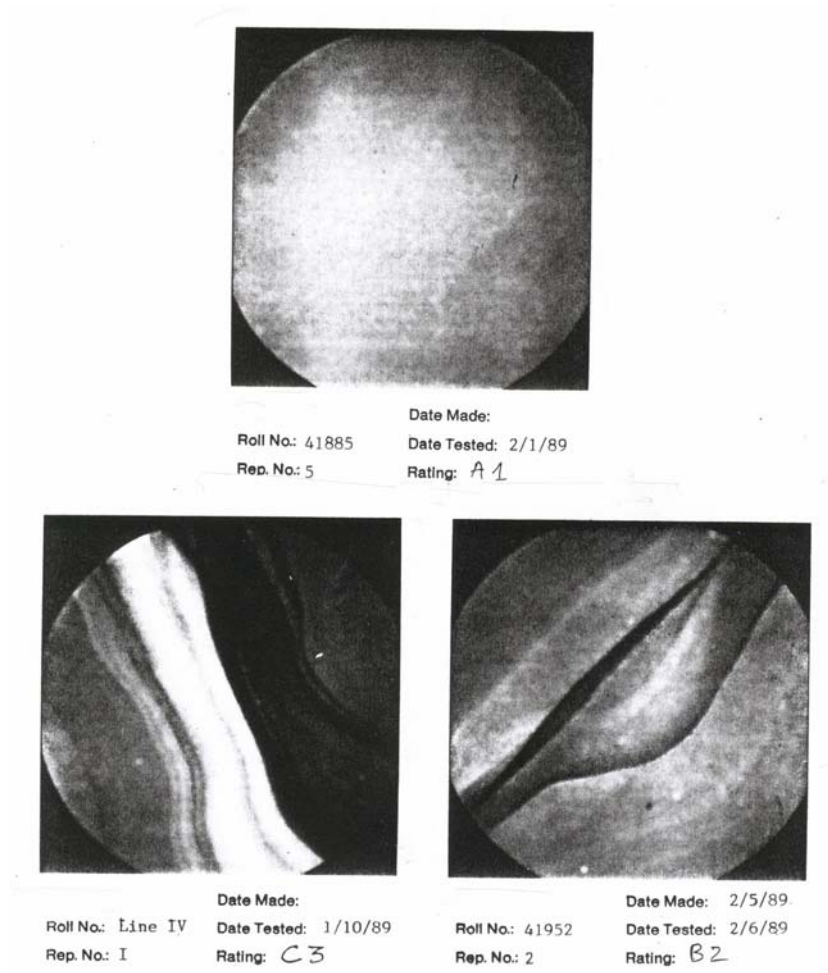


Fig. 8 Ensayo microscópico. Arriba: reparto homogéneo, satisfactorio. Abajo: mezcla no satisfactoria

f) ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FISURACIÓN EN UN AMBIENTE HOSTIL (ESCR)

Hay dos formas para realizar esta prueba simulando condiciones medioambientales que causan fisuración a consecuencia de estrés:

- 1) de tensión constante: ensayo con muestras plegadas pe. según ASTM D 2552, en condiciones de tensión y de relajación. Esta prueba no refleja la mayoría de condiciones de esfuerzo que puede sufrir la geomembrana.
- 2) el ensayo más frecuente es el de estrés constante: según ASTM D 1693, una prueba que simula el esfuerzo, causado por deformaciones o plegados en un ambiente hostil. Para ello se sumerge la muestra en una solución agresiva y a temperatura elevada durante un tiempo (largo) normalizado. Si al final de la prueba dichas muestras no muestran fisuras, el ensayo resultó satisfactorio.