



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA.
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA Y
AMBIENTAL.

CURSO DE DOCTORADO.

INGENIERÍA AMBIENTAL Y DE
PROCESOS QUÍMICOS INDUSTRIALES.



**APLICACIÓN DE LÁMINAS SINTÉTICAS EN
LA CONSTRUCCIÓN DE BALSAS DESTINADAS
AL RIEGO.**

Ramón de los Santos Alfonso.

Ramón de los Santos Alfonso.
Ingeniero Técnico Agrícola.
Ingeniero Agrónomo.

**APLICACIÓN DE LÁMINAS SINTÉTICAS EN LA CONSTRUCCIÓN DE BALSAS
DESTINADAS AL RIEGO.**

Cartagena. 2.002

“Ciencia es toda disciplina en que los tontos
de una generación pueden llegar más lejos
que los genios de la precedente”.

Glukman, Max

A mi amiga, compañera,
esposa y madre de mis
hijos.

PREÁMBULO.

El objetivo perseguido en el presente trabajo, es la recopilación de datos dispersos sobre la impermeabilización artificial (láminas de plástico) en las balsas de riegos, desde la perspectiva de su origen como materia prima, formación de la lámina, manipulación o mejor dicho, construcción, desde la experiencia acumulada en el sureste español, concretamente en Murcia.

La técnica de la impermeabilización se ha ido introduciendo en el sector de la construcción de balsas, con una serie de experiencias negativas que se han ido mejorando con el tiempo, donde la necesidad de contar con éste elemento, ha dejado de ser analizado roturas en balsas con grandes volúmenes almacenados. Hay que recordar que estos emplazamientos, no se localizan en cauces naturales.

La precariedad de la información en la que se envuelve el sector y las necesidades de “mirar hacia otro lado”, hace necesario de un sereno conocimiento de la realidad que supone la impermeabilización artificial. Toda la información sobre éstos temas se encuentra distribuida desde diferentes perspectivas, así la del químico es la preocupación de las propiedades del material desde ópticas de “laboratorio”, la industria por sus intereses comerciales, dividido en dos amplios productos: Polietileno y EPDM. La Administración (proyecto y dirección) interesada en presupuestos finales y rentabilidades de productos añadidos. La empresa ejecutora, interesada en beneficios. El agricultor, contar con el agua para las necesidades del riego, etc. Cada una de estas partes lleva razones, pero necesitan ser evaluadas.

He intentado centrar el trabajo de la balsa, desde la perspectiva del plástico, recopilando datos, omitiendo subjetividad, pero sin poder a veces verter mi opinión desde mi experiencia personal, tratando de explicar con fotos y gráficos, cuestiones que puede preguntarse un lector interesado en esta materia.

Entiendo que el planteamiento de una obra divulgativa puede ser de mayor extensión, pero desde mi opinión, he intentado hacerlo desde el punto de vista de la “ojeada rápida”, a esta parcela de técnica aplica en la infraestructura agraria.

Cartagena. Junio de 2.002

Ramón de los Santos Alfonso.

ÍNDICE

	<u>Página.</u>
PREÁMBULO.....	5
CAPÍTULO 1. GENERALIDAD.....	9
1. Introducción	9
2. Antecedentes	9
3. Necesidades de impermeabilizar.	10
4. Clasificación .	11
4.1. Geomembranas.	12
4.2. Geotextiles.	13
5. Impermeabilidad .	14
6. Cálculos justificativos evaluados en una lámina impermeable.	15
7. Influencias en el diseño de la lámina .	17
 CAPÍTULO 2. APLICACIÓN DE QUÍMICA	 20
1. Química General .	20
2. Compuestos orgánicos .	21
3. Polímeros .	22
3.1. Definición.	22
3.2. Estructura de los polímeros.	22
3.3. Relación de polímeros.	23
3.4. Conceptos .	24
3.5. Peso molecular .	25
3.6. Copolimerización. .	26
3.7. Mezclas .	27
3.8. Cinética de copolimerización. .	27
3.9. Aditivos .	28
3.10. Relación estructura – propiedad .	33
3.11. Composición final del plástico .	34
3.12. Tendencias del mercado .	35
4. Síntesis industrial.	36
5. Procesos de transformación.	36
6. Pruebas y ensayos en un plástico.	38
6.1. Calorimetría de barrido diferencial (DSC).	38
6.2. Ensayos de laboratorios .	41

	<u>Página.</u>
CAPÍTULO 3. INFLUENCIAS EN LA LÁMINA	44
1. Relación de la lámina con el medio.	44
1.1. Medio Físico	44
1.2. Clima	45
1.2.1. La luz	46
1.2.2. La temperatura ambiental	47
1.2.3.1. El viento.	47
1.2.3.2. Transporte de sus pensiones aéreas.	48
1.2.3.3. Composición del aire.	50
1.2.4. El granizo.	50
1.2.5. La helada	50
2. Biótico.	51
2.1. Flora.	51
2.2. Animales.	52
3. Propiedades físicas.	53
3.1. Influencia térmica sobre la lámina.	54
4. Diferencias de láminas más usuales.	56
4.1. Disparidad de criterios en la elección.	56
4.2. Vida útil.	57
4.3. Garantías.	58
4.4. Seguimientos.	59
CAPÍTULO 4. GEOMEMBRANAS	60
1. Introducción.	60
2. Materias primas: resinas, poliésteres y aditivos utilizados.	60
3. Etileno.	61
3.1. Antecedentes.	61
3.2. Composición química.	61
4. El caucho.	62
5. Materiales laminados del tipo PVC.	63
6. Materiales laminados de elastómeros.	66
7. E.P.D.M.	67
8. Polietileno.	70
9. Otras láminas.	75
9.1. Polipropileno.	75
9.2. E.V.A.-C.	76
CAPÍTULO 5. GEOTEXTILES	77
1. Definición.	77
2. Propiedades requeridas y funciones.	78
3. Proceso de fabricación.	80
4. Materias primas de mayor uso.	81

	<u>Página.</u>
5. Protecciones.	84
6. Conductividad hidráulica.	85
7. Proceso de diseño.	86
8. Cálculos justificativos.	87
9. Elementos del proyecto del geotextil y la construcción.	89
 CAPÍTULO 6. ELECCIÓN DE LÁMINAS, UNIONES Y CONSIDERACIONES ECONÓMICAS	 90
1. Elección de la lámina impermeabilizante.	90
2. Necesidades a tener en cuenta para la instalación de la lámina.	92
3. Uniones de la lámina.	94
3.1. Uniones.	94
3.2. Maquinas, utensilios y demás herramientas utilizadas para unir.	94
3.3. Técnicas utilizadas.	97
3.3.1. PVC.	97
3.3.1.1. Soldaduras con aire caliente.	97
3.3.1.2. Unión con adhesivos.	97
3.3.2. P.E.B.D.	97
3.3.3. P.E.A.D.	97
3.3.3.1. Fusión.	97
3.3.3.2. Extrusión.	99
3.3.4. E.P.D.M.	100
3.3.4.1. Láminas vulcanizadas.	100
3.3.4.1.1. Bandas autoadhesivas.	100
3.3.4.1.2. Vulcanizadas.	100
3.3.4.2. Láminas no vulcanizadas.	101
3.4. Pruebas de seguridad.	101
4. Diferencias de láminas más usuales.	102
4.1. Dispersión de criterios.	102
4.2. Vida útil.	104
5. Mercado y tendencias.	104
6. Precios orientativos de la impermeabilización terminada.	106
 CAPÍTULO 7. COLOCACIÓN EN OBRA DE LA LÁMINA.....	 107
1. Trabajos previos a la colocación.	107
2. Números de paños.	108
3. Extendidos de la lámina.	110
4. Anclaje y colocación de mantas.	111
5. Soldaduras, pruebas y cierres finales.	113
6. Fugas	119
 BIBLIOGRAFÍA Y ARTÍCULOS CONSULTADOS.....	 121

CAPITULO. 1.

GENERALIDADES.

1. INTRODUCCIÓN.

A la hora de proyectar ó construir una balsa con cierta entidad, hay que basarnos en el Reglamento Técnico sobre Seguridad de Presas y Embalses del 12 de Marzo de 1.996 (BOE nº 78/96), y a las indicaciones de las normas UNE correspondiente.

Las normas UNE 53 586-86 y la 104 300-99; tratan sobre los métodos de ensayos en elastómeros y del Polietileno de alta densidad (PEAD) en el segundo caso.

Sobre la construcción y puesta en obra, habrá que consultar la norma UNE 104 421-95 (PEAD) y UNE 420-99 en EPDM.

A pesar del cumplimiento de normas, el Agrónomo debe preocuparse de la impermeabilización, donde se fundamenta la seguridad de la balsa que proyecta o construye.

Desde la formación (previa información), es donde puede adoptarse un criterio lógico y porque no, ético, en su hacer profesional.

2. ANTECEDENTES.

Las capacidades de las balsas actuales son de considerables volúmenes, siendo normal medio hectómetro e incluso de un hectómetro cúbico (Embalse de Aguila en Orite, Alicante). Toda la estabilidad de la balsa queda a merced del carácter impermeable de la lámina, puesto que los terrenos son en la mayoría de los casos, permeables.

Una rotura de la lámina o un fallo en la misma, provocaría una rotura inminente de la balsa, con el riesgo que esto conlleva.

Además de la tendencia actual y posible futuro, hay que añadir lo producido durante más de 20 años. Murcia posee alrededor de 4.000 Has de lámina de agua embalsada. Son balsas revestidas con láminas de plástico.

Hablar del plástico y pronunciar PVC, es nombrar “la cuerda en casa del ahorcado”, al ser ésta una desagradable experiencia. El PVC se tornaba de color, oscurecía, se agrietaba y por tanto, dejando de ser funcional.

La suspicacia de creer que otros materiales nuevos puedan sufrir la misma suerte, han hecho del material de lámina impermeable, la sensación de correr los mismos riesgos en los actuales plásticos.

El empleo de lámina de plástico en Murcia, posee diversas etapas:

1) PEBD.- Balsa de poca entidad ($< 10.000 \text{ m}^3$), cubierta con arena y grava. Su inconveniente era la suave inclinación de los taludes interiores (3,5 : 1), lo que suponía poco volumen en relación a la superficie ocupada. Su ventaja era el precio y la facilidad de su colocación. Actualmente resisten bien, con una antigüedad de más de 20 años.

2) PVC.- Años 80. Taludes interiores muy inclinados (1,5:1), descubiertos. Su capacidad era variable, con media de 75.000 m^3 . Actualmente existen en servicio un gran número de balsas con cierta entidad y por tanto, con riesgos de rotura.

3) Caucho butílico y derivados: Descubiertos, no muy extendido.

4) PEAD.- Introducidos al principio de los 90, poseen un gran porcentaje. Muy aplicado por la Administración, con capacidades media de 65.000 m^3 . Lámina expuesta al exterior.

5) EPDM.- Posee un amplio estado de competencia con el anterior.

3. NECESIDAD DE IMPERMEABILIZAR.

Debido a la imposibilidad a veces, de disponer de un terreno que posea suficiente capacidad impermeable, se recurre a la técnica de revestir mediante láminas de material plástico, para conseguir la impermeabilización del mismo. Los sistemas

existentes poseen diferencias en cuanto las características del material empleado, la forma de soldarlos, etc.



Foto 1.1 .

La función de la balsa es la de almacenar agua, al objeto de disponer de ella en el momento que deseemos. Las pérdidas pueden ser de dos formas: por filtración y evaporación. En la primera, además de la pérdida del agua, perdemos la seguridad de estabilización del terraplén.

La impermeabilización artificial, garantiza mediante la lámina de plástico empleada en el recubrimiento de la balsa, la seguridad de la impermeabilidad.

4. CLASIFICACIÓN.

Son productos **geosintéticos**, clasificados en los siguientes grupos:

- **Geomembranas.**
- **Geotextiles.**

- Geomallas.
- Geocompuestos.
- Tuberías, etc.

4.1. GEOMEMBRANAS.

Las geomembranas se caracterizan por ser láminas de poco espesor, flexibles, extendidas y de una gran impermeabilidad. En ellas predominan el carácter flexible, donde pueden experimentar deformaciones.

Las geomembranas son confeccionadas por industrias específicas, variando en sus composiciones químicas. Sus propiedades están basadas, en series de formulaciones químicas de polímeros que dan lugar a los distintos tipos de laminas.

Se emplean con gran profusión para impermeabilizar balsas, así como otras obras como impermeabilización de viviendas, revestimientos de canales etc.

La función básica a desarrollar es la de impermeabilizar y después, la de resistir los esfuerzos mecánicos de servicio. Estos requerimientos se deben a su peso propio y eventualmente a la presión hidrostática, sobrecargas (de uso o de tierras), reacciones de soporte, etc. Las funciones de sus características mecánicas, deben mantenerse a lo largo de la vida útil del elemento en el que se integran, por lo que la geomembrana debe tener una durabilidad mínima, correspondiéndose con la resistencia al medio ambiente.

Los materiales existentes actualmente en el mercado son, fundamentalmente caucho butilo, PVC, polietileno de alta densidad, etc. Cada lámina posee una serie de ventajas e inconvenientes, que los caracterizan.

La forma de unir dichas láminas, sus reparaciones, su vida útil, también responden a sus propiedades químicas. Cada una de estas láminas poseen tendencias y perspectivas de mercado diferentes. Las modas se suceden en una dinámica de aciertos y errores, cambiando las tendencias según el comportamiento de la lámina. Los fabricantes de láminas están dominados por multinacionales, normalmente americanas, que dominan el sector. En otra consideración están las empresas que a pie de obra, montan las láminas, especializadas en dichas uniones. Si a todo esto unimos la

Administración, los técnicos en la materia y los propios usuarios, con una serie de recomendaciones, experiencias, frustraciones, etc, tendremos un amplio abanico de opiniones, lo que induce a un mayor síntoma de confusión, sobre elecciones.

Las geomembranas más usadas: atendiendo a su composición química son:

- **Laminas PVC** (Normas UNE 53-402).
- **Láminas de elastómeros como la goma butílica:** (UNE 53-586).
- **Láminas de polietileno de alta densidad - PEAD -** (UNE 104-300/421/300).

Haremos una descripción de cada una de ellas, aclarando algunos conceptos relacionados con la misma, en capítulos posteriores.

4.2. GEOTEXTILES.

Los geotextiles son también geosintéticos, pero a diferencias de los anteriores, son **permeables**.

Su función es suplementar una mayor resistencia mecánica a la geomembrana, aplicada como soporte, para evitar que se le incrusten piedras, aristas de obras de fábrica, perfiles metálicos, etc. colocándolo en el terreno como base de apoyo, depositándolo antes de la geomembrana.

También se emplean como filtros de drenes, para evitar colmataciones. También suelen usarse para aguantar taludes inestables, aumentos del CBR, etc.

Están definidos por el Comité Europeo de Normas CEN TC 189, pertenecientes a la familia de los geosintéticos, visto al principio. Pueden ser de tejido, no tejido o tricotado, en forma plana, usado en contacto con suelo y/u otros materiales en aplicación geotécnicas y de ingeniería civil.

En el diseño por función se les exigen determinadas características que debe cumplir, según necesidades a definir en los proyectos (protección de geomembrana, dren), donde no basta pedir un gramaje, un peso de lámina por metro cuadrado. Hay que definir las características del producto, relacionados en la Norma Europea, según sea

para uso de construcción de balsas (prEN 13.254) o características del drenaje (prEN 13.252).

5. IMPERMEABILIDAD.

La principal propiedad que poseen las geomembranas es su impermeabilidad, que junto a su flexibilidad, constituyen el éxito del revestimiento.

Sin embargo no llegan a ser impermeables de modo absoluto, existe una mínima permeabilidad de los materiales que son casi inapreciable: Se han realizado pruebas de laboratorios con el fin de conseguir los valores de “K”, coeficiente de permeabilidad de la fórmula de Darcy, cuyas dimensiones son de espacio recorrido en tiempo. En realidad no suelen considerarse en la práctica, sólo es a modo explicativo de su obtención, por los valores tan bajos que poseen.

$$V = "K" \times I.$$

v.- velocidad del flujo.

K.- coeficiente permeabilidad.

I.- gradiente hidráulico.

El permeámetro es un aparato que nos sirve para hallar dichos valores. Este sistema debe proveerse de técnicas sofisticadas para no invalidar los resultados apreciados en la mínima disminución de altura de agua, teniendo que recurrir al auxilio de sondas electromagnéticas sensibles para apreciar la diferencia de altura de la lámina de agua.

Una vez salvados los obstáculos de recogidas de datos por el permeámetro, se constituye una base de lámina de 1 mm con una altura de 10 metros de agua, apreciándose una disminución algo menor a 1 mm de descenso de la columna de agua, al día. El coeficiente de permeabilidad de la membrana es de $K = 10^{-12}$ m/s.

$$I = 10 \text{ m.a.} / 1 \text{ mm. (metro de altura de agua / 1 mm de lámina).} = 10 / 0,001 = 10^4 \text{ m/m.}$$

$$\underline{V = 10^{-12} \cdot 10^4 = 10^{-8} \text{ m/s.}}$$

Si realizamos un pequeño cálculo sobre una lámina de superficie 1 m². tendríamos:

Vol. Infiltrado = $86.400 \text{ s/día} \cdot 10^{-8} \text{ m/s} = 0.000864 \text{ m}^3/\text{día} = 0,864 \text{ litros/ m}^2$ en un día.

Queda considerando y suficientemente demostrado el valor asignado a "K", que se alcanza de modo práctico en la realidad. Si consideramos éste dato de pérdida con la que acontece en la evaporación, donde suele acercarse en el verano a 10 mm/día, observamos que es una décima parte del valor de la debida a la filtración por la lámina. Esta cuestión de importancia en pérdida la abordaremos como problemática y su posible aminoración mediante la aplicación de medidas técnicas en un solo capítulo, dada la importancia del mismo.

6. CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS EVALUADOS EN UNA LÁMINA IMPERMEABLE.

La durabilidad es la primera y principal cualidad a la que debemos atender, con el objeto de rentabilizar su inversión.

La elección del tipo de la lámina no debe ser intuitivo sino responder a una serie de respuestas de necesidades del proyectista, según su aplicación en una serie de premisas de los siguientes supuestos.

- Tipo: Elasticidad, flexibilidad, tracción, etc.
- Espesor: 1; 1,5; 2 mm etc.

Determinándose según:

- Tamaño y geometría del embalse.
- Situación geográfica de ubicación y naturaleza de la obra.
- Clase de terreno en el apoyo (fino, granular, pizarroso, rocoso).
- Anclaje adoptado.
- Altura de la columna de agua (más de 10 metros, 2 mm).
- Talud muy inclinado (< 2:1) colocar de 2 mm de espesor.
- Geocompuestos (geotextil, geomallas, tipo, espesores de éstos, etc).
- Lastrado utilizado.

- Normas aplicables en las diferentes características y usos.
- Obras singulares.
- Referencias contrastadas por el uso en el tiempo.
- Experiencia de la zona.
- Precio.

A modo de resumen, las diferencias en las dos láminas más utilizadas, son:

	P.E.A.D	E.P.D.M.
Talud < 2:1.		*****
Incrustaciones talud.		*****
Altura de agua > 12 metros.	*****	
Peligro de heladas.		*****
Peligro de vientos.	*****	
Reparaciones lámina.	*****	
Lastrado.	*****	
Experiencia en Murcia.	*****	
Precio (2 mm espesor).	*****	

Tabla 1.1.

La durabilidad es la principal propiedad a contemplar. La geomembrana debe mantener suficientemente sus propiedades de resistencia e impermeabilidad en el tiempo, no verse afectada por el agua ni las sustancias que este elemento lleve disueltas. Tampoco deben producir afección apreciable el aire (oxidación), al suelo con sus elementos básicos o ácidos, ni a los rayos solares (PVC), ozono (caucho butilo), etc.

Particular atención se prestará a la acción de las raíces, sobre todo de juncos, cañas, grama, etc, que producen un efecto de perforación sobre la lámina, sobre todo la del EPDM, anulando la función impermeabilizadora.

En casos singulares (estanqueidad de vertederos, depuradoras, etc.), se incorporará el estudio de la compatibilidad de la geomembrana con las sustancias con las que vaya a estar en contacto.

La soldabilidad, en fábrica y en obra, es otra propiedad a conocer, pues determina el proceso del diseño. El transporte a obra debe realizarse en rollos del mayor tamaño posible (ancho x largo), para reducir las juntas "in situ", siempre de menor fiabilidad.

Finalmente y de la máxima importancia es el coste por unidad de superficie de los diversos materiales y casas comerciales existentes.

7. INFLUENCIAS EN EL DISEÑO DE LA LÁMINA.

Normalmente se presenta un elevado número de variables que deben ser consideradas a la hora de abordar la impermeabilización de una balsa. Estas variables son el emplazamiento, los soportes, el tipo de protección a emplear, la climatología local, la agresividad del terreno, el uso (alimentación, regadío, industrial, etc.), siendo necesario estudiarlos uno por uno para establecer en cada caso la impermeabilización más adecuada.

A la hora de la elección de la geomembrana y materiales relacionados que van a constituir el sistema de impermeabilización, es importante tener en cuenta las siguientes variables:

a) Acciones sobre la Geomembrana.- Las más importantes son las indicadas a continuación, pero pueden existir muchas más. Las acciones sobre la geomembrana influyen también sobre las operaciones de instalación.

- Efecto del viento-. levanta la lámina y puede romperla
- Temperatura: esfuerzos por dilataciones y contracciones
- Radiación Solar: debe ser resistente a los rayos UV
- Efecto del granizo o pedrisco: necesidad de protección adicional
- Oleaje: producido por el viento puede dañar el soporte
- Características reológicas: esfuerzos inducidos en la geomembrana por el diferente comportamiento de los distintos materiales involucrados.
- Peso propio y rozamiento: obliga a bermas intermedias en taludes muy prolongados.
- Asientos del soporte: especialmente los diferenciales (obras de fábrica).
- Vegetación: las raíces pueden llegar a romper la geomembrana.
- Efectos del subsuelo: agua freática o gases.
- Otras-. flotantes, vertidos, microorganismos, vandalismo, etc.

b) Geometría de la balsa

Forma en planta de la balsa, adaptada a la topografía del emplazamiento y definida mediante líneas curvas o poligonales. Evitar las aristas vivas.

Forma de la planta.

-Regular:

- **Poligonal:** La más aplicada en terreno llano. Fácil de realizar los cálculos de volúmenes y demás necesidades constructivas.
- **Circulares:** Suelen realizarse para balsas de grandes volúmenes, sin contemplar la superficie ocupada. Su cálculo es sencillo. El inconveniente que presenta es su elevado número de soldaduras, en formas de “V”.



Foto n°. 1.2. Balsa circular de PEAD.

-Irregular.

Suele aprovecharse muy bien toda la superficie disponible, siguiendo en la mayoría de los casos, las propias curvas de nivel del terreno para permitir su asentamiento. Su ventaja es su economía, su seguridad, el inconveniente es el mayor número de soldaduras en la lámina.

CAPITULO 2.

APLICACIÓN QUÍMICA.

1. QUÍMICA GENERAL.

Si atendemos a la antigua diferencia de la química, aquella que dividía dos grandes estructuras: inorgánica y orgánica, (invalidada por la obtención de Wöhler en 1.828 de urea en laboratorio), nos podría valer para identificar los plásticos. Estos lo encontramos en la parte de la **química orgánica**, es decir, la correspondiente a la parte de la naturaleza, de los seres vivos.

Hagamos una pequeña comparación de éstas dos antiguas divisiones, según sus propiedades.

Diferencias.	
Inorgánica.	Orgánica.
Solubilidad preferente en agua .	Solubilidad preferente en disolventes orgánicos .
<u>Estables</u> .	Descomposición fácil con temperaturas bajas.
30.000 elementos.	800.000 elementos .
Reacción mayoritaria <u>iónica</u> , instantánea, sencilla.	Reacciones complejas .

Tabla 1.1. de diferencias de propiedades químicas.

Para poder comprender su comportamiento, hace falta recordar que estamos en presencia de compuestos que contienen carbono con un alto porcentaje, donde la mayoría de enlaces químicos son de caracteres covalentes, por ejemplo el etano.

Los átomos de carbono pueden unirse por enlaces sencillos, dobles y triples compartiendo uno, dos y tres pares de electrones, respectivamente. Hay que suponer que los átomos de carbono unidos por un simple enlace pueden girar alrededor de éste, mientras que la unión mediante un doble enlace o triple enlace, dando lugar a una posición rígida y fija de los dos átomos de carbono unidos.

La unión entre los átomos se caracteriza por la longitud del enlace o distancia interatómica; por el ángulo de enlace formado por las líneas que unen el centro de un átomo y los centros de otros dos átomos unidos a él; y por la energía del enlace, que es la energía desprendida en su formación. Estos ángulos y longitudes de enlaces han podido determinarse experimentalmente por los métodos de difracción de rayos X por los cristales. Un doble o triple enlace disminuye la longitud del enlace y aumenta su energía, así tenemos que la distancia entre dos átomos de carbono es de 1,54 Å en enlace sencillo, de 1,33 en el doble y de 1,20 en triple.

2. COMPUESTOS ORGÁNICOS.

Atendiendo a su origen, tenemos los productos **naturales**: vegetal, animal, (polisacáridos, grasas, etc) y mineral (grafito), con sus derivados. En segundo lugar, los **sintéticos**, que derivan del petróleo.

De la destilación fraccionada del petróleo bruto, según la temperatura y presión empleada, se van separando distintos elementos (butano, etileno, etc.). Posteriormente son de nuevos tratados con temperatura y presión, para formar distintos productos.

A partir de materiales de base, denominados a veces “granza”, vuelven de nuevo a ser tratados y en la calandria (rodillos) se forman las láminas que todos conocemos (PEAD), con diferentes composiciones añadidas para proporcionar determinadas propiedades como elasticidad, resistencia al estiramiento, contracciones y dilataciones.

Las uniones de las moléculas, a modo de rosario, forman lo que conocemos como ***polimerización***, cuya característica más común es su elevado peso molecular, su punto de fusión y el de blandearse con **intervalos de temperaturas determinadas**.

Destacar que esta composición de "**polímeros**" tienen propiedades físicas y químicas muy distintas de las que poseen los cuerpos formados por moléculas sencillas, como la resistencia al desgaste, rotura, elasticidad, baja densidad, fácil de fabricar en escala como plásticos, resinas, elastoplásticos y fibras sintética.

3. POLIMEROS.

3.1. DEFINICIÓN.

La palabra “polímeros” significa: Muchos y partes. Otros términos prefieren denominarlos como macromoléculas o bien biopolímeros (naturales) y polímeros sintéticos. En general, denominamos polímeros a cualquier sustancia con un elevado peso molecular (superior a 10.000), cuya unidad de repetición constituye el monómero (el etileno, sería el monómero del polímero, en el caso de PEAD).

3.2. ESTRUCTURA DE LOS POLÍMEROS.

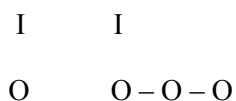
Son de cadenas formadas por repeticiones de monómeros. Los primeros trabajos de formulación, fueron efectuados por Staudinger en 1.920.

- Cadenas lineales: Según composición y disposición de monómeros.

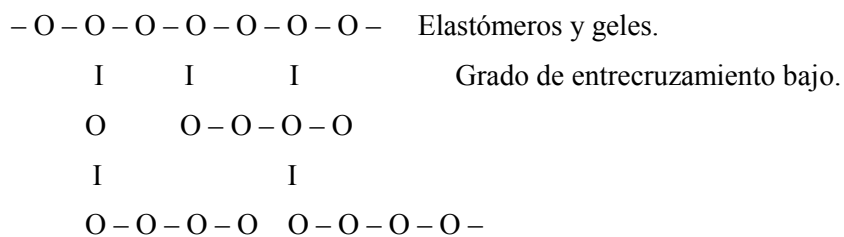
1. $-o-o-o-o-$ Homopolímeros.
2. $-o-x-o-x-o-x-o-$ Alternante.
3. $-o-x-o-o-o-x-x-$ Al azar.
4. $-o-o-o-o-x-x-x-x-$ Bloque.
5. $-o-o-o-x-x-x-c-c-c$ Terpolimero.

- Cadenas ramificadas.

1. $-O-O-O-O-O-O-O-$ Homopolímero.



- Cadenas entrecruzadas.



3.3. REACCIONES DE POLÍMEROS.

- Adición.

1. Se añaden en los extremos de la cadena.
2. Suelen desprender hidrógeno.
3. Al final queda algo de monómero.
4. Se alcanza rápidamente un gran peso molecular.
5. A mayor tiempo de reacción, mayor rendimiento.

- Condensación:

1. La reacción se inicia en un par de moléculas.
2. Desprende agua.
3. El monómero desaparece totalmente.
4. El peso molecular aumenta poco a poco.
5. Mayor tiempo de reacción, mayor peso molecular.

3.4. CONCEPTOS:

- Comportamiento térmico mecánico:

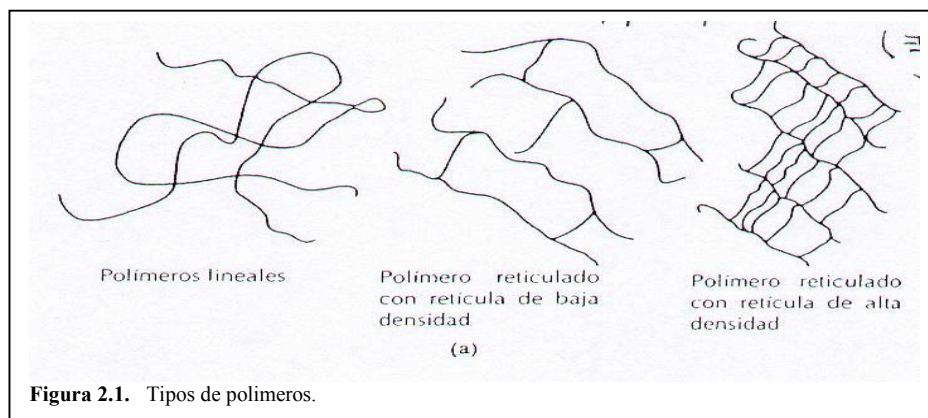
- **Termoplásticos.** Mediante la aplicación de temperatura y presión, se pueden procesar, reprocesar y suavizar cualquier forma que se desee, ejemplo del PEAD.
- **Termoestables:** Se forman en un solo proceso de polimerización, ejemplo del caucho.

- Composición química:

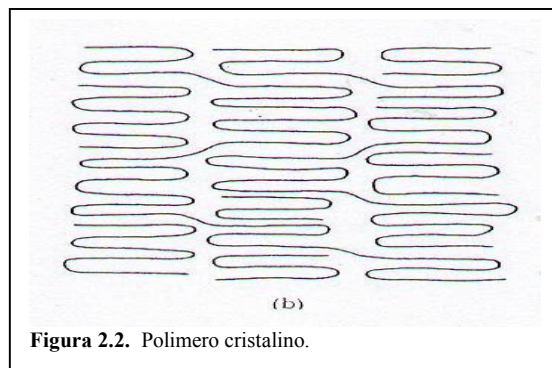
- Polioléfinas: ejemplo PEAD, PP.
- Polímeros de cloruro de vinilo: PVC.
- Polímeros del estireno. EPDM.
- Polímeros fluorados.
- Heteropolímeros.

- Composición de estructuras:

- **Amorfos:** Cadenas simples o bien reticuladas, enmarañadas (como espaguetis), que poseen flexibilidad, movilidad.



- **Cristalinos:** Cadenas plegadas, sin flexibilidad, inmovilizados.



El estado amorfo o cristalino, no es total. No se hallan en valores absolutos del 100 %, sino en valores altos, por ejemplo, 80 % de amorfos y el 20 % del cristalino, diciéndose que es amorfo si domina en un alto porcentaje con respecto al otro.

Además de la influencia de los enlaces (forma de unirse los átomos, moléculas) tenemos la tacticidad (definidos por Giulio Natta) que depende de la situación en que se encuentra la ramificación, esteroisometría, dando lugar al esqueleto y que afectan a sus propiedades.

3.5. PESO MOLECULAR DE LOS POLÍMEROS.

La viscosidad del polímero fundido, la resistencia a tracción, el módulo de elasticidad, la dureza o la resistencia al impacto y la resistencia al calor y a la corrosión, dependen del peso molecular de los polímeros amorfos y de la distribución estadística del mismo (MWD).

El peso molecular medio (PMM) de un polímero es el producto del número medio de unidades de repetición o monómeros (nuestro ejemplo posterior, es 1.000) y el peso molecular de dichas unidades de repetición (PMR). Para un grupo de cadenas cuya fórmula media es $(\text{CH}_2\text{CH}_2)_{1000}$ es $1000 \cdot (28) = 28.000$.

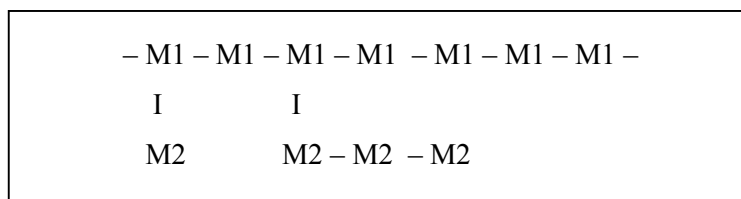
Las reacciones de polimerización, tanto sintética como naturales, producen polímeros con pesos moleculares heterogéneos, es decir, cadenas con números distintos de unidades de repetición.

3.6. COPOLIMERIZACIÓN

Reacción escalonada o polimerización de monómeros (M) de diferentes en cadenas de radicales libres. Es importante destacar que si las especies reactantes son M1 y M2, la composición del polímero no es una mezcla de $[M1]_n + [M2]_n$.

Los copolímeros pueden ser:

- **Alternantes**: Cuando hay una ordenación regular de M1 y M2 en la cadena, es decir, $(M1M2)_n$.
- **Aleatorios**: Si la secuencia se ordenan de forma arbitraria, es decir, $M1M1M2M1M2M2...$
- **De bloque**: Si se encuentran secuencias largas con la misma unidad de repetición en la cadena, es decir, $(M1)_n(M2)_n...$
- **De injerto**: Ramificadas sobre:



Estos copolímeros se obtienen fijando sobre la cadena macromolecular de un homopolímero $-M1M1M1M1M1M1-$, cadenas laterales de otro homopolímero $-M2M2M2-$.

La preparación de copolímeros injertados se pueden realizar, utilizando medios químicos, fotoquímicos o radioquímicos e incluso mecánicos, para crear sobre una cadena macromolecular, centros reactivos que sean utilizados para fijar cadenas laterales del segundo polímero.

Aunque muchos de los polímeros sintéticos son homopolímeros, el SBR, el caucho sintético de uso más extendido es un copolímero de estireno (S) y butadieno (B).

El ABS, que es un plástico de uso muy extendido, es un copolímero mezcla de acrilonitrilo, butadieno y estireno.

3.7. MEZCLAS.

Es como la disolución, donde no se dan reacciones químicas entre copolímeros o aditivos. Las resinas ABS se obtiene de dos copolímeros, SAN y HRG, donde se unen (blendig) para dar ABS.

Los elementos mezclados deben ser miscibles con el polímero, integrándose con él. No deben de tener toxicidad y deben ser estables en el tiempo.

3.8. CINÉTICA DE COPOLIMERIZACIÓN.

La velocidad de reacción, depende de los radicales activos presentes en la macromolécula. Si en sus extremos poseen dos grupos activos: M^*1 y M^*2 , donde se adicionan monómeros del tipo $M1$ y $M2$, las reacciones de velocidad en los extremos pertenecen a la relación M^*1 con $M1$, relación que es constante, $K11$. Así se determinan el resto: $K12$, $K21$ y $K22$. La reacción $\otimes$ que se produce en cada extremo de la macromolécula, se establece como $R1 = K11/K22$ y $R2 = K22/K21$, donde se relaciona de la siguiente manera:

$$N = X * \frac{R1 * X + 1}{R2 * X + 1}$$

Ecuación que representa la proporción de los monómeros en el copolímero.

Donde $X = [M1] / [M2]$

Ejemplo: Si tuviéramos iguales concentraciones de monómeros de 1 y de 2, ($X=1$) y valores de $R_1 = 1.39$ y $R_2 = 0.78$, N nos daría 1,34 ($4/3$ aproximado), tendríamos 4 moléculas de monómeros del 1 y 3 moléculas de monómeros del 2, en la cadena del copolímero.

Existen diversos métodos para calcular R_1 y R_2 . Todos se basan en la determinación de la composición de una serie de copolímeros preparados con mezclas de monómeros de composiciones diferentes.

Si $R_1 > 1$ (como el del ejemplo), se dan copolímeros de bloque. Son secuencias largas, del tipo: $M_1M_1M_1M_1M_1M_1-M_2M_2-M_2M_2M_2M_2-M_1M_1.....$. Los centros reactivos deben aparecer sólo en los extremos de las cadenas. Estos centros pueden ser radicales libres o grupos funcionales terminales (1).

(1) Radical: En la estructura molecular posee una valencia libre por falta de saturación (no todos sus enlaces son sencillos) o sustituye un átomo de hidrógeno en una cadena saturada (radical alquilo). El grupo funcional es la parte de su molécula que varía en el transcurso de las reacciones.

Si R_1 y R_2 son próximos a uno, se dice que las condiciones son ideales y se produce un copolímero aleatorio.

Cuando R_1 y R_2 se aproximan al cero, se obtendría un copolímero alternante.

3.9. ADITIVOS.

Además de la composición monomérica, los plásticos necesitan de aditivos que faciliten su manejo, procesado, sus propiedades físicas, químicas, biológicas, etc, mejorando sus características.

- Plastificantes: Material que se añade a un plástico para facilitar su procesado y mejorar su flexibilidad.

La adición de un plastificante puede hacer que disminuya la viscosidad en estado fundido, el módulo de elasticidad, y la temperatura de transición vítrea de un plástico.

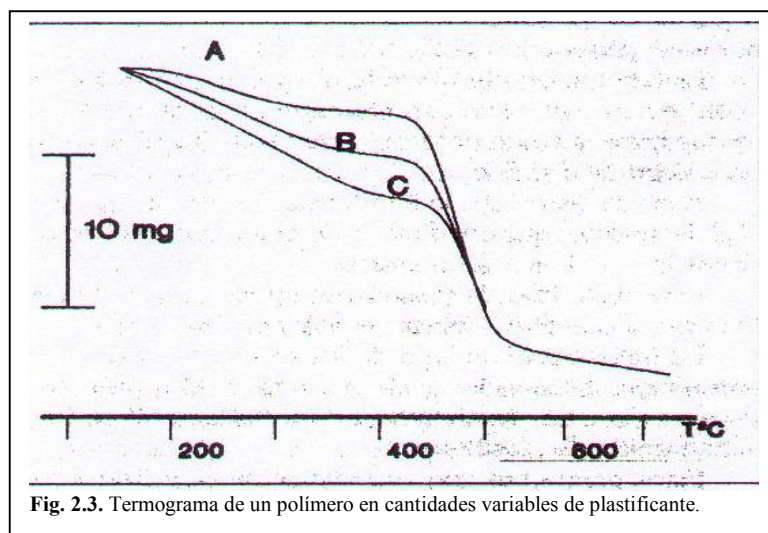
En 1933, W. Semon patentó el uso de fosfato de tricresilo (TCP) como plastificante del PVC. Posteriormente, fue sustituido por otro menos tóxico, el Ftalato de di-2-etilhexilo (DOP), que es el plastificante más usado, aproximadamente, el 50 % del mercado mundial.

La producción mundial anual de plastificantes, es de unos 3,5 millones de toneladas, constituyendo parte de los componentes principales de una serie de productos poliméricos.

Para explicar los efectos de los plastificantes, existen las siguientes teorías:

- Teoría de la lubricación: Afirma que los plastificantes se comportan como lubricantes internos y que permiten que las cadenas de polímeros se deslicen entre sí.
- Teoría del gel: Se aplica a los polímeros amorfos, supone que un polímero como el PVC, tiene muchas fuerzas de atracción intermoleculares que se debilitan en presencia de un plastificante como el DOP.
- Teoría de los volúmenes libre: Puesto que los plastificantes son, fundamentalmente, disolventes no volátiles, la compatibilidad hace que sea necesario que la diferencia de parámetros de solubilidad del plastificante y del polímero (incremento de la densidad) sea inferior a 1,8, aunque existen algunas excepciones importantes.

Cuando los plastificantes se hallan presentes en cantidades importantes, se comportan como anti-plastificantes, es decir, aumentan la dureza y disminuye el alargamiento de los polímeros.



El desarrollo de los plastificantes conlleva problemas de toxicidad, esto se ha resuelto en parte, utilizando poliésteres oligoméricos.

La conservación del plastificante es un problema que todavía no está resuelto, especialmente durante períodos de uso largos. Si bien, esta dificultad se está superando

mediante el uso de polímeros ramificados que pueden autoplastificarse. Al ser polímeros ellos mismos, los polímeros ramificados son de desprendimiento lento debido al enmarañamiento físico con la matriz del polímero.

- Antioxidantes:

Los polímeros como el polipropileno (PP), no pueden utilizarse a la intemperie sin estabilizadores apropiados debido a la presencia de átomos de hidrógeno de desprendimiento fácil en los átomos de carbono terciario.

En ausencia de estabilizadores, muchos polímeros son atacados durante su procesamiento o su uso exterior debido a una reacción de degradación en cadena, según las ecuaciones:

1. Iniciación: $R-H \text{ (Polímero)} \rightarrow R^* + H^* \text{ (radicales libres)}$.
2. Propagación: $R^* \text{ (radical libre)} + O_2 \rightarrow ROO^* \text{ (radical libre peroxi)}$.
 $ROO^* + R-H \rightarrow ROOH + R^*$.
3. Terminación: $R^* + R^* \rightarrow R-R \text{ (Polímero muerto)}$
 $ROO^* + ROO^* \rightarrow ROOR + O_2$.

La velocidad de las reacciones en cadena de radicales libres, expuestas anteriormente, se ve incrementada en presencia de metales pesados como los iones de cobalto (II).

Por el contrario, la velocidad de reacción en cadena de degradación, disminuye en presencia de pequeñas cantidades de antioxidantes.

Los primeros antioxidantes sintéticos se obtuvieron por condensación de aminas aromáticas con aldehídos alifáticos.

El antioxidante se comporta como un agente de transferencia de cadena para producir un polímero muerto y un radical libre estable que no inicia la reacción de degradación de la cadena.

El negro de carbón, dispone de muchos electrones libres, donde al añadirse a polímeros como las poliolefinas que retrasan la degradación de radicales libres.

También se añaden cantidades pequeñas de otros antioxidantes, como los tioles alifáticos o los disulfuros, para aumentar la estabilización por efecto sinérgico (producido por la mezcla de antioxidantes).

- Estabilizadores térmicos:

Existe otro tipo de degradación, dehidrohalogenación, que se presenta en los polímeros que contienen cloro como el PVC. Al calentar PVC, este pierde HCL, dando lugar a una estructura conjugada de polieno, muy inestable, continuando la degradación mediante una reacción en cadena.

- Estabilizadores de UV.

Parte de la radiación solar de alta energía, la comprendida en los intervalos de 280 a 400 nm, llega a la superficie terrestre (UV). La energía que lleva asociada dicha radiación, puede romper enlaces covalentes y producir amarilleo y fragilidad en los polímeros orgánicos.

El PE, PVC, PS y PP se degradan cuando se someten a longitudes de ondas de 300, 310, 319 y 370 nm, respectivamente.

Dado que el efecto de la luz UV en los polímeros sintéticos es parecido al efecto sobre la piel humana, no es de extrañar que el salicilato de fenilo se utilice como filtro solar en las cremas bronceadoras y como estabilizador de plástico frente a la luz UV.

- Retardadores de llama:

La mayoría de los polímeros plásticos se inflaman a temperaturas elevadas. Además de arder, los termoplásticos, como las fibras de poliéster, se funden. Otros como el PVC, producen humos y gases tóxicos al quemarse.

El uso de los polímeros hace que sea fundamental el que tengan una buena resistencia a la llama. La combustión es una reacción en cadena que puede iniciarse y propagarse mediante radicales libres, como el hidroxilo.

Muchos de los retardadores de llama son compuestos de halógenos o de fósforo. Estos compuestos pueden encontrarse como:

- Aditivos simples.

- Retardadores externos, como el óxido de antimonio y bromuros orgánicos.

- Retardadores internos como el anhídrido tetrabromoftálico, que pueden ser parte del polímero.

Los retardadores de llama sinérgicos, como las mezclas de trióxido de antimonio con un compuesto orgánico de bromo, son más eficaces que los retardadores de llama aislados.

- Colorantes:

Los colorantes que se añaden a los polímeros pueden ser tintes solubles o pigmentos finamente divididos.

Los pigmentos se clasifican en orgánicos e inorgánicos. Los primeros son más brillantes, ligeros y de menor tamaño de partícula que los colorantes inorgánicos.

Los pigmentos inorgánicos son utilizados ampliamente, algunos son tóxicos (cromato de plomo –amarillo-, cromato de cinc –verde- etc.).

El negro de carbón es el pigmento orgánico más utilizado, seguido de los azules y verde de ftalocianina.

- Agentes de curado:

El uso de agentes de curado empezó con el descubrimiento casual de la vulcanización del caucho con azufre (Ch. Goodyear, 1.838).

- Agentes antiestáticos.

La mayoría de los polímeros se cargan electrostáticamente con facilidad durante su procesado o posterior manejo.

Esta carga eléctrica puede contrarrestarse utilizando barras de ionización del aire durante el procesado o mediante la adición de agentes antiestáticos.

- Agentes espumantes:

Empleados en polímeros fluidos añadiendo líquidos que bajen el punto de ebullición.

- Agentes conservantes:

Son necesarios para evitar el ataque de los microorganismos, y también para evitar el ataque de los roedores al caucho y al PVC.

El PVC genera manchas de color rosa debido a la difusión de los productos secundarios del ataque de los microorganismos. Los carboxilatos de amonio cuaternario y los compuestos de tributilestano, previenen la formación de manchas rosadas.

Entre otros conservantes y biocidas pueden citarse los ésteres del ácido p-hidroxibenzoico.

- Lubricantes.

Es importante que los polímeros no se peguen a la maquinaria de fabricación y procesado y que los objetos moldeados puedan extraerse del molde con facilidad.

Los agentes de ayuda al procesado evitan estos inconvenientes, disminuyendo la viscosidad. Se pueden citar, entre otros, los ácidos grasos etoxilados, las siliconas, o los estearatos metálicos (agentes desmoldeantes).

3.10. RELACIÓN ESTRUCTURA-PROPIEDAD.

- Temperaturas:

i. Temperatura de transición vítrea (T_g). Aquella temperatura que marca un límite, donde por debajo de los grados específicos del material polimérico determinado en el análisis, éste se comporta como vítreo (rígido) y por encima de esa temperatura, como amorfo, es decir, elástico.

ii. Temperatura cristalina (T_c). Se produce una transición exotérmica (calor al exterior).

iii. Temperatura de fusión (T_m). Al aumentar la temperatura, el polímero adquiere cada vez mayor movilidad y termina fundiéndose (cristalino → amorfo → viscoso). Si se aumenta el peso molecular del material polimérico, aumenta la T_m, hasta un límite (de 100 a 10.000 átomos por ejemplo 25° C).

- Propiedades:

a) Grado de polimerización: No es igual una cadena de 10 ó 1000 átomos. Las de cadena largas son más fuertes pues son más fibrosos que los de cadenas cortas.

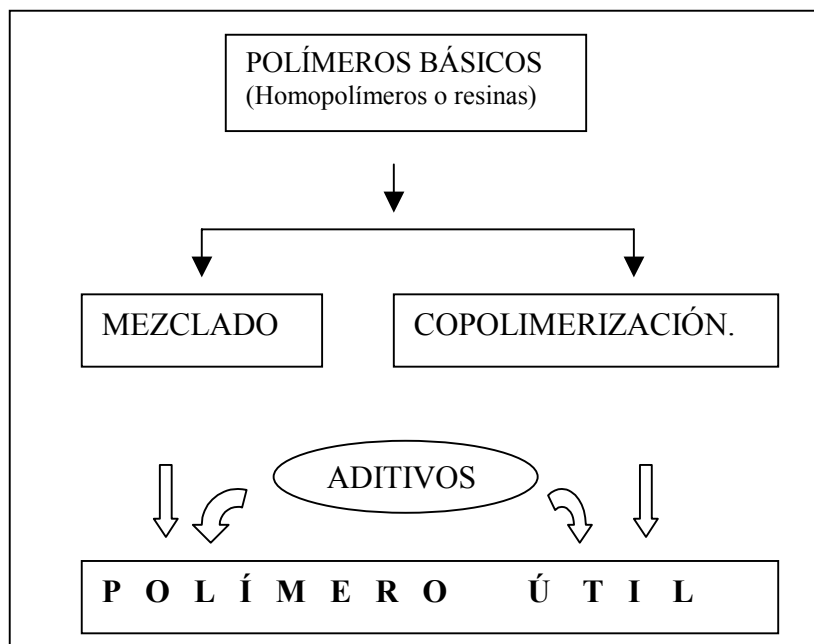
b) Grado de cristalización: A pesar del desorden del material amorfo, parte de algunas cadenas se pueden ordenar obteniendo zonas cristalinas.

c) Grado de entrecruzamiento: La reticulación o entrecruzamiento se presenta cuando unas cadenas están unidas a otras por fuertes enlaces. De este modo, el polímero adquiere gran rigidez. La vulcanización es una forma de aumentar el grado de entrecruzamiento.

d) El grado de rigidez: Impide la libre rotación de los enlaces. La sustitución de H por un anillo bencénico, da lugar a un material más rígido. El PE (flexible) → POLIESTIRENO (rígido).

- Naturaleza física y química.
 1. Elastómeros.- Amorfos. Enlaces cruzados. Alta elasticidad.
 2. Fibras. Alta resistencia a tracción, poco elástica.
 3. Plásticos: Intermedias entre fibras y elastómeros.
 4. Otros:

3.11. COMPOSICIÓN FINAL DEL PLÁSTICO.



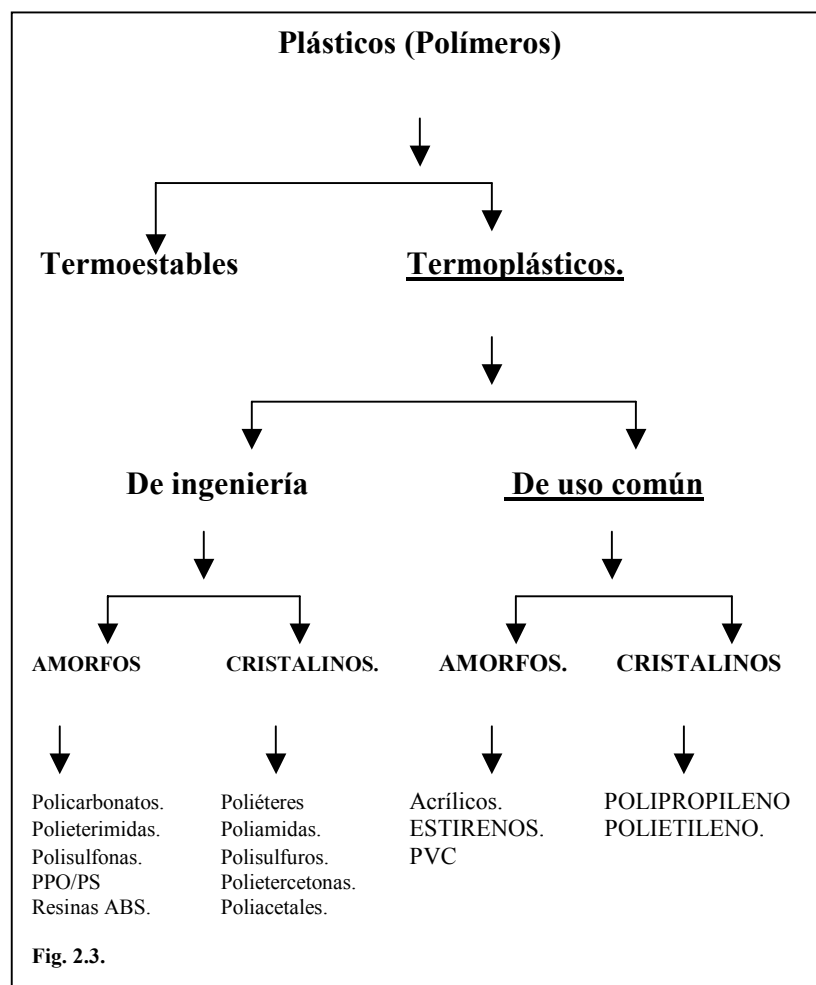
3.12. TENDENCIAS DEL MERCADO:

Las pruebas de nuevas mezclas y copolímeros son más baratos de desarrollar que buscar nuevos polímeros.

Es más fácil optimizar las propiedades de los polímeros conocidos, ya que en su mayoría son aditivas, que diseñar homopolímeros completamente nuevos.

El diseño, la selección de materiales y el procesado, interaccionan para formar el producto final.

Los plásticos utilizados en la impermeabilización de balsa, corresponden a la mayor parte de uso común “commodities”, con una producción aproximada de $50 \cdot 10^8$ t/año, donde el PE reciclado puede costar 1 céntimo de €/Kg. Son los más baratos del mercado.



4. SÍNTESIS INDUSTRIAL.

GAS NATURAL → ETILENO → (DESTILACIÓN) → PE.

GAS NATURAL → PROPILENO → DEST. → PP.

GAS NATURAL → BUTANO →

GAS NATURAL → BUTADIENO →

5. PROCESOS DE TRANSFORMACIÓN.

5.1. INTRODUCCIÓN.

Existen diferentes procesos para transformar gránulos y pastillas de plástico en productos conformados como barras, láminas, tuberías, etc. Desde nuestro interés, es la obtención de láminas la que nos interesa.

El proceso utilizado depende, en cierto modo, de si el plástico es termoestable o termoplástico. Estos últimos se calientan, normalmente, en condiciones suaves y luego, se vuelven a conformar antes de enfriarlos. Los plásticos termoestables, al no estar completamente polimerizados, precisan de una reacción química que entrecruce las cadenas poliméricas para dar lugar a un material polimérico reticulado. El final de la polimerización se consigue por aplicación de calor y presión o por acción catalítica a una cierta temperatura.

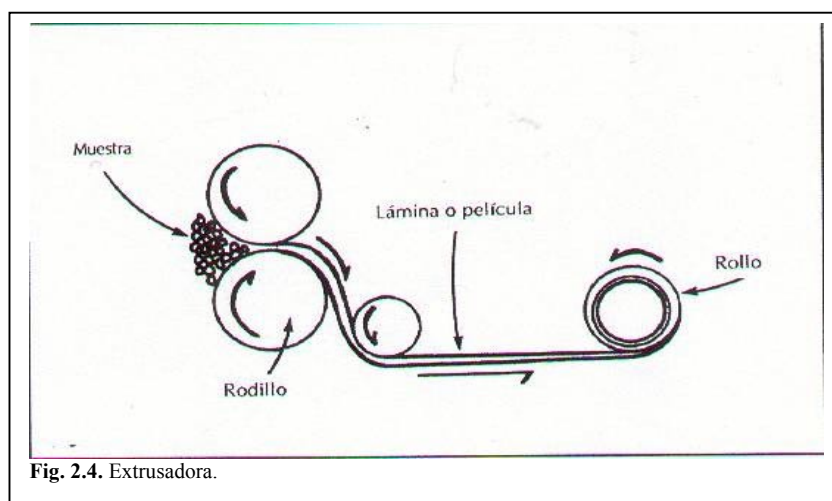
5.2. PROCESADORES.

La mayoría de las empresas que fabrican láminas, compran los materiales poliméricos a otras empresas suministradoras. Las empresas procesan de forma especializada, determinados paños y láminas de materiales poliméricos.

5.3. FABRICACIÓN DE MATERIALES TERMOPLÁSTICOS: EXTRUSIÓN.

Las máquinas de extrusión (extrusora) se utiliza también para fabricar materiales plásticos de mezclado para la producción de formas en bruto, como pastillas, y para el aprovechamiento de materiales termoplásticos residuales.

En el proceso de extrusión se inyecta la resina termoplástica dentro de un cilindro calentado; al plástico fundido se le obliga a pasar, mediante un tornillo giratorio, a través de una abertura que conduce a una matriz, preparada adecuadamente para obtener configuraciones continuas.



Después de su salida de la matriz, la pieza extruida (extrusionada) se debe enfriar por debajo de su temperatura de transición vítrea para asegurar una estabilidad dimensional.

El enfriamiento se realiza mediante un sistema de agua o chorro de aire.



Confección de paños de PEAD.

Foto 2.1.

6. PRUEBAS Y ENSAYOS EN UN PLÁSTICO.

La lámina final, es una síntesis de los elementos que la componen, la disposición de sus moléculas, sus enlaces, etc, pero también de cómo se elaboró (temperatura, viscosidad de formación, enfriamiento, etc.). Del resultado de sus antecedentes, tenemos un producto final.

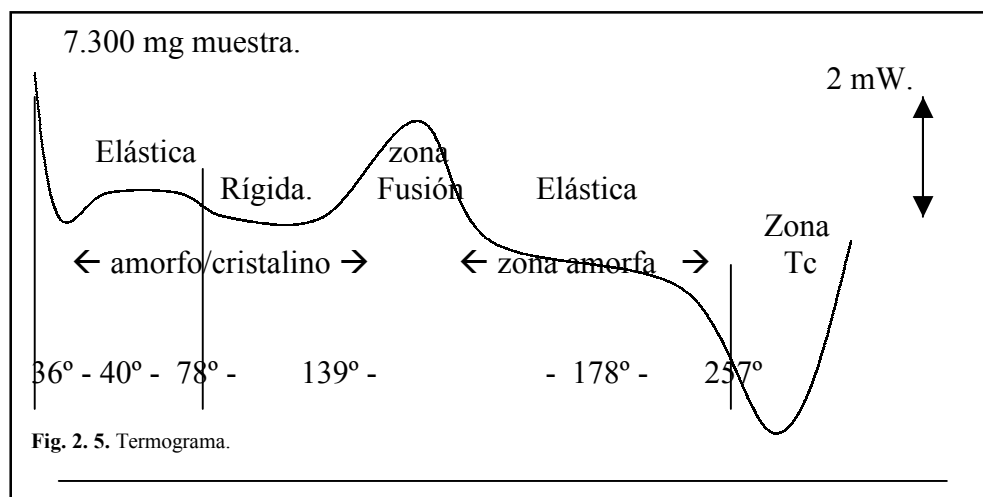
La caracterización del material, vendrá identificado por su termograma y los ensayos de controles en laboratorio.



Foto n°.2.2
Pruebas en laboratorio.

6.1. CALORIMETRÍA DE BARRIDO DIFERENCIAL (EN INGLÉS, DSC).

Es la técnica que se aplica para estudiar qué pasa cuando a un polímero se le aplica un gradiente de temperatura en una escala de tiempo. Se estudian las transferencias de aportes o consumos que realiza un polímero, cuando se somete a una temperatura determinada, en intervalos de $^{\circ}\text{C}$ / minutos.



En el termograma anterior, podemos observar como al aumentar la temperatura, existen diferentes comportamientos de transmisiones de calor o energía al sistema. Si es negativa es endotérmica y si es positiva, cede al sistema calor, es exotérmica.

Tc.- Posee dos puntos depresivos, estamos ante una mezcla, el primero del tipo semicristalino (36° C) y otra de área mayor (257° C) y por tanto, de mayor captación de energía para organizar su estructura, por tanto del tipo amorfo. La mezcla no es miscible, como indica la diferencia de dos zonas bien diferenciadas.

Tg.- En 78° C. Desde 40° hasta los 78°, el polímero es elástico (amorfo), una vez pasa de los 78° el material se hace rígido hasta los 139° (cristalino). La segunda Tg está comprendida en 178° C.

Tm.- Se consigue cuando aplicamos la temperatura de 142° C de fusión.

Las zonas de Tc (depresivas) o Tm (pico) sólo aparecen en polímeros capaces de formar cristales. En polímeros amorfos no aparecen Tc ni Tm. En las mezclas de cristalinos y amorfos, apreciaremos las características antes indicada. En la DSC, podemos saber que proporción de cristalino y amorfo tiene el polímero, mediante el calor latente de fusión (incremento de Hm).

Si observa atentamente la curva de DSC, apreciaras una gran diferencia entre la transición vítrea y las otras dos transiciones térmicas, cristalización y fusión. En la Tg hay calor latente entregado (zona amorfa) y absorbido (cristalina), cambio de capacidad calorífica del polímero (40/140°). Este cambio de capacidad calorífica lo llamamos de segundo orden y aquellos que sí poseen calores latentes en sus cambios, como la Tc y Tm, se les denomina de primer orden.

Estos análisis se realizan con programas de ordenadores, donde determinan las áreas de las transiciones de primer orden, que sirven para su identificación, son como el DNI que los identifica.

Podemos saber la miscibilidad de los componentes de una mezcla.

Mediante un análisis termo - gravimétrico (TGA), podemos analizar la pérdida de masa. Esta se realiza cuando se incrementa la temperatura en una atmósfera oxidante, en ambiente natural, por degradación de sus elementos. La termobalanza de precisión, marcará la cantidad final resultante, el resto, lo volatizado, es la parte del material no estable.

También se puede saber la naturaleza de la resina empleada, reciclada o de nuevo procesado así, como la cantidad de plastificante añadida, (un 2-3 % produce rigidez en la lámina y cantidades superiores del 25 % mejora su flexibilidad).

En general, los resultados del DSC, nos lo ofrece la computadora del siguiente modo.

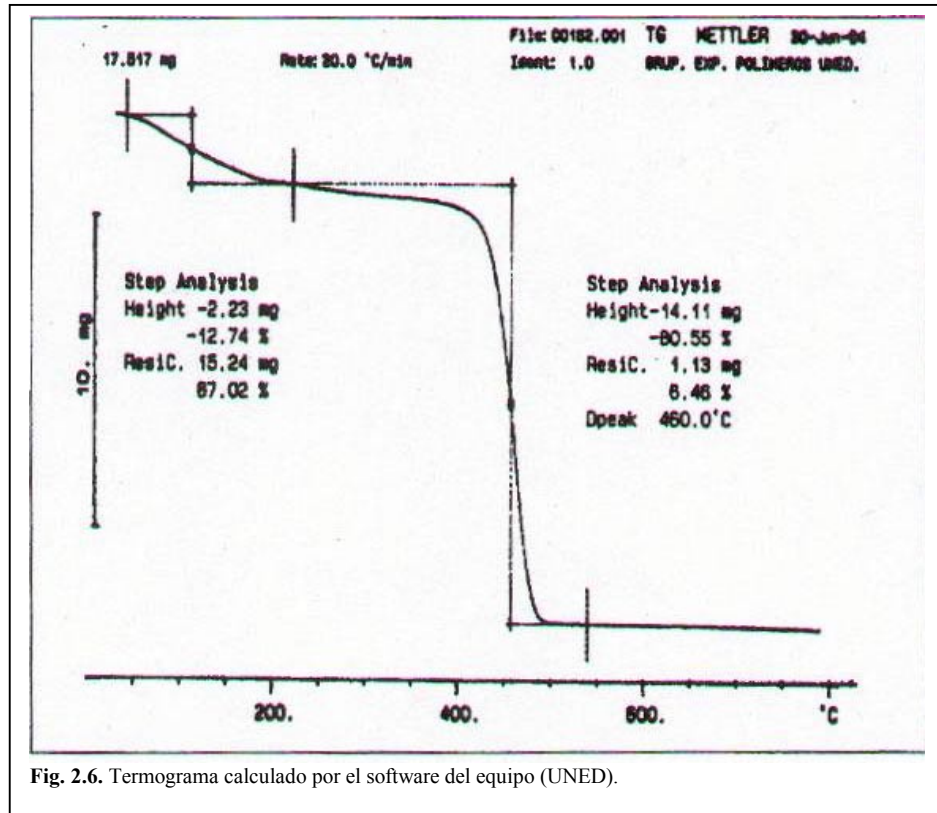


Fig. 2.6. Termograma calculado por el software del equipo (UNED).

A continuación se muestra un polímero semicristalino.

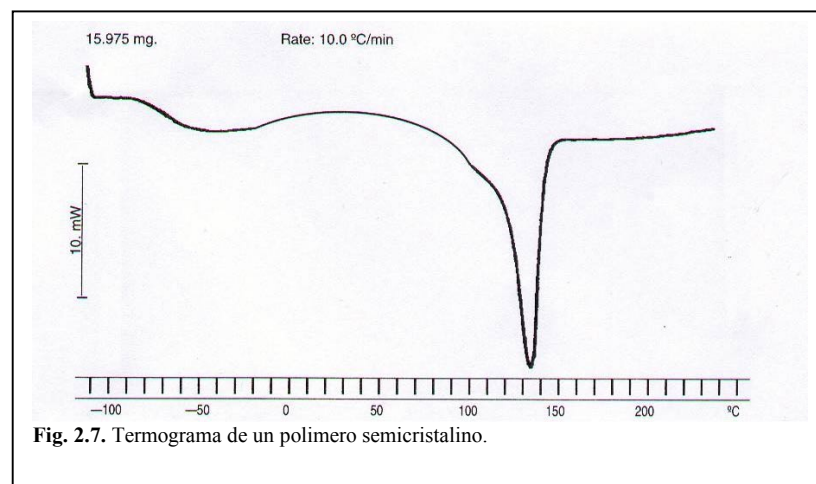


Fig. 2.7. Termograma de un polímero semicristalino.

6.2. ENSAYOS DE LABORATORIO.

Físicos.

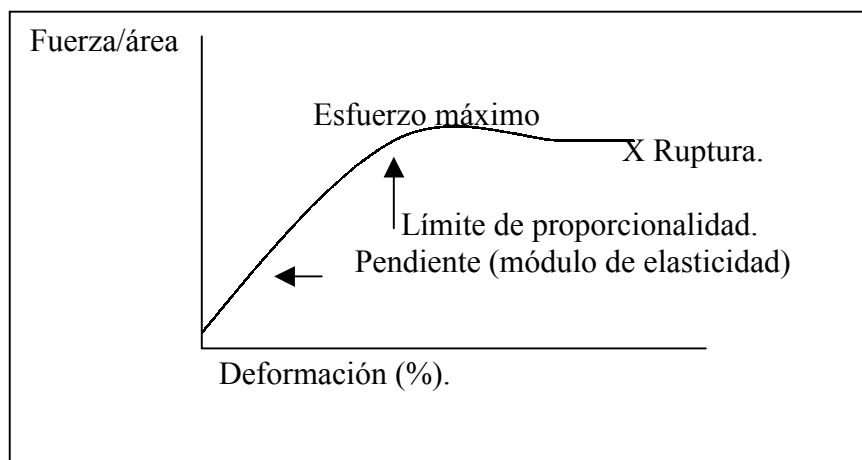
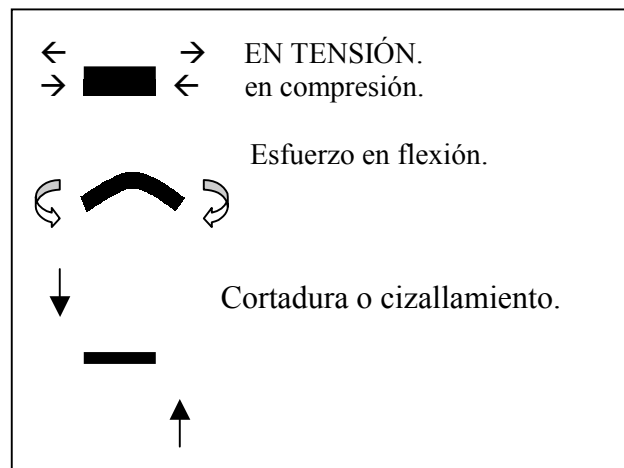
- Densidad: Con menos densidad del proceso final, menos costo unitario en la materia prima.

- Encogimiento del molde: La cristalización causa una reducción adicional del volumen, resultando en un mayor encogimiento en el molde.

- Absorción de agua durante el procesado en productos de condensación.

Mecánicos.

- Esfuerzos mecánicos:



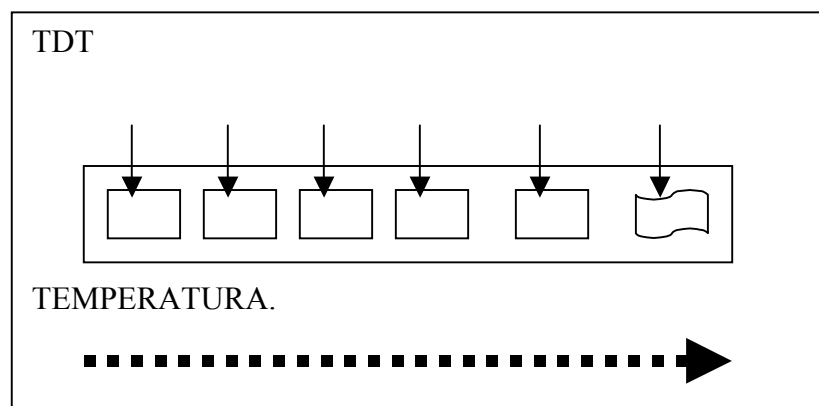
Los factores que afectan son una combinación de:

- grado de cristalinidad.
- Peso molecular.
- Relajaciones moleculares.
- Temperatura.
- Entrecruzamiento molecular.
- Presencia de aditivos:
 - Cargas (vidrio).
 - Plastificantes.
 - Modificadores.

- Térmicos.

La temperatura de distorsión térmica (HDT).

Es la temperatura a la cual el material muestra una deformación determinada bajo carga constante (deformación y carga vienen dadas por el test).



Mide el efecto de la temperatura sobre la rigidez del material.

Los amorfos tienen una HDT prácticamente igual a la temperatura de transición vítrea (T_g).

Los cristalinos tienen una baja HDT.

- Luminosos.

Tratar con radiaciones de diferentes ondas y tiempo, las modificaciones que se acompañan en dichos ensayos.

- Químicos.

Depende de varios factores, como el agente de contacto, tensiones existentes, temperatura, tiempo de contacto, concentración del agente, exposición (contacto o inmersión).

En amorfos: Son susceptibles a ataques químicos.

En los cristalinos: Son resistentes a hidrocarburos, alcoholes, ácidos y bases (orgánicos, inorgánicos y oxidantes).

CAPÍTULO 3.

INFLUENCIAS EN LA LÁMINA.

1. RELACIÓN DE LA LÁMINA CON EL MEDIO.

Está claro que además del contacto con el agua, donde no entramos en su composición química por entender que estamos empleando agua para riego, la lámina se relaciona con una serie de factores y solicitudes, que afectan por desigual a las diferentes láminas que se fabrican, para tal fin.

Distinguimos dos factores:

- Medio físico.
- Medio biológico.

1.1. MEDIO FÍSICO.

La lámina puede depositarse sobre el propio terreno natural, directamente, o bien, sobre un geotextil. El apoyo puede ser, según la inclinación del plano, de dos formas.

- a) En terreno plano.
- b) En pendiente.

Los apoyos de la lámina en pendiente, posibilita el "cuelgue" y por tanto, esfuerzos de tracción que son relajadas en la solera del vaso, donde la lámina no posee otra solicitud que la de soportar la altura de agua y su contacto con el fondo de la balsa.

Si el contacto de la lámina con el terreno es desigual, irregular, con una terminación deficiente donde existen piedras terminadas en aristas, puntiagudas, etc, éstas terminaran incrustando dicha geometría sobre la lámina y afectará por desigual a la lámina, dependiendo de las propiedades de la lámina impermeabilizante tenemos que si son elásticas, de naturaleza elastomérica, tipo EPDM (recobrando su forma después de la solicitud), o bien son plástico, como el PEAD (adquieren nuevas formas).

Si la lámina se contrae y dilata (PEAD), éste se va frotando con el propio terreno, de ahí la necesidad de colocar láminas de geotextiles que eviten los "arañeos" de la lámina con el contacto del propio terreno, sobre todo en los taludes.

A la lámina se le pide su aptitud con los factores climáticos, como el aumento de temperatura y en un segundo caso, su respuesta a las demandas mecánicas, como la tracción por el “cuelgue”.

La parte de la lámina que se encuentra sobre el talud, es la más castigada y por tanto de mayor necesidad de protegerla. Existen casos cuando la altura sobrepasa los 10 ó 15 metros de altura, la colocación de una doble lámina. La inferior con función impermeabilizante y la superior, de protección con el medio, llamadas familiarmente "baberos". Hablamos de grandes balsas.



Foto 3.1. Balsa de 1 Hm³ en Orito. Sª Aguila. Alicante.



Foto. 3. 2. Balsa de las Salinas. Jumilla. Murcia.

A veces, la imposibilidad de elección de terrenos, lleva implícito un riesgo añadido, como suelen ser los suelos de yesos (sulfatos), donde no se deben de construir al no poseer resistencia portante y reacciones químicas indeseables.

1.2. CLIMA.

No es posible comparar una balsa, sin la referencia al clima, donde se relaciona con la posición geográfica y la altura sobre el nivel del mar. Esta situación obliga por tanto a realizar análisis de cómo afectan las distintas condiciones del clima y adecuar la lámina de forma correcta al medio.

En general, podemos contemplar las siguientes incidencias:

1.2.1. La luz.

La luz va a jugar un papel importante sobre la composición de los elementos estructurales de los distintos polímeros, pudiendo en algunos casos reaccionar y modificar sus estructuras moleculares. Esto crea serios contratiempos, al cambiar también sus propiedades (perdida de plastificante, cuarteamiento de la lámina, falta de flexibilidad) como ocurrió con el PVC.

La radiación solar efectúa dos efectos: el llamado térmico y el de interacciones con la estructura molecular de algunos elementos de la lámina.

La radiación solar posee tres grandes regiones de espectro, el ultravioleta cercano, inferior a los 380 nm, que corresponde a un bajo porcentaje de la radiación solar (2-4%), la segunda región podemos situarla en la del infrarrojo cercano de longitudes de ondas de 730-1000 nm, que es la que proporciona la radiación térmica (50-60%) y por tanto aporta la temperatura (la de onda larga se produce durante la noche y es la pérdida de calor de la superficie radiada durante el día). En tercer lugar, tenemos la radiación visible, de 380-730 nm (nosotros vemos en la región del verde, de 550 nm).

Estas radiaciones van a intervenir de diferentes maneras, según la composición de la estructura de la lámina. Esta interacción es conocida como "plásticos foto-reactivo o bien, foto-resistivo", dependiendo del material empleado en su elaboración, del polímero que lo originó, de la presencia de aditivos estabilizantes en su proceso de fabricación, pudiendo indicarse mediante un índice de valoración la pérdida de sus características (propiedades físicas) y envejecimiento (cuarteado de la lámina, pérdida de elasticidad), aplicando tratamientos de radiaciones a los mismos. Al final se degradan, como nos toca a todos los seres vivos que constituimos nuestra naturaleza con el carbono, por principios de un ciclo orgánico.

La naturaleza del material está muy relacionada con las propiedades físicas como es el índice de fluidez, la viscosidad, etc, ligadas al proceso de fundición para ser fabricados. Estos procesos industriales llevan un matiz de "oscurantismo", para proteger su patente (por ejemplo, de cómo se enfría el PEAD, la temperatura del agua, el tiempo de enfriamiento de la lámina, dependerá sus características). La fundición del material va a tener importancia en el rasgado, tracción, impacto, alargamiento, etc, que se acompaña con el espesor, así pues, nos encontramos en presencia de un material con una vida limitada. La efímera existencia del uso del PVC, alterado por la radiación UV, fue en un principio un anuncio de la caducidad que éstos materiales tienen. Es cuestión de tiempo.

La adherencia de partículas de polvo sólidos sobre la lámina o el desprendimiento de las mismas, favorecerá la protección de dichas zonas o no. El efecto del sombreado de forma indirecta, vendrá a remediar de forma indirecta el problema al reducir la incidencia de radiación solar sobre la lámina, alargando su duración.

Hay que tener en cuenta, que los distintos elementos que formen la lámina, tendrán comportamientos diferentes con la radiación, así el PEBD presenta una fuerte

sensibilidad a la radiación de UV, afectando a la duración del mismo de manera negativa. Al aplicar un aditivo de Ni (entredichos), aminos Hals, negro de humo (cenizas), mineralizándolo para proteger los polímeros de la exposición directa de radiación, evitando la distorsión de su estructura.

Este complejo entramado de aditivos para evitar la degradación de la lámina, distorsionará las características físicas de sus propiedades elásticas (dilataciones, contracciones), originando cambios secundarios (perdida de elasticidad por migración de plastificante que dará rigidez, cuarteándose y rompiéndose más tarde como el triste caso del PVC-P), que los efectos de evitar la sensibilidad a la radiación UV, limitó la propiedad de su elasticidad, dando caducidad y duración a la lámina.

Existen estudios en Canarias sobre seguimiento del comportamiento de distintas láminas, llevados por el equipo de Blanco, Aguiar, Amigó, etc.

Podemos imaginar que no es igual la duración de una lámina de plástico en zonas de alta radiación como Murcia, que la del Norte de España y por tanto, su existencia, por lo que se hace necesaria una reflexión sobre la ubicación.

Dentro de una misma zona, también variará la orientación de la balsa, determinando distintas intensidad según exposición solar. Es conveniente buscar la orientación que incida en una menor exposición como es la cara Norte, mejor que la del Sur.

1.2.2. La temperatura ambiental.

¿ Es igual el cambio de temperatura del día a la noche, del verano al invierno, de zonas de una misma lámina en contacto libre con la atmósfera y la otra mojada?. Parece lógico que no, que nuestra lámina se verá afectada dependiendo del material empleado.

Hay que determinar cuales son las temperaturas máxima y mínima a la que estará expuesta la geomembrana, para fijar las características mínimas de la lámina.

Existen láminas que poseen una alta dilatación de la superficie de la lámina durante el día o época de temperaturas altas y contracciones durante la noche o periodos fríos. Estas láminas son características de los materiales termoplásticos, como el PEAD. Otros sin embargo no alteran la superficie con las diferencias de temperaturas, son láminas termo-estables, como derivadas del caucho, tipo EPDM.

El hecho del aumento o disminución de la superficie, se debe al aumento de la energía de los enlaces del hidrógeno que están libre, permitiendo una “relajación” de los enlaces intermoleculares (enlaces dipolares) de las cadenas.

Respecto a las bajas temperaturas que puedan favorecer la formación de hielo, se deberá cotejar el riesgo de perforación de los hielos flotantes y el riesgo de desgarro de la geomembrana en caso de cambio de nivel bajo la capa de hielo.

1.2.3. El aire.

El butilo es el predecesor de la lámina al aire libre que hoy vemos tan normal, expuestas en las balsas. Desplazó al PEBD, protegidos con gravas y arenas,

exponiéndose libremente al exterior, pero pasado el tiempo, se vio que le afectaba el ozono. No sería de extrañar que la composición de los gases de industrias cercanas, puedan afectar de igual manera a otras láminas, dependerá del grado de afectación en su composición.

1.2.3.1. El viento.

El viento influye de dos formas:

- **Succión** de la lámina, levantando y arrastrándolo fuera del vaso.



- **Oleaje** que puede provocar desgarró en la lámina y originar desprendimiento de tierras del talud, formando escalones en la zona combatida y acumulación de los arrastres en forma de bolsas en la parte inferior.

Los efectos de éste varían:

- Según intensidad, dirección.
- Situación de la balsa (construcción, servicio).
- La superficie expuesta: extensión, forma de los taludes (mayor succión con poca pendiente y mayor efecto de playa en el oleaje).
- Situación de servicio (lleno menor succión y peor circunstancia para el oleaje).
- Forma del embalse (alargado y coincidentes en la dirección del viento, más negativo).

- Tipo de lámina (el PEAD al poseer arrugas, se encuentra en peor situación que el EPDM, que está liso, sin embargo por la elasticidad, el EPDM sufre en mayor medida el efecto de la succión).

El efecto de succión es muy desfavorable para la lámina porque puede arrancarla o desgarrar parte de la misma. Normalmente la dirección del viento suele ser a veces en un sentido inequívoco, por ejemplo los aragoneses cuando les viene el frío dicen: "Sopla del Moncayo". Es cuestión de estudiar las direcciones de los vientos.

Los sistemas de defensa son:

- cortavientos (vegetal, vallas, etc).
- Drenajes de gases con chimeneas.
- Aireadores (cortes en la lámina para evacuar gases, tapados mediante solapas, por encima de la lámina de agua. Esta situación yo no me atrevería a colocarla, pues lo más normal es que del tirón inevitable, le ayude a romperla por dicho corte).
- Maestras de hormigón apoyadas en el talud.
- Anclaje de la lámina.

El otro problema del aire es la formación del oleaje que golpea de forma constante, una franja del talud, normalmente fija y en su parte superior. Si el material granular debajo de la lámina en esta zona, no posee una buena cohesión, resbalará a zonas inferiores y provocará un escalón, donde por fricción de las olas sobre la lámina, terminará por dañar el área marcada en la lámina, rompiéndola al final.

El material granular desprendido en éste efecto, se desplaza a través del talud, sobre la lámina y el terreno y formará una bolsa en el pie o los anclajes intermedios, lo que produce una serie de tensiones nuevas e innecesarias sobre la lámina.

Aquellos taludes muy tendidos, se ve favorecido el "efecto playa" que aunque no se dan desprendimientos de materiales, si que amplían el área de trabajo del oleaje. Está contrastado por Aguiar en algunos embalses tinerfeños, la pérdida de plastificante en láminas de PVC-p de éstas áreas sometidas a oleajes.



Foto nº. 3. 4. Oleaje en la balsa La Ina, Cieza. Murcia.

La parte del talud afectada por el oleaje es la contrapuesta a la cara de la succión, provocando salpicaduras. Esta pared recibe el empuje del viento, lo que se conoce en navegación como barlovento, "a toda vela". En ésta zona las maestras de hormigón sobre los taludes, suelen ser innecesarios, porque la lámina está incrustada contra el talud, sin embargo los bordillos o muros sobre el perímetro coincidente, necesita de mayor consistencia para soportar la fuerza del viento sobre sus paramentos, lo que debería de preverse con planos aerodinámicos a dichas direcciones, al objeto de no oponer resistencia al viento.

1.2.3.2. Transporte de suspensiones aéreas.

A veces el viento produce el transporte de elementos en suspensión, como polvos, ramas, semillas, pólenes, etc, que se depositaran sobre la lámina al descubierto.

La forma como a veces es acompañada una lluvia, un granizo, puede ser incrementado, si se acompaña con intensidad del viento, golpeando insistentemente y con violencia, la lámina descubierta.

1.2.3.3. Composición.

En aquellas balsas cercanas a polígonos industriales, podrían incidir las emisiones de algunos compuestos gaseosos sobre la lámina, al depositarse sobre las mismas ácidos y derivados del petróleo (CO_2).

Algunos sistemas de pólenes y resinas como los del eucalipto y pinadas, deberían de estudiarse su repercusión sobre la lámina.

1.2.4. El granizo.

El tamaño del granizo y sobre todo, el momento en que se encuentra la balsa durante su servicio, fundamentalmente, en la situación de vacío, incide de forma negativa. Esta situación se agrava en el caso de lámina de PVC-P y disminuye algo más en el EPDM, influyendo, como no podía ser de otro modo, la pendiente del talud (peor en los acostados).

Las características de los daños en la lámina suele parecerse a formas de estrellas, donde en el centro de las mismas contiene un hueco rodeado de pequeñas fisuras concéntricas y que suelen hallarse en las zonas no cubiertas por el agua, de forma dispersa, aunque a veces pueden ser aislados.

1.2.5. La helada.

Este efecto de formación de aumentos de volúmenes sobre superficies cerradas, con estados de cristales de hielos, provocando en las zonas diferenciadas (fase líquida y sólida) incrustaciones y desincrustaciones de estas agujas, lo que lleva en sitios fríos (hemos hablado en la temperatura), el consiguiente análisis de requisitos y donde las láminas flexibles ganan el terreno a las menos elásticas, como son el EPDM frente al PEAD.

2. BIÓTICO.

2.1. FLORA.

Estos daños pueden venir por el consiguiente efecto del crecimiento de **vegetación** en la zona del resguardo del vaso, siendo la más común en la cercanía con el pasillo de coronación. También se pueden dar y esto es más grave, en la propia solera del vaso si son aprovechadas zonas bajas, cerradas, lechos de barrancos, donde quedan restos de rizomas de cañotas, juncos, difíciles de tratar

He podido observar como durante la ejecución y antes de proceder a cubrir con la lámina, suele ser normal que se produzca lluvia provocando encharcamientos en la solera, dando lugar a brotes de malas hierbas si contienen restos de materia vegetal. En la foto que se muestra a continuación, la vegetación se está produciendo en los sitios húmedos como son los drenajes.



Foto n°. 3. 5. Drén próximo a cubrir con nacimientos de plantas.

En las de hojas ancha no existen problemas, no así en las estrechas, sobre todo cañas y gramas que perforan la lámina al ir endureciendo su tallo herbáceo en leñoso.

Cuándo se hace la siembra del talud exterior, hay que huir de plantas que posean sistemas radiculares potentes y que se encuentren cercanas al pasillo de coronación. Plantas con raíces hidrófilas hay que prohibirlas, siendo las plantas de características xerófitas (de abundantes raíces), sin problema.

El pasillo debe estar limpio de malas hierbas, sin charcos, bien con protección de buen material granular (cosa que suele obviarse) y compactado, asfaltado o aplicaciones de tratamientos con herbicidas.

2.2. ANIMALES.

En cuanto a la **fauna**, a pesar del cerramiento, suelen entrar animales a beber, sobre todo si se está cercano a sitios de monte y sierra donde los jabalís, zorros, perros, gatos, etc, encontrarán sitios débiles en la valla y posiblemente mueran ahogados. En éste trance suelen intentar su escape a tal situación mediante arañado, pudiendo dañar la lámina al realizar su instinto de conservación.



Foto nº. 3. 6. Zorra muerta al lado de cuerda auxiliar.

Existen estudios de cómo les influyen los topos, ratas, ratones, etc a la lámina, donde parece que existe una baja incidencia, aunque depende del tipo de la lámina. Los derivados de PVC, presentan preferencias.

Si la balsa posee tomas de río, puede ser que proliferen que pueden servir de sustento a colonias de aves. Las tortugas afectan a la lámina al clavar sus uñas para salir fuera.

Existen daños de gaviotas sobre láminas de EPDM, según muestra la foto siguiente, donde han picoteado el “babero” de la lámina que se encontraba en vacío.

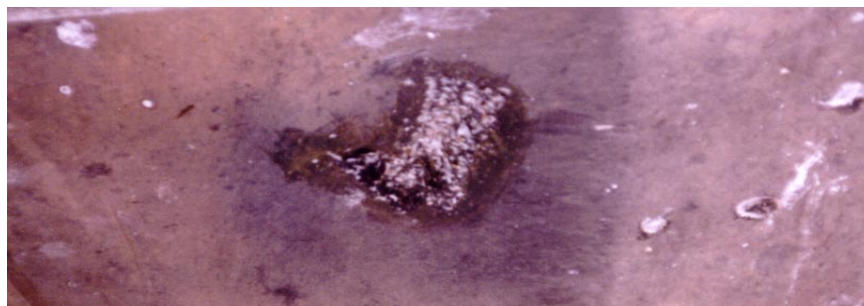


Foto nº. 3. 7. Balsa de 200.000 m³. rev en EPDM. Torrecilla. Lorca Murcia.

3. PROPIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS.

No existen propiedades aisladas, sino que están relacionadas entre sí, siendo dependiente algunas de otras. Un espesor mayor tendrá mayor resistencia a la tracción en algunos casos y menor resistencia a la punción, por ejemplo en el caso del PEAD.

Aunque la mayor solicitud a la que consideramos como más importante es la resistencia a la tracción, no debemos considerarla de forma aislada sino relacionadas con otros aspectos que componen la siguiente relación, distribuidas por sus propiedades específicas.

- **Propiedades físicas.**

1. Espesor de la lámina.
2. Densidad.
3. Transmisión del vapor del agua.

- **Propiedades mecánicas.**

1. **Comportamiento a la tracción.**

2. **Comportamiento con las soldaduras.**
3. **Resistencia a los desgarros.**
4. **Resistencia a los impactos.**



5. **Resistencia a la punción.**

6. Características fricción.
7. Rotura por tensión.

- **Propiedades químicas.**

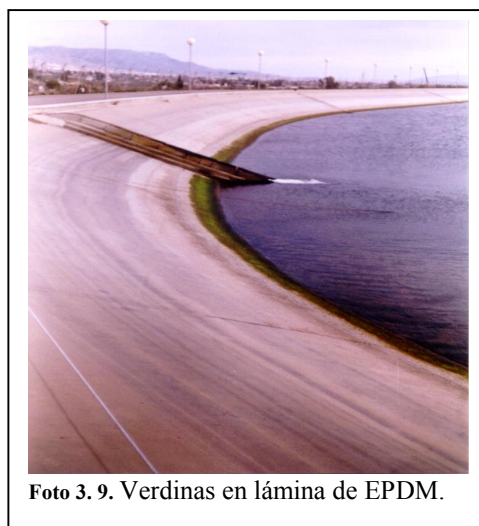
1. Resistencia al hinchamiento.
2. Compatibilidad química.

3. Resistencia al ozono.

4. Resistencia a la R.U.

- **Propiedades biológicas.**

1. Resistencia a los animales (repulsión).



2. Resistencia a hongos.
3. Resistencia a bacterias.
4. Resistencia a raíces.

- Propiedades térmicas.
1. Comportamiento con las altas temperaturas.
 2. Comportamiento con las bajas temperaturas.
 3. Dilatación térmica.
 4. Contracción térmica.

Los ensayos se realizan según diversos tipos de normalización y dependerán de los distintos tipos de materiales.

3.1. INFLUENCIA TÉRMICA SOBRE LA LÁMINA.

Debemos distinguir dos formas importantes de conducirse la lámina con respecto a la temperatura, aquellas que son:

- Termoplásticas.
- Termoelásticas.

La temperatura que recibe la lámina es variable, puesto que existen distintas áreas afectadas o no por el calor que proporciona el sol. También cabe distinguir si la zona está mojada o seca, de la exposición a la luz solar, del cambio de temperatura entre las horas diurnas y nocturnas, etc, afectando de distinta manera las diferentes láminas.

Si además añadimos que el color negro en la mayoría de ellas, absorbe mas calor, tendremos aún mayor incidencia con la temperatura y nos podría surgir la duda de cambiar a otro color. La respuesta viene dada por la necesidad de proteger con cenizas la radiación U.V. y lo fácil que es su dispersión como tinte, siendo por tanto la absorción de temperatura un mal menor.

Las láminas termoplásticas son aquellas que la temperatura afecta a la superficie, bien

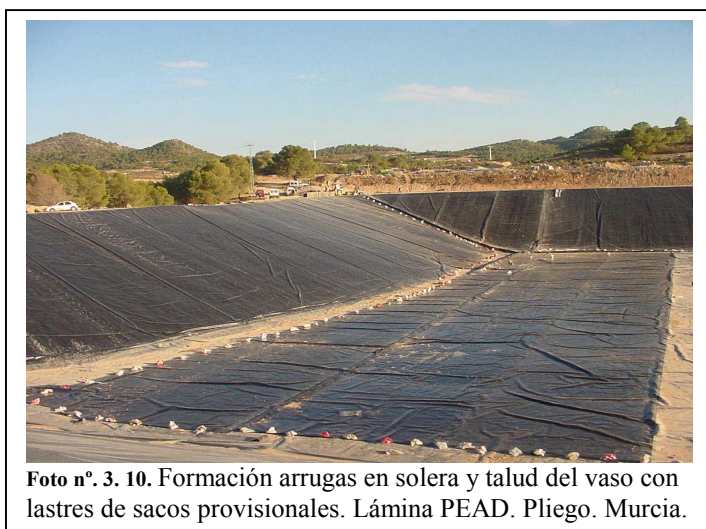


Foto nº. 3. 10. Formación arrugas en solera y talud del vaso con lastres de sacos provisionales. Lámina PEAD. Pliego. Murcia.

de modo permanente (zona de punzonamiento) o temporal, recobrando la superficie inicial, una vez cesa la acción que los modificó.

Estas situaciones son consecuencias de la excitaciones de los enlaces dipolares de las moléculas del PEAD.

Estas láminas se reconocen desde lejos, por la presencia de arrugas, debido a los movimientos de la lámina durante el día, según la temperatura. Hay que dimensionar bien éstas láminas, dejando en los puntos singulares de entregas a las obras de fábrica, a los anclajes de la lámina en el pasillo, suficiente lámina para que rompa en las contracciones. Hay que evitar ángulos pronunciados, mejor bordes romos en las obras de fábrica. Estudiar bien la entrega en bridas para evitar roturas. “La arruga es bella – frase de sastres para vender trajes confeccionados con telas de lino- y la gabardina holgadita”. En nuestro caso, necesario.

Las láminas de EPDM son termoestables, apenas les afecta a su composición elastomérica la acción de cambios de temperatura, al menos en una dimensión importante. Este hecho es el fundamento de su imposibilidad por termo-soldadura.



Foto n°. 3. 11.

Balsa de 100.000 m³ recién terminada en Torres de Cotilla. Lámina EPDM.

4 DIFERENCIAS DE LÁMINAS MÁS USUALES.

4.1. DISPARIDAD DE CRITERIOS EN LA ELECCIÓN.

Se puede resumir en dos, los tipos de geomembranas, aquellas que tienen "memoria" de su inicio y las que son "olvidadizas" de sus orígenes. En las primeras tenemos aquellas que después de su obtención (mediante formas en prismas, cilindros) son de nuevas tratadas y modificadas por tratamientos de calor para formar parte de otra estructura distinta: la laminar (estirando sobre los primas, cubos, cilindros, etc). Estas tienen tendencias a "rebelarse" y presentan problemas en su estructura química, que son progresivamente **inestables**, tendentes a modificar sus estructuras. En éste grupo tenemos los PVC, los butílicos, limitando su existencia. En un segundo grupo, tendríamos a los "olvidadizos" y que en su composición no hubo un gran paso intermedio, formándose desde el inicio como productos laminados (eso sí, a partir de granza) y constituyen los polietilenos.

Pero estas interpretaciones, de "láminas con memoria o desmemoriadas", sería una simple conclusión, puestos que existen otros elementos de naturaleza química que se combinan para dar un resultado final, como son:

- Elementos añadidos a los radicales mediante formulación química, por ejemplo el cloro, cambiando sus propiedades.
- Inserción de otras estructuras, como fibras de vidrio, hilos sintéticos.
- Plastificantes, que dependerán del tipo, calidad, unión, etc.
- Proceso de fabricación: números de capas, continuidad.
- Dispersión del negro de humo
- Reacciones posteriores (radiaciones U.V., ozono).

Estimar su vida útil, la durabilidad en el tiempo, es una consecuencia de cúmulos de interacciones de diferentes acciones, además de las características de la geomembrana de su composición, aditivos, armaduras o no, espesor, apoyadas en el terreno o geotextil, soldaduras, solicitudes, climas, servicios, etc.

Los ensayos se realizan según diversos tipos de normalización y dependerán de los distintos tipos de materiales, a modo de orientación, los distintos ensayos que suelen realizarse en EEUU.

Tabla de métodos de ensayos para láminas geosintéticas.

Tipo.	Propiedad	Ensayos.
Geotextil.	Espesor (mm).	ASTM D-1777.
	Masa por unidad de superficie	ASTM D-3776.
	Dimensiones (cms)	Directas.
	Resistencia tracción/elongación	ASTM D-4632.
	Por Grab	
	Resistencia a desgarro trapezoidal	ASTM D-4533
	Resistencia explosión hidráulica	ASTM D-3786
	Resistencia a punción	ASTM D-3787
	Permisividad	ASTM D-4491
	Transmisividad (cm ² /sg)	ASTM D-4716
* De Landreth, 1990.		

Tabla 3. 1.

De la forma como tengamos diseñadas la planta, de su altura de calado, de aristas de obras de fábrica de hormigón (bordes curvados), del terreno (piedras con aristas, pizarras, etc), de la inclinación de los taludes (más inclinación, mayor tracción), tapadas con arena y grava o no (predominan estas últimas, puesto que la recubierta exige taludes 5:2 ó bien 3:1), de las entregas en los anclajes, de los soportes de lastrados, etc. tendremos necesidad de una u otra geomembrana.

Por último, de cómo trabaja el embalse, de sus permanencias en "seco", de la zona climática (sol, viento), se determinarán partes de otras acciones a tener en cuenta en su vida útil y duración.

4.2. VIDA ÚTIL.

Debe situarse en torno a los 20 años de su existencia como mínimo, aunque la experiencia de muchas ellas no se sitúan ni en los 10 años, como les ocurre a los PVC.

Resaltan los estudios llevados a cabo por Manuel Blanco y Escolástico Aguiar en más de una docena en diferentes embalses canarios, con antigüedad en algunos de ellos de 1.985, donde predominan diferentes PVC/p homogéneo, fibra vidrio, hilo sintético; PEAD; PEMD; EPDM; EVA; PP; otros.

Concluyen en un detallado informe:

- PVC: Pérdida de plastificante menor en las homogéneas. Las de fibras de vidrio bien. En la unión de las compuestas, el poliéster y la resina vinílica no son buenas, al tener coeficientes de dilataciones distintos, conduciendo a fallos en el material y fundamentalmente en la zona de soldadura, ocasionando el fenómeno de la deslaminación. La parte más soleada y superficial, es la que presenta más pérdida de plastificante, mayor retracción y rotura en el ensayo de doblado a bajas temperaturas (alguno a los dos y tres años de su colocación).
- PEAD: Presenta un problema en el punzonamiento estático. Presenta problema desiguales en pruebas de tracción.
- EPDM: Impacto estático es bueno, menor valor en tracción y desgarró, pérdida de alargamiento y baja resistencia al pelado.
- Propileno y EVA/C: Elevada resistencia al punzonamiento estático, sobre todo el EVA.

4.3. GARANTÍAS.

Las garantías dependen en parte de sus propiedades, a modo de orientación.

MATERIAL.	Butilo.	P.V.C.	PEAD.	E.P.D.M.
Densidad (g/cm ³).	1,25	1,21	0,94	1,26
Deformación en rotura.	>400%	>250%	>500%	>350%
Resist. Rotura (N/mm ²)	8-10.	15-20.	25.	8-10.

Tabla n°. 3. 2.

Estos valores corresponden a materiales sin refuerzo alguno, con cargas de poca duración y ensayados a temperatura ambiente. Al no ser materiales elásticos se producen deformaciones no recuperables importantes si la sollicitación es permanente. Además es preciso considerar la existencia de fenómenos de fluencia, es decir, de aumento de la deformación a carga constante.

Afortunadamente la tipología adoptada usualmente no origina que las membranas estén sometidas a grandes tracciones, que de existir deberían ser evitadas con medidas complementarias.

De más relevancia es el fenómeno de rotura por incrustación de cuerpos con aristas vivas (guijarros) que también obliga a disponer sistemas de protección contra la rotura por punzonamiento estático o dinámico. También el cuarteamiento debería de incluirse.

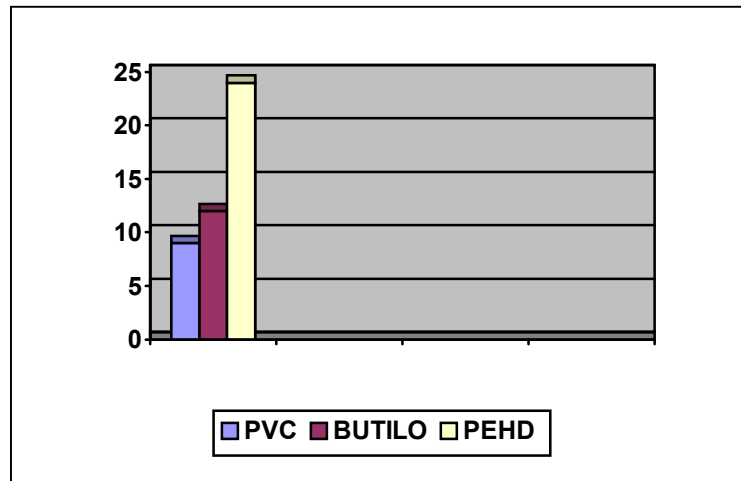


Gráfico 3.1.

En el gráfico anterior se muestran distintos cuadros comparativos de sus principales requisitos, el desgarró, tracción, punzonamiento. Hay que tener en cuenta que no participa el EPDM, por falta de datos verificados en el tiempo.

4.4. SEGUIMIENTOS.

En Murcia no existe ningún seguimiento de la evolución de las láminas, de manera por parte de la Administración. Estas situaciones se resuelven en un medio natural de sustituciones de hábitos de colocación, por deficiencia de las anteriores, como fue el caso del PVC, asumiendo el riesgo de la pérdida económica, sin más.

CAPITULO 4.

GEOMEMBRANAS DE BALSAS.

1. INTRODUCCIÓN.

Describir los métodos de obtención de cada una de las láminas, sus controles de producción, reacciones de polimerizaciones, etc, precisaría de por sí un tratado exclusivo para su desarrollo. El objetivo que se pretende en este capítulo, es dar una información sobre las principales láminas instaladas en la balsa.

2. MATERIAS PRIMAS: RESINAS, POLIÉSTERES Y ADITIVOS UTILIZADOS PARA FORMAR GEOMEMBRANAS.

La resina de mayor uso es el etileno, empleado para producir para producir PEAD y EPDM.

Establecidas la línea de producción, se realizan ensayos previos de las materias primas para revelar no sólo la idoneidad y pureza, sino también la adecuada productividad del equipo industrial, la compatibilidad con los aditivos y una serie de factores como temperatura de fusión de la mezcla, tiempo de curado, etc, cuyos datos son manejados por los laboratorios internos del fabricante. Estos ensayos se realizan por medio del CDS, cuyos resultados vienen representados en los termogramas para su interpretación.

En el empleo de aditivos más comunes, tenemos los lubricantes, que ayudan a realizar una buena extrusión, con la temperatura de fusión correspondiente.

En colorantes, el más utilizado es el negro de humo o cenizas de carbón.

En los aditivos estabilizadores, elementos variados de tipo compuestos metálicos.

En los antioxidantes, compuestos de nitrógeno.

3. ETILENO.

3.1. ANTECEDENTES.

Durante los años 20, del pasado siglo, se llevaron a cabo innumerables experimentos para convertir el etileno en combustible líquido para motores; trabajos en los que se empleaban fuertes presiones a las que el etileno se prestaba con facilidad por ser un gas. En estas investigaciones no se llegaron a obtener el buscado combustible líquido, en cambio se obtuvo un producto residual de aquellos intentos, que fue un nuevo plástico. Este se comercializó a partir de 1.930 en Inglaterra y poco más tarde en Alemania y EEUU.

3.2. COMPOSICIÓN QUÍMICA.

Todos los plásticos de polimerización se obtienen a partir del etileno o de sus derivados, por adición en sus radicales libres. $\text{CH}_2 = \text{CH}_2$

Recordemos que la clasificación de los compuestos orgánicos, se dividen en:

- **Alifáticos.**
- Aromáticos.
- Heterocíclicos.

A nosotros nos interesa el primer grupo, el de los ALIFÁTICOS, relacionados con el origen del metano: CH_4 , de cadenas abiertas en la mayoría. Su constitución pertenece a los HIDROCARBUROS, donde al sustituir el hidrógeno, forman GRUPOS FUNCIONALES muy numerosos.

Si se unen con enlaces sencillos, tenemos hidrocarburos saturados y de éstos, si son abiertas constituyen las parafinas y cerradas las cicloparafinas.

Si dos átomos de carbono se unen con doble enlace, se tienen **las OLEFINAS** (formadores de aceites, al ser combinado con el cloro), también denominados y más conocidos como **alquenos: $\text{CH}_2 = \text{CH}_2$.**

La unión de éstos dos enlaces es de menor resistencia que la sencilla. Esto se debe a que la tensión originada con los dos átomos de carbono, provoca una gran reacción química manifestada por la tendencia a formar compuestos de adición,

rompiéndose el doble enlace, esto es, suprimiendo la tensión entre las direcciones de las valencias.

El etileno es un gas incoloro, de olor agradable, con propiedades notables. Debido a su doble enlace, carácter no saturado, se combina con muchas sustancias, formando grupos importantes, como el $\text{CH}_2 = \text{CH}_\cdot$, radical VINILO.

El Etileno se obtiene por la deshidrogenación del etano y también por *cracking* del propano, componentes del gas natural.

El polietileno se obtiene de forma industrial mediante el proceso Ziegler a presión normal y 70°C empleando trietilAluminio $\text{Al}(\text{C}_2\text{H}_5)_3$ catalizado por titanio ó bien con cromo.

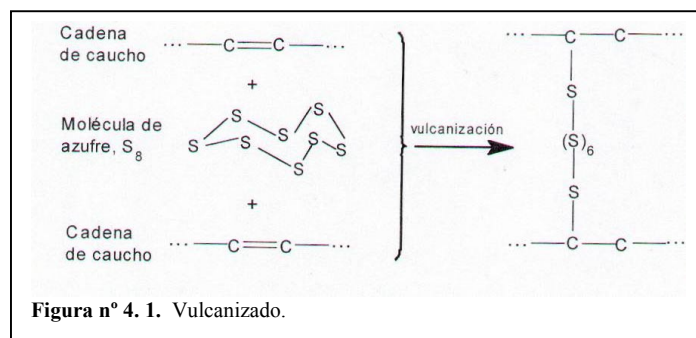
El cloruro de polivinilo $\text{CH}_2=\text{CHCl}$, forma un producto duro con gran resistencia a la tracción, deformación y gran dureza, donde al ir **añadiendo plastificante**, disminuye las fuerzas dipolares entre las cadenas lineales y los enlaces de puente de hidrógeno.

4. EL CAUCHO.

El caucho es un hidrocarburo de gran importancia que se obtiene a partir del látex de ciertos árboles de la zona tropical. Fue observado desde la época de Colón pero permaneció sin ninguna utilidad hasta que GOODYEAR en 1839, descubrió que amasándolo con azufre y calentándolo a 100°C formaba un producto útil, no deformable por calor, no quebradizo en frío y sobre todo, no pegajoso, que **después de estirarse** recuperaba su forma primitiva.

Curiosamente, a este hallazgo se llegó por casualidad, al encontrar cierta mañana que un resto de latex dejado encima de la mesa, había cambiado su estructura. Estudiando su origen (personalidad curiosa), se dio cuenta que en la mesa se había derramado azufre de manera accidental y había estado en contacto durante toda la noche. Indiscutiblemente no existía línea de estudio que hubiese previsto echar azufre. Cosas del azar.

Las moléculas de S_8 rompen su ciclo y enlazan las moléculas de caucho, formando puentes de azufre que unen las moléculas de caucho, dando lugar a un entramado. Este proceso se conoce como **VULCANIZACION**.



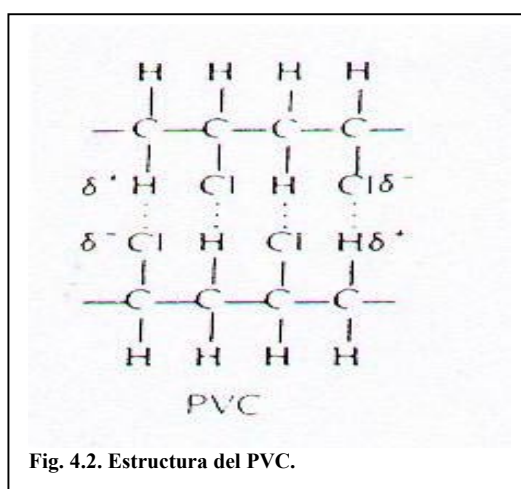
El azufre efectúa la multitud de enlaces cruzados entre las cadenas de poliisopreno.

Charles y Nelson Goodyear, transformaron el caucho de la Hevea, en un elastómero de utilidad (caucho vulcanizado) o un plástico termoestable (ebonita), calentándolo con cantidades pequeñas o grandes de azufre, respectivamente.

Por polimerización del isopreno (caucho natural) con alquadienos se obtienen los cauchos sintéticos conocidos todos estos como elastoplásticos o **elastómeros** que dan lugar a un enorme abanico de composiciones a partir de butadieno y cloropreno.

5. MATERIALES LAMINADOS DEL TIPO PVC.

Su composición química, responde a la siguiente formulación:



Los distintos tipos de láminas comerciales, son:

- a) Láminas de PVC plastificado sin armadura.
- b) Láminas de PVC plastificados con armadura de fibra de vidrio.
- c) Láminas de PVC plastificado con armadura de tejido de hilo sintético.

- a) Láminas de PVC plastificados sin armadura.

Posee un espesor inferior a 0,8 mm, con resistencia a los microorganismos y a las raíces, modulo elástico, resistencia mecánica (tracción, impacto y desgarro), alargamiento, retracción, absorción de agua.

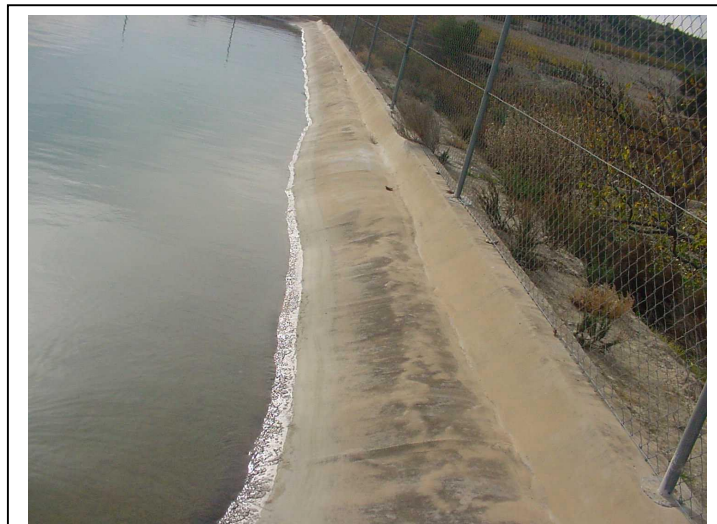


Foto 4. 1. Lámina de PVC.

- b) Lámina de PVC plastificadas con armadura. Espesor 1 mm y lo demás igual.
- c) Lámina de PVC con armadura de hilo sintético: Espesor 1,2 mm.

En general, este material lleva tiempo en el mercado y se ha podido contrastar su comportamiento práctico con el tiempo. Fue mejorado con la unión del grupo vinilo con el poliéster (a modo de armadura del tejido, también plastificante).

En la lámina que poseen compuestos de diferentes tipos, con diferentes coeficientes de dilataciones, resulta que cada uno sigue una “marcha” distinta de dilataciones, según su coeficiente, provocando alargamientos y contracciones también diferentes según la temperatura ambiente. Al final de los años se presenta una

"deslaminación", sobre todo en las soldaduras, lo que se traduce en la ruina de la lámina.

Podíamos preguntarnos el porqué se arriesgan los fabricantes de láminas en añadir otros productos, en adicionar láminas y no dejar un solo producto "homogéneo". La respuesta obedece a la ventaja que ofrece unir distintas propiedades haciéndola mas ventajosa, mediante la potencialidad de sus propiedades. En el debilitamiento de zonas puntuales con el punzonamiento, mejorarlo, de ahí el reto industrial.

Esta geomembrana sintética está formada por una resina de la mencionada poliolefina, PVC, Poli (cloruro de vinilo), a la que se le agrega una serie de aditivos (plastificantes). Una determinada resina puede diferir de la que compone la formulación de otra geomembrana en cuanto a su peso molecular y estructura de la macromolécula, todo ello debido a los procesos de polimerización.

Los productos de aditivos que acompañan las resinas en la formulación de las láminas, tienen como misión transformar al poli (cloruro de vinilo) duro y frágil en un material más dúctil y flexible. Estos productos plastificante suelen ser ésteres de elevado peso molecular, aportando una cantidad superior al 50 %. Normalmente, cuanto más largo sean los radicales alquilo que sustituyen los -H (hidrógenos), mejor será el comportamiento del material obtenido; por ello se da la circunstancia de que en la lámina multicapa, la capa externa está plastificada con un éster de mejor calidad y el resto de las capas, con otro de inferior prestaciones, con lo cual se abarata la lámina.

La pérdida de éstos plastificantes por extracción o, fundamente, por migración, conlleva a la geomembrana a una degradación progresiva y el material va perdiendo flexibilidad, se vuelve más frágil y quebradizo y finalmente, se rompe.

El proceso de la degradación es más acusado si la balsa pasa largo tiempo vacía, expuesta a la intemperie y a la radiación ultravioleta (los fabricantes de PVC aducían que con aquellos plastificantes se estabilizaban, pero por la experiencia demostró que sólo lo atrasaba algunos años).



Foto 4. 2. Balsa abandonada de PVC.

El PVC no posee resistencia a la tracción en el límite elástico, ni propiedades de relajación de tensiones. Además, en el caso de asentamientos de la base, el PVC se deforma dentro del área específica, sin distribuir las tensiones a un área mayor.

6. MATERIALES LAMINADOS DE ELASTÓMEROS.

Estos materiales se favorecen de manera indirecta, de las investigaciones efectuadas en la industria del neumático, las cuales son trasladadas sin mayor coste a la aplicación de láminas, con las adaptaciones de las demandas efectuadas.

Los distintos tipos de materiales de elastómeros, son:

A) Láminas de caucho sintético (IIR).

El caucho butilo es un copolímero de isobutileno y una pequeña cantidad de isopreno. Su empleo se inició a principio de los años sesenta.

Tiene un largo periodo de vida útil por su buena resistencia al envejecimiento. Buen comportamiento con las diferencias de temperaturas, bases, ácidos. etc.

Elasticidad del 400 % de su superficie, lo que le confiere un alto poder de amortiguación a cualquier impacto, vibración, solicitud, etc.

El caucho de butilo, al establecerse sin ningún tipo de protección, fue pionera en la técnica que hoy conocemos como impermeabilización, sin embargo, el problema de éste con el ozono, hizo retroceder su introducción, siendo mejorado éste material, aunque pronto le sucedería el EPDM.

Suelen colocarse en otras aplicaciones como son cubiertas de edificaciones, además de balsas. Sus espesores más normales son de 1mm, 1,2mm y 1,5 mm.

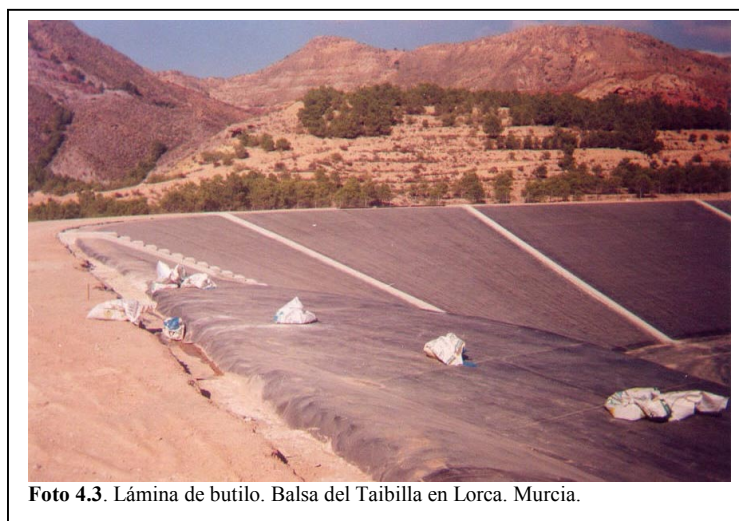


Foto 4.3. Lámina de butilo. Balsa del Taibilla en Lorca, Murcia.

B) Láminas de etileno propileno dieno monómeros (EPDM).

Por su importancia, lo veremos en el siguiente punto.

C) Láminas de caucho de cloropropeno (CR).

Apenas si tiene aplicación en la actualidad.

En general, el espesor mínimo de las láminas será de 1 mm y su peso específico será superior a $1,5 \text{ gr./cm}^3$ excepto en el EPDM no vulcanizado que será superior su espesor a 1,5 mm.

El adhesivo empleado para la unión de las membranas será butilo disuelto en exano, tolueno o xileno, sellado con una masilla de EPDM.

7. E.P.D.M.

Caucho sintético compuestos de monómeros de etileno, propileno y dieno. EPDM (Monómeros de etileno, propileno y dieno). Obtenido por calandrado y posterior vulcanización.

A la polimerización del EPDM se acompaña el negro de carbón, lubricantes de proceso, materias auxiliares y agentes vulcanizantes.

El EPDM está poco afectado por cambios de temperaturas ambientales, al ser termoestable. Son resistentes al desgarrar, al punzonamiento y a la abrasión. Posee una elasticidad mayor al 300 % de la superficie, lo que permite su fácil acomodo a cualquier solicitud, tanto temporal como fija.

No posee aceleración al envejecimiento en contacto con el ozono, ni a U.V.

Son fáciles de colocar y presentan un manejo fácil.

Necesitan de un periodo de madurez en su colocación, para que suelten las arrugas del doblado.



La forma de unión es mediante técnica de vulcanización. (limpieza química, vulcanizado, sellado de junta). Con el paso del tiempo, consigue su madurez de los reactivos, lo que lleva a una especialización del manejo y curado de las uniones.

La soldadura de las uniones del EPDM o vulcanización, responde al mismo principio de su fabricación, con los enlaces de azufre.

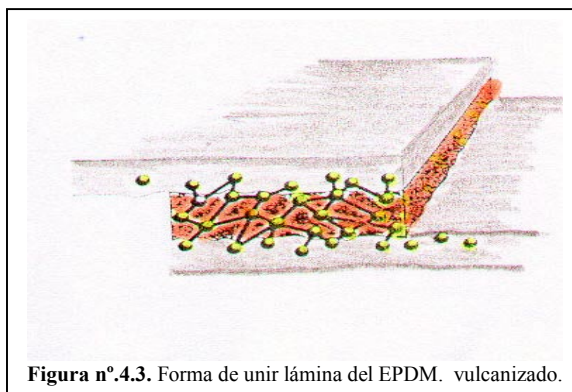


Figura n°.4.3. Forma de unir lámina del EPDM. vulcanizado.

La naturaleza elastomérica le confiere carácter termoestable, lo que es una ventaja con respecto a los materiales termoplástico. El que sea termoestable significa que no le afecta el calor, lo que implica un mejor resultado en la obra y su evolución en el tiempo (mejora con el tiempo sus propiedades).

Pero como lo bueno dura poco, posee el inconveniente de que su soldadura no puede realizarse por termofusión, ya que no le influye el calor, teniendo que recurrir a distintas combinaciones de disolventes y productos orgánicos adhesivos. Este consiste en colocar un adhesivo empleado para la unión de las membranas de naturaleza butílica disuelto en exano, tolueno o xileno, sellando con una masilla de EPDM.

Esta técnica adhesiva, posee el problema que al calentarse la lámina por el sol, los disolventes retenidos en la zona de la soldadura se expanden y producen burbujas o ampollas, que si bien no suelen tener en general problemas, empeoran el aspecto del acabado y crea una suspicacia y malos entendimientos del acabado.

En la otra técnica, llamada vulcanización "in situ", desaparecen los fenómenos provocados por el disolvente. El aspecto de la terminación de acabado, es mejor.



Foto 4.5. Blanco entre las dos láminas del solape efectúa el vulcanizado entre las dos láminas y el tubo rojo, sella la junta del EPDM.

Se aplican diferentes técnicas, según fabricante, siendo más habitual la de tubos acoplados a dispositivos de apriete, como los de la foto anterior, siendo el del tubo blanco el aplicado entre las dos láminas (solapes, observe la mancha sobre la superficie, de haber doblado la lámina, a la izquierda del tubo blanco), se deja curar más de un día, se levantan las pestaña del solape y se acopla la pasta del tubo rojo (sellante de EPDM)

Cuando existe un fallo, un roto de la lámina, la reparación de la lámina presenta cierta dificultad. Son complicadas dichas reparaciones, debido al cambio experimentado por el elastómero con el paso del tiempo.

En una reparación puntual, se precisa llamar a un especialista. Éste, realizará un “pelado” para recuperar la parte del tejido menos afectado y fijar la nueva tela a la anterior (algo envejecida). Suele ser difícil las uniones de éstos parches, dando problemas en sus reparaciones posteriores.



Foto nº. 4.6.. Parches levantados en lámina de EPDM. Torrecilla. Lorca. Murcia.

Un problema importante de ésta lámina es su baja resistencia al impacto dinámico cuando es joven, de tal manera que una lámina de reciente fabricación, cuando se va a instalar, no tiene prácticamente resistencia mecánica, lo que debe tenerse en cuenta a la hora de su colocación. Con el tiempo, se va produciendo la vulcanización total y al cabo de uno o dos años, el material ya resiste la acción del impacto dinámico. Contrariamente, el comportamiento de este material al impacto estático es extraordinariamente bueno.

Otro fenómeno a tener presente, es el empleo es la limitación con las aguas depuradas. Este tipo de elastómeros presenta una resistencia muy limitada a ciertos aceites y disolventes disueltos en este tipo de aguas.

Si comparamos con otros materiales sintéticos tendríamos que añadir sus bajos valores en tracción y desgarró. Aunque se dice por las casas comerciales que duran cincuenta años, la garantías se dan por veinte años.

8. LÁMINAS DE POLIETILENO.

Debe tener más de 0,94 gr./cm³ y el espesor será superior a 1,5 mm, resistentes a los impactos y a la tracción, al alargamiento en rotura y absorción del agua.

Tres formas diferentes según sea su densidad.

- a) Baja densidad.
- b) Media densidad.
- c) Alta densidad.

a) Baja densidad.

Se puede decir que el Polietileno de baja densidad, fue la primera lámina sintética que se utilizó en España, incluso antes que el caucho butilo. Si bien el polietileno de baja densidad se empleó enterrado o protegido, el caucho butilo se presentaba sin cubrir.

En la década de los ochenta, se emplearon espesores designados por galgas (de 800 a 1.200), también en espesores normales a 0,15 o 0,3 mm. El precio era también uno de sus atractivos (menos de 100 pesetas del año 92). Fueron utilizados en revestimientos de balsas con capacidad inferior a los 25.000 m³.

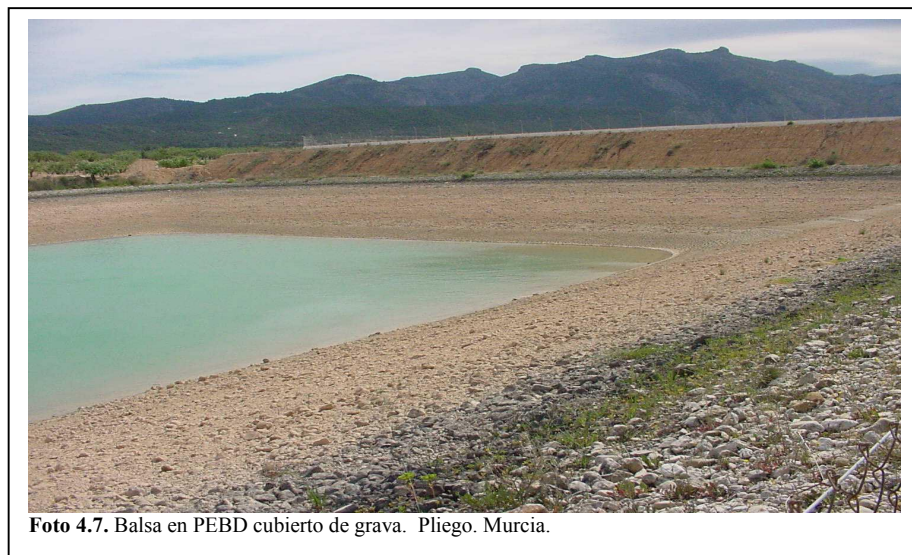
El problema que presentaba este material era su descomposición por la acción solar, sistema que se corregía al cubrirlo primero con una primera capa de arena de 5 cm de espesor y una segunda capa de grava de 15 cm sobre un talud extremadamente suave (3,5:1). Estas necesidades exigían mayor espacio, una menor capacidad, una mayor exposición solar de la lámina de agua y lo que era peor, la dificultad de localizar y reparar cualquier desperfecto.

Si a todo lo anterior, le aumentamos su baja resistencia a la abrasión y la facilidad de producirse desgarros, entenderemos que su empleo apenas se dé en la actualidad.

A la hora de colocarlo, hay que extremar sus cuidados en los días de viento, por su poco peso. El campo térmico de su utilización, está entre -30 y 60° C.

La forma de soldadura "in situ" por termofusión, apenas fueron empleados por su dificultad, al tener poco espesor. Se emplearon con mayor éxito la unión por pegado de cinta adhesiva de 15 cms de anchura, que se repartía entre la unión de ambas láminas, previamente solapada.

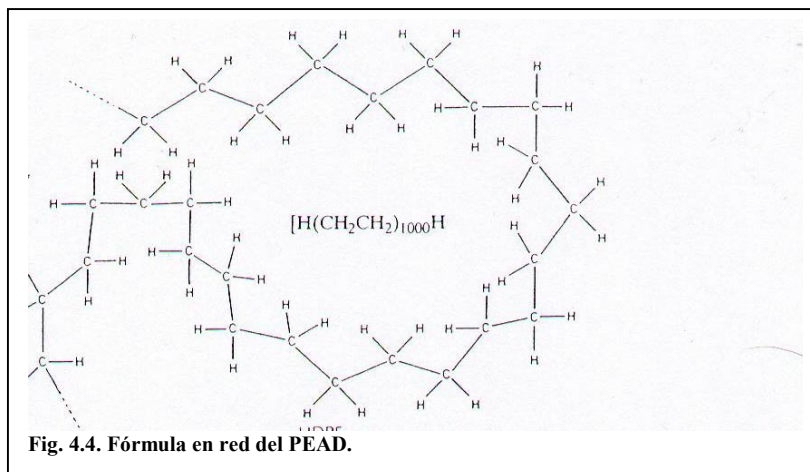
En la actualidad persisten en la geografía murciana con una antigüedad cercana a los veinte años.



b) Alta densidad.

El de media no se coloca, por el problema de radiación. Se comercializa el llamado “alta densidad”, siendo en realidad una mezcla de media y alta densidad, debido a la alta rigidez que presentaría si fuera sólo en alta, siendo ésta la utilizada

habitualmente, para fabricar tubería, más que lámina. Por tanto, se aplica el de media con algunos aditivos añadidos con el de alta densidad, configurando la geomembrana que conocemos como Polietileno de alta densidad.



El PEAD, es muy estable sin ramificaciones, es decir, sin carbonos terciarios, fácilmente susceptible de oxidación. En sus macromoléculas todos los enlaces son de "tipo sigma", fuertes y difíciles de romper, salvo en condiciones muy adversas, generalmente, en contactos de terrenos sulfatados. Su degradación depende de su espesor, de la materia prima y del proceso empleado en su formación, donde se producen reacciones secundarias que conducen a determinadas ramificaciones y como consecuencia, a presencia de los carbonos terciarios que facilitan reacciones químicas adversas, con roturas en sus cadenas moleculares, provocando un cambio en sus propiedades iniciales.

Cuando la lámina se apoya sobre un objeto punzante, de naturaleza mineral, el área de la lámina material se amolda a éste montículo y va perdiendo material plástico, cambia sus propiedades y al final, si es punzante (guijarro, borde de una lámina de pizarra), desgarrar la lámina por proceso homolítico.

El PEAD contiene aproximadamente un 97,5 % de polímeros y un 2,5 % de negro de humo. El motivo de añadir éste aditivo es lograr una vida útil más larga, al estabilizar la acción de los rayos ultravioletas en la resina, incorporándole una proporción del 2 al 3% de ésta ceniza. Cantidades inferiores serían insuficientes para evitar la degradación por las radiaciones solares y proporciones mayores conllevarían una pérdida importante de sus propiedades, sobre todo mecánicas, ya que estaríamos sustituyendo sustancias poco nobles como son las cargas minerales por el producto

noble que es la resina. Otro de los hechos de utilizar éste absorbente de luz U.V. con negro de humo o de carbono, se debe a su bajo coste, relativamente bajo y a la facilidad de mezcla y dispersión. El Polietileno de alta densidad no contiene otros aditivos o rellenos que puedan filtrarse y causar deterioro a medida que pasa el tiempo, podíamos decir que es “casi” puro.

Si es importante el contenido en negro de humo correcto, lo es más aún su adecuada dispersión. El aditivo debe estar repartido de una forma homogénea en la lámina, pues de lo contrario, variarían las características de unos puntos a otros, produciendo fallos mecánicos y ataques por radiaciones solares. En el primer punto, fallos mecánicos, en los lugares donde haya altas concentraciones de negro de humo, y problema de radiación, donde haya escasez de cenizas.

c) Duración del material.

En el seguimiento de láminas de PEAD en Canarias, no se han encontrado cantidades de negro de humo inferior al 2 ó 3 %. Sin embargo, la dispersión del aditivo en la mayoría de las láminas de PEAD comercializadas en nuestro país, dicen que son inferiores.

Las pruebas realizadas a -20° C y hasta de -70° no provoca agrietamiento o roturas en la flexión.

También se ha comprobado que la influencia de la radiación sobre la lámina de PEAD fueron negativas. En las zonas expuesta a fuerte radiación solar, la lámina se deteriora más rápidamente que otras exposiciones, tanto más cuanto menor es el espesor de la lámina, por lo que se aconseja espesores a los 2 mm y en ningún caso, inferiores a los 1,5 mm. El aumento del espesor, evita problemas en las proximidades de la soldadura, desgarros, pérdidas notables de propiedades mecánicas y punzonamientos, pues es bien conocido que el polietileno es, posiblemente, el material que presenta un peor comportamiento al punzonamiento estático (Foto nº. 3.8).

Pero no sólo las radiaciones solares parecen ser responsables de la evolución de su vida útil, se ha puesto de manifiesto que en algunos casos, el comportamiento del material era mejor en la zona de exposición continua a las radiaciones solares, que las partes donde estuvo en contacto con el agua.

Se comprobaron comportamientos anómalos cuando se realizaron pruebas de tracción, así tienen lugares valores de carga y alargamiento totalmente aleatorios, sin seguir el proceso de evolución habitual de cualquier material y, algunas veces, la curva

tensión-deformación, presenta una forma anormal para un polietileno de alta densidad, donde la resistencia a la tracción coincide con el esfuerzo en el punto de fluencia.

¿A qué se debe este tipo de comportamientos anómalos? Actualmente, la solución es una incógnita. El equipo canario, postula distintas hipótesis:

1) Mala dispersión del negro de humo, donde las zonas de acumulación de aditivo, originan deficiencias importantes de tipo mecánico, pues no es lo mismo la curva tensión - deformación de una resina, que la de un mineral.

2) Formulación de geomembranas con poliolefinas recicladas, incorporadas a la resina principal, cuyo comportamiento dista del esperado si hubiera sido con una resina de nueva formulación.

La mala dispersión del negro de humo, se puede determinar perfectamente por procedimientos experimentales, existiendo una normativa nacional para llevarla a cabo. La incorporación de productos de reciclado es difícil de detectar experimentalmente. Se han realizado pruebas con el microscopio óptico de reflexión y microscopio electrónico de barrido "scanner", sin obtener éxito alguno. Parece ser que la prueba de "stress-cracking" (resistencia a cuartear), es capaz de ponerla de manifiesto, por lo que de una forma rápida habrá que incorporarla a la normativa española (según éste equipo). Las resinas recicladas que se incorporan a otras nuevas, poseen cadenas más corta y normalmente rotas, debido a los procesos de envejecimiento y degradación.

El "stress-cracking" podría detectar a un polietileno regenerado ya que rompería con más facilidad y repercutiría, notablemente, en sus características mecánicas. Sometiendo el PEAD en un medio disolvente de tensoactivos (reaccionen con el PEAD), se puede adelantar el análisis del stress-cracking, comprobando más rápidamente sus resultados.

d) Evolución del mercado.

La fabricación del PEAD se presentó en los EEUU por la década de los sesentas, para construir vertederos con lixiviados peligrosos. Una década más tarde, pasaría a formar parte de balsas por los siguientes motivos.

- Comportamiento de resistencia física, química y biológica.
- Comportamiento de la conformación elástica y plástica.
- Comportamiento de relajación de tensiones. Cuando la deformación es constante y de largo plazo, las tensiones en el material bajan. El material se relaja y puede alcanzar un estado casi sin tensión alguna. Es verdad que en este punto de

punzonamiento, pierde material, pero no llega a incrustarse, hasta pasado un largo tiempo.

- Resistencia al envejecimiento dependiendo del clima (20 años al menos en sitios templados).
- Las soldaduras en reparaciones son fáciles entre la nueva y la anterior, punto de máxima oportunidad.

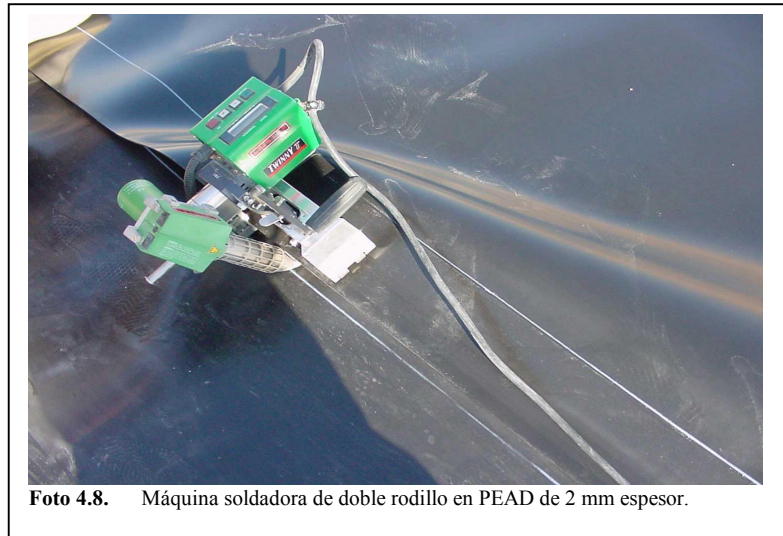


Foto 4.8. Máquina soldadora de doble rodillo en PEAD de 2 mm espesor.

Naturalmente la calidad de la geomembrana es consecuencia del material de su origen, resinas o materias primas (pellets de PEAD). La tecnología y la calidad de su obtención en cuanto a su producción aportarán la última palabra en su calidad, su costo, donde por cierto, se hace cada vez más competitivo con otras geomembranas.

9. OTRAS LÁMINAS.

Existen otras láminas que van incidiendo en el mercado como es E.V.A. y el Propileno.

9.1. POLIPROPILENO.

Elevada resistencia al punzonamiento, menor dilatación que el PEAD. Empleado en lugares fríos como sierra Nevada para ser empleada la balsa para cañones de nieves.

9.2. E.V.A - C (COPOLÍMEROS DE ETILENO-ACETATO DE VINILO).

Inmejorable comportamiento al punzonamiento estático. Es el mejor de todos.

CAPITULO 5.

APLICACIONES DE GEOTEXTILES EN BALSAS.

1. DEFINICIÓN.

Los geotextiles son elementos superficiales constituidos por fibras poliméricas, que se utilizan como material de construcción, generalmente en contacto con tierras.

Las fibras pueden estar ordenadas constituyendo un tejido, lo que originará propiedades resistentes anisótropas. Por el contrario las fibras se pueden situar de forma aleatoria (desordenada) constituidas por soldaduras (térmica o química) o agujereada.

Los materiales más usados son Poliester (PET), Poliamida (PA), Polipropileno (PP), e incluso Polietileno (PE).

Las propiedades respectivas se resumen en el siguiente cuadro (referido a fibras):

	PET	PA	PP	PE
Resist. a tracción	Elevada	Elevada	Elevada	Elevada
Def. en rotura (%)	9	15	18	25
Densidad /gr /cm ³	1.30	1.15	0.90	0.95
Temperaturas más De aplicación.	150°	90°	90°	55°
Resist. a la luz	Buena	Media	Media	Mala
Resist. a oxidación	Buena	Mala	Buena	Muy mala
Tiempo al que se produce fluencia a carga 60% de la rotura.	10 años	1 año	1/2 año	1 día

Cuadro 5. 1.

Los geotextiles constituidos por mezclas de fibras presentan propiedades intermedias; estas últimas pueden alterarse si las fibras se someten a tratamientos especiales.

2. PROPIEDADES REQUERIDAS Y FUNCIONES.

El geotextil como material de construcción presenta ciertas propiedades que posibilitan su empleo. Las más importantes se enumeran a continuación.

- 1- Resistencia a la rotura por tracción y deformación en rotura (en los geotextiles tejidos se ensayan en las dos direcciones).
- 2- Resistencia al punzonamiento.
- 3- Permeabilidad al paso del agua normalmente al plano del geotextil.
- 4- Diámetro equivalente de los poros del geotextil.

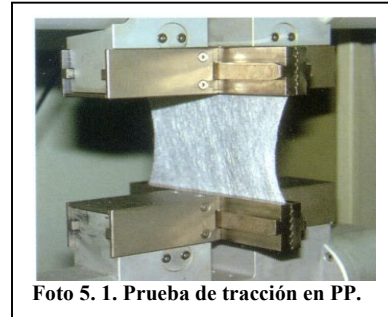


Foto 5. 1. Prueba de tracción en PP.

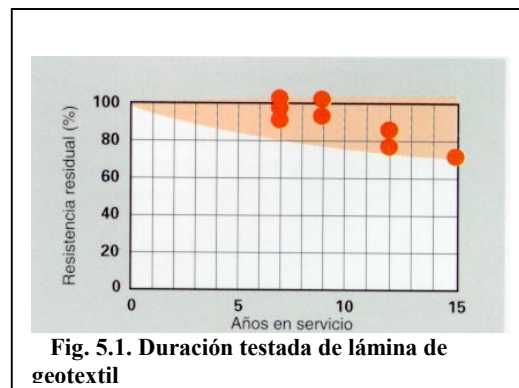


Fig. 5.1. Duración testada de lámina de geotextil

- 5- Capacidad para permitir la circulación del agua según el plano definido por el geotextil.
- 6- Resistencia a la oxidación, ácidos y bases.
- 7- Estabilidad dimensional.
- 8- Durabilidad al aire libre.
- 9- Resistencia a raíces, animales.

Según las funciones concretas que vaya a desempeñar el geotextil, así serán las exigencias pedidas en el Proyecto y que deberán de responder con sus propiedades. Esto es:

- Propiedades mecánicas:
 - Resistencia a Perforación (ISO 12236).
 - Resistencia a tracción (ISO 10319).
 - Alargamiento a tracción (ISO 10319).

- Propiedades hidráulicas.
 - Abertura de poros (ISO 12956).
 - Permeabilidad normal al plano (ISO 11058).
 - Flujo de agua en el Plano. (ISO 12958).

- Durabilidad:
 - Resistencia a la intemperie (ISO 12224).
 - Resistencia a la hidrólisis en agua (ISO 12447).
 - Resistencia a degradación química (ISO 12960).

Funciones principales requeridas:

- Separación del suelo.
- Drenante.
- Protección.
- Filtración.
- Reforzamiento geomembrana.

Condiciones de exigencias:

- Obligatorio.
- Relevante.
- Especial: Radiación UV; cemento, alcalis; agua; temperatura, ambiental, etc.

La aplicación más tradicional de los geotextiles estriba en su función como filtro, función de transporte de agua (drenaje), como capa de separación entre dos materiales térreos, para impedir que se mezclen. Otro caso de empleo de geotextiles es como saco o contenedor de tierras, evitando que éstas sean afectadas por la intemperie, sean erosionadas o simplemente se desplomen. Relacionada con esta última aplicación

es la protección de taludes en cauces, presas, etc... para evitar que el paso del agua erosione en forma progresiva el talud.

Finalmente, aunque no ocupe el último puesto por importancia relativa, el geotextil produce un efecto de armadura y/ o refuerzo, aportando su resistencia a la tracción y al punzonamiento de la geomembrana.

En la generalidad de las aplicaciones prácticas intervienen dos (o más) de estas funciones, debiéndose diseñar el geotextil de acuerdo con las mismas. Hay que desechar la costumbre de definir estos elementos por su peso por unidad de superficie, por ejemplo, en el caso de un geotextil dispuesto como soporte de una geomembrana. Las funciones de exigencias son las de refuerzo y transmisividad de filtraciones.

Las propiedades a considerar en el diseño de geotextiles se resumen en:

FILTRO..... Permeabilidad normal (K_N) y Diámetro poros.

DRENAJE..... Transmisividad ($K \times e$).

SEPARACIÓN..... Resistencia punzonamiento y diámetro poros.

CONTENCIÓN..... Resistencia a tracción y punzonamiento y diámetros de poro.

REFUERZO..... Resistencia tracción y punzonamiento.

3. PROCESO DE FABRICACIÓN.

Los geotextiles se clasifican según su modo de fabricación en tejido o no tejidos. Los geotextiles tejidos tienden a ser más fuertes en cuanto a tensión y se emplean para refuerzos y barreras de limos. Los geotextiles no tejidos se emplean en filtración, separación y como capa protectora de la geomembrana.

Según:

- Tipo de filamentos.
 - Fibra continua: Comienza en la granza formándose por extrusión filamentos seguidos, continuos. Alta resistencia y calidad controlada.

- Fibra corta: Procesos discontinuos, de fibras cortadas de continuas o bien largas, en cualquier caso es un proceso separado, que después se mezclan, se escarda, peina, tablean y ligan para producir el geotextil.

- Unión de las fibras. Constituyen las características diferenciadoras de propiedades mecánicas e hidráulicas del geotextil.

- Agujas (no tejido).

- Unidos por termo-fusión (soldados, no tejidos).

- Entrelazados (tejidos).

En las diferentes tablas se seleccionan las opciones que más interesen en el proyecto, a modo de referencia decir que un geotextil de filamento continuo agujado posee de un 30 al 40 % de más resistencia y menos peso que los de fibra corta y mayor alargamiento que termosoldados y tejidos.

Los geotextiles de poliéster ofrecen mejores resistencias mecánicas pero se degradan por saponificación ante la acción de los álcalis liberados del cemento empleado en los hormigones o del terreno y además se deterioran por la radiación de U.V.

4. MATERIAS PRIMAS DE MAYOR USO.

La materia prima es la responsable de la duración del geotextil. Principalmente tenemos dos materias primas:

- PP (Polipropileno).

Densidad de $0,91 \text{ gr/cm}^3$. Alta rigidez, buenas propiedades a la tracción y resistencia a ácidos, álcalis y disolventes. Se estabiliza para evitar la oxidación y mejorar su comportamiento frente a los agentes climáticos.

- PET (Poliéster).

Densidad $1,38 \text{ gr/cm}^3$. Ofrece buenas propiedades mecánicas y resistencia a la mayoría de los ácidos y disolventes. Puede ser hidrolizado en presencia de agua

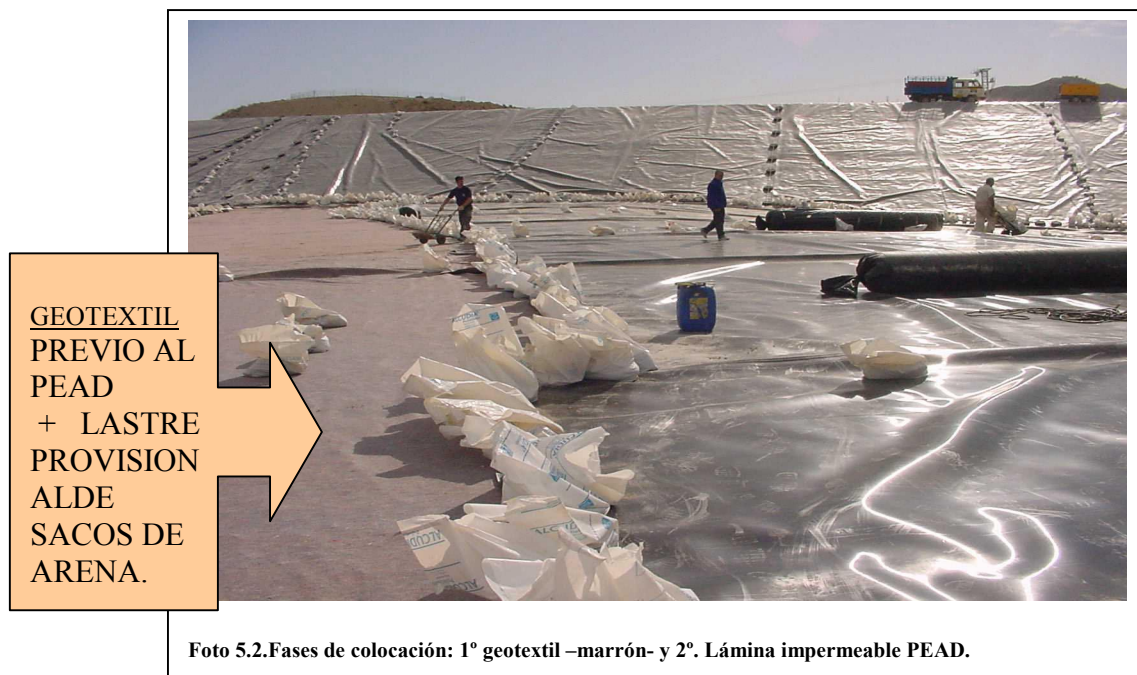
degradándose bajo condiciones alcalinas (cemento $\text{pH} > 9$) acelerada con aumento de temperatura. Es alterada por la U.V.

No se deben usar materiales reciclados o regenerados (colores pardos), especialmente si queremos que su aplicación sea superior a los 5 años.

Otros tipos de geotextiles como la Poliamida (PA) y el Polietileno (PE) no se usan en las balsas salvo raras excepciones. La PA es sensible a la hidrólisis, tienden absorber humedad produciendo cambios de propiedades. También poseen una limitada resistencia a los ácidos y al clima.

En la foto siguiente se muestra un extendido de PET sobre una balsa para constituir una capa de separación de la geomembrana con el suelo.

Se comercializa en rollos de 2-4-6 metros de ancho y 175 / 150 / 100 metros de largo.



El PP es un no - tejido de filamentos continuos unidos mecánicamente por agujado, 100 % de PP estabilizado a efectos de rayos U.V.

Propiedades y características del PE.

- Resistencia a los daños de perforación en CBR: 2250 N (alta).

- Resistencia a la tracción: 15 KN/m.
- Alargamiento en rotura: 70 %.
- Perforación por caída libre de cono: 22 mm.
- Abertura eficaz de poros: 0,08 mm.
- Permeabilidad vertical:
- Permeabilidad en el Plano.
- Espesor: 2 mm.
- Peso: 200 g/m².



Foto 5.3. Soldando junta de geotextil de PP.

Su aplicación es la de protección y filtrado, fabricado de forma resistente y permeable, debiendo cumplir ciertas propiedades mecánicas, hidráulicas y de durabilidad. Son productos homologados sometidos a normas de ensayos internacionales ISO. Se identifican en recepción de obra, exigiéndoles certificados de calidad ISO 9.002, IQNet, Garantía de calidad de la Fabricación y de Control de la Calidad de la Producción.

5. PROTECCIONES.

Formar una capa de separación entre dos materiales, el térreo y la geomembrana impermeable, para reforzar, protegerla de incrustaciones puntuales aportando su resistencia a la tracción y al punzonamiento. En ésta aplicación interviene el concepto de diámetro equivalente de los poros del geotextil, y la resistencia del punzonamiento.

Otras de sus aplicaciones es la de realizar correcciones de ángulos de rozamientos, aumentos de coeficientes de rozamiento y fricción de los materiales, mayor adherencia de terrenos sueltos en la formación de taludes de los terraplenes comprometidos por estas necesidades. Se pliegan como las hojas de los libros, depositando capas de tierras, sobre dichas hojas antes de plegar. Se utilizan en taludes del interior, del exterior para evitar su erosión o simplemente se desplomen. Relacionadas con este modelo es la protección de taludes en cauces, presas, etc... para evitar que el paso del agua erosione de forma progresiva el talud. También en protecciones de hormigones sobre las geomembranas, nunca de Propileno.



Foto 5.4..
Lámina de poliéster para realizar maestra de hormigón en talud.

6. CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA.

a) Paralelo al plano: Función de filtro.

La aplicación más tradicional de los geotextiles estriba en su función como filtro, es decir, permitir el paso del agua pero reteniendo las partículas del suelo. Para permitir el paso del agua deberá tener una buena permeabilidad, valor que (como en las geomembranas) se evalúa por el coeficiente de permeabilidad " K_p " al flujo de agua a través del geotextil. Para retener las partículas del suelo, sin que se produzca erosión interna en el suelo ni en la colmatación del geotextil, es necesario que los poros de éste tengan un determinado tamaño. Esta propiedad se mide por el diámetro del orificio equivalente según procedimientos normalizados.

El agua fluye en el plano del geotextil. La facilidad con la que tiene lugar el flujo dentro del plano se denomina transmisividad (permeabilidad en el plano). La transmisividad se define como:

$$\theta = K_p \cdot e.$$

Donde θ = Transmisividad (cm^2/seg).

K_p = Conductividad hidráulica en el plano (cm/seg).

e = espesor del material (cm).

b) Perpendicular al plano. Drenaje.

En segundo término aparece la función de transporte de agua en el plano perpendicular (drenaje) definido por el geotextil.

b-1). En el plano paralelo: En este caso según la ya utilizada fórmula de Darcy: $Q = \text{caudal por unidad de ancho} = V \cdot \text{espesor} = K \cdot I \cdot e = \theta \cdot I$ (*).

θ , (dimensionalmente Longitud · espesor/tiempo).

I es el gradiente de velocidad.

El agua también puede fluir dentro del plano del geotextil. La facilidad con la que tiene lugar el flujo dentro del plano se denomina transmisividad , producto $K_p \cdot e$

(permeabilidad en el plano, coeficiente de permeabilidad por espesor). La transmisividad se define como:

$$\theta = K_p \cdot e.$$

Donde θ = Transmisividad (cm^2/seg).

K_p = Conductividad hidráulica en el plano (cm/seg).

e = espesor del material (cm).

Visto en el apartado anterior.

b-2) Perpendicular (drén propiamente dicho)

Al agua que fluye perpendicular a la superficie del geotextil se le denomina flujo normal. La facilidad con la que tiene lugar el flujo normal se le denomina permisividad (permeabilidad normal). La permisividad “ Ψ ” se define como:

$$\Psi = K_n / e.$$

Donde Ψ = permisividad (seg^{-1}).

K_n = Conductividad hidráulica normal (cm/seg).

e = espesor del material geotextil (cm).

La permisividad puede sustituirse en la Ley de Darcy (*) para calcular las velocidades de flujo a través de los geotextiles, que se encuentra condicionada a determinada carga hidráulica impuesta. Si el geotextil tiene una transmisividad inadecuada, se deteriora la función de filtración y por consecuencia la del drén, siendo por tanto dependiente la función del drén del filtro.

7. PROCESO DE DISEÑO.

El proceso de diseño con geotextiles se atiene a la sistemática de las geomembranas, apareciendo análogas connotaciones.

El material constitutivo de las fibras, salvo tratamiento específico, debe elegirse de acuerdo con las condiciones de servicio y las propiedades deseadas. Si un geotextil

debe estar expuesto a la luz solar el poliéster presenta ventajas apreciables. Si conviene que admita importantes deformaciones, las ventajas corresponderían a la poliamida y el polipropileno. En condiciones singulares de servicio, se debe estudiar la compatibilidad del material con esas condiciones.

El geotextil constituido por fibras ordenadas es el idóneo para una situación con predominio de solicitaciones de tracción en una dirección premarcada, pero no se adapta bien a funciones de filtro, separación o drenaje.

Para su utilización en funciones de transmisión de agua, la ventaja la ostentan aquellos geotextiles con espesor apreciable. En todo caso, tanto este valor como los del coeficiente de permeabilidad, transmisividad, etc... deben estimarse en un estado de compresión equiparable con el previsible en condiciones de servicio.

Las diferentes soluciones alternativas deben contemplar las ofertas comerciales compatibles con las circunstancias de cada caso, pero también hay que detenerse a estudiar otros materiales alternativos, tanto tradicionales como de utilización más reciente.

8. CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS.

También en los geotextiles el diseño se desarrolla por conocimientos empíricos, siendo limitados los cálculos justificativos aplicables.



Foto 5.5. Soldando geotextil de PE para proteger la geomembrana.

En la función de filtro debe estudiarse separadamente la comprobación relativa la flujo de agua, de aquellas otras correspondientes a la prevención de erosión interna

del suelo. En el primer caso, y por aplicación directa de la fórmula de Darcy, debe comprobarse:

$$\text{Caudal unitario (m}^3/\text{s} \cdot \text{m}^2) = K_N \cdot \text{gradiente hidráulico.}$$

En cuanto a la segunda comprobación del drén, existen varios criterios aportados por los especialistas sin que exista unanimidad respecto a prioridad entre ellos. En todos ellos se deben comprobar una condición aritmética entre el diámetro equivalente de los orificios del geotextil (O_x) y la granulometría del suelo (D_y). Uno de estos criterios se expresa:

$$O_{95} / D_{50} < 18 / \zeta$$

Siendo:

O_{95} : Diámetro equivalente del geotextil, dato a suministrar.

D_{50} : Separación de una malla por la que pasa el 50% (en peso) del suelo.

ζ : Coeficiente de uniformidad del suelo (D_{60} / D_{10})

Por ejemplo con $\zeta = 6$ se tendría:

$$O_{95} \text{ (del geotextil)} < 3 \times D_{50} \text{ (del suelo)}$$

Dicho en otras palabras, el diámetro equivalente del geotextil no debe ser superior al triple del tamaño medio del suelo.

El cálculo de las funciones de drenaje se desarrolla igualmente por aplicación de la fórmula de Darcy:

$$\text{Caudal unitario (m}^3/\text{s} \cdot \text{ml)} = K \cdot e \cdot \text{gradiente hidráulico.}$$

Finalmente, es posible efectuar cálculos justificativos resistentes, determinándose el coeficiente de seguridad (F) a este respecto, según la fórmula:

$$F = \frac{\text{Resistencia a la rotura} \cdot (\text{N / ml})}{\text{Solicitud de servicio (N / ml)}}$$

Considerando el fenómeno de la fluencia, y que el concepto de coeficiente de seguridad incluye un componente de ignorancia, debe adoptarse valores elevados (no inferiores a tres).

9. ELEMENTOS DEL PROYECTO DEL GEOTEXTIL Y SU CONSTRUCCIÓN:

El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares debe regular con razonable extensión esta unidad de obra, delimitando las condiciones mínimas a cumplir, ensayos a realizar, ejecución de la unidad de obra, forma de realizar su medición y abono, etc. Previamente al extendido del geotextil sobre el que se asienta la lámina impermeable, habrá que preparar el talud de manera que su superficie cumpla los siguientes requisitos:

- a) Estar desprovista de vegetación y tratada con un herbicida.
- b) Carecer de guijarros, raíces, piedras y todo tipo de aquello que pudiera romper el revestimiento.
- c) Ser estable tanto seca como saturada.
- d) Asegurar que en ningún caso se produzcan subpresiones bajo el revestimiento.
- e) No experimentar asentamientos ni hinchamientos al variar su humedad.
- f) No ser afectada por el oleaje, lluvias, etc... que se producirán en las condiciones de servicio de la obra.

CAPITULO 6.

ELECCIÓN DE LÁMINAS, UNIONES Y CONSIDERACIONES ECONÓMICAS.

1. SELECCIÓN DE LA LÁMINA IMPERMEABILIZANTE.

La selección de la lámina depende de las diferentes consideraciones:

- a) Tipo de terreno.
- b) Altura de la columna de agua.
- c) Pendiente de los taludes.
- d) Forma de la balsa.
- e) Longitud máxima de la solera del vaso de la balsa.
- f) Asientos diferenciales.
- g) Compactación empleada.



a) Tipo de terreno: La agresividad del firme donde apoya la lámina, determinará las características de la lámina, reforzándola en el mejor de los casos, por ejemplo el PVC-p (plastificado), manta de geotextil, etc, para reforzar el anti-punzamiento, así como el empleo de materiales elásticos como el EPDM. El PEAD

produce una deformidad que rodea el punzonamiento, perdiendo resistencia en este punto.

En general, en suelo rocosos la durabilidad de la lámina disminuye su existencia, ya que la presión continua de la columna de agua sobre ella, provoca perforaciones en las zonas de contacto con piedras y guijarros.

b) Altura de la columna de agua: La presión sobre la lámina debida al peso de la columna de agua obliga a reforzarla a partir de alturas superiores de los 10 metros. En el caso del PEAD su espesor debe ser como mínimo de 2 mm.

c) Pendiente de los taludes: Al aumentar la pendiente es mayor el esfuerzo que debe soportar la franja más alta de la lámina. Si los taludes son mayores que 2:1 la lámina deberá ir reforzada.

En el caso de grandes alturas, las bermas y soldaduras se aplicarán mediante sistemas que no provoque tensiones indeseables en el “cuelgue” de la lámina, en sus solicitudes horizontales, así como las aplicadas sobre las soldaduras verticales (efecto pantalla).



Foto 6.2.. Detalles de bermas en mitad del talud. Sierra del Aguila. Orite. Alicante.

d) Forma de la balsa: A la hora de unir los paños, se conforma el sistema de las piezas a unir y en los casos de las balsas circulares, las uniones de los paños

aumentan y también las dificultades de las terminaciones triangulares para tomar las curvas.

Las soldaduras son mayores y de dudosa seguridad, sobre todo en el PEAD, donde se suspende la soldadura de fusión, por la del extrusado.

e) Longitud máxima de la solera de la balsa: El hecho de tener más de 250 metros de longitud entre los lados de la base inferior, supone añadir paños y por tanto mayor número de uniones que podrían no soportar las tensiones acumuladas y producir fisuras, lo que obliga a reforzarla o bien a la colocación de un geotextil protector.

f) Asientos diferenciales: Podrían provocarse pequeños asentamientos de la base y de los taludes que obligan a la lámina a seguir un soporte con mayor sección que el original, esto se consigue en el caso del PEAD dejando una serie de arrugas estratégicamente repartidas para seguir la pequeña modificación estructural del asiento. En el caso del EPDM, permite por su flexibilidad, corregirlos mediante nuevas redistribuciones de elasticidad.

En aquellas situaciones que son necesarios asientos de obras de fábrica sobre la lámina instalada, tales como canal de entrada de agua, maestras de hormigón sobre taludes, lastrados, etc, interesa colocar materiales que den protección y aislamiento de la lámina. Nos interesa saber como se van a dar respuestas a las necesidades de dilataciones, y contracciones en el caso del PEAD.

g) Compactación empleada: Si el grado de compactación no es muy elevado se pueden producir asentamientos que exigen flexibilidad a la lámina

El uso de la lámina gruesa reforzada o del apoyo con geotextil, exige un grado de compactación mínimo del 95% Proctor Modificado.

2. NECESIDADES A TENER EN CUENTA PARA LA INSTALACIÓN DE LÁMINAS.

El soporte de apoyo a la lámina estará exento de irregularidades, de fallos, fisuras, sobresalientes (puntas de piedra). Ante su dificultad se tiene en cuenta a la hora de proyectar sus necesidades técnicas con el geotextil y geomembrana adecuado : Resistencia a la tracción, mecánica, etc.

El geotextil no presentará reacciones con el soporte físico del suelo. Los anclajes del pasillo estarán preparados para recibir las lámina, primero del geotextil y posteriormente, de la geomembrana específica.

- Breve croquis de cómo se colocarán las piezas.
- Recepción del material.
- Colocación de láminas, solapes previstos suficientes y regulares.
- Ausencia de vientos, lluvias, antes de soldar.
- Lastrado definitivo.
- Lastrado provisional
- Ausencia de daños superficiales.
- Limpieza antes de soldar.
- Uniformidad de material a soldar (pletina+lámina)
- Anclaje provisional ó definitivo.
- Tapado provisional o definitivo del anclaje.
- Evitar bordes angulosos en las entregas de obras y piezas metálicas.
- Prohibir que la maquinaria pise la lámina, manchas de gasoil, aceite mineral, etc.



Foto 6.3.. Muro con doble pletina de PEAD para más seguridad.

- Observancia de normas en soldaduras (el espesor extrusado $> 3\text{mm}$).
- Aprietes del cierre en las bridas, pletinas.
- Diseñar ubicación de zonas rugosas que eviten tirantez.
- Repasar soldaduras.
- Reparto de las mantas (Nº y situación).
- Detalles de las esquinas.
- Trazabilidad material, soldaduras, problemas de reparaciones.

3. UNIÓN DE LA LÁMINA.

Parte teórica.

3.1. UNIONES.

- Juntas de láminas: La más común.
- Entregas en obras de fábrica. Lámina a pletina (Foto 6.3).
- Entregas en piezas especiales.

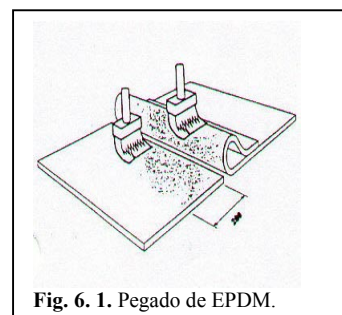
Tuberías. (Figura 7.11).

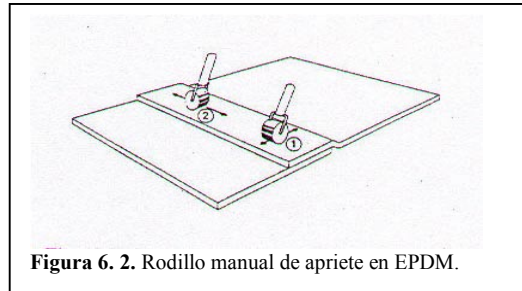
- Bridas.
- Anclajes mediante pletinas.

3.2. MÁQUINAS, UTENSILIOS Y DEMÁS HERRAMIENTAS UTILIZADAS PARA UNIR.

Para realizar la aplicación de juntas suelen ser necesario una serie de aparatos, utensilios y productos que permitan la unión, protección y colocación de las láminas. Los podemos distribuir según su funcionalidad:

- Fusión.
- Extrusión.
- Pegados.
- Elementos a compresión.





1) Elementos para la fusión entre láminas:

- Soldadores.
- Rodillos.
- Disolventes.

Soldadores: Estos aparatos unen las láminas entre sí por termofusión, es decir, derriten parte del material de ambas láminas y al enfriarse, quedan unidos.

Podemos encontrar varios tipos.

Por cuña caliente.

- 1) Por alta frecuencia.
- 2) Por aire caliente.

Los más usuales son los eléctricos y llevan reguladores de flujo de aire y temperatura.

Existen manuales y sirven para pequeños trabajos como acabados, boca de afloramiento, etc, usados ampliamente para geotextil, PVC.



Foto 6..4. Soldadura por termofusión de cuña de aire caliente.

Para unir grandes longitudes se utilizan con sistemas de pequeñas maquinas dinámicas con aplicación de ruedas que regulan velocidad, aplicación de lengüeta para aplicar cuña de aire caliente, aplicación de rodillos de cierre, etc, siendo más fiable su tratamiento.

RODILLOS: Son útiles que se aplican para ejercer una presión manual sobre la lámina superior, recién soldada, para asegurar el contacto de ambas láminas, una vez aplicado el calor de los soldadores.

DISOLVENTE: Son aplicados sobre las láminas mediante brocha, pistola de presión dinámica sobre tubo al efecto, para permitir su unión posterior por la fusión.

OTROS SISTEMAS:

1 **Extrusión.** Es la aplicación de la extrusadora que derrite un hilo del mismo material de la lámina, para depositarlo sobre las juntas de ambas láminas.



2) **Pegado:** Se huye de éste término con otros sinónimos, por no gustar éste término. El pegado es la aplicación de añadir un adhesivo, bien como una cinta adhesiva, donde el pegamento viene incorporado en la cinta y se coloca sobre las dos láminas. También se puede aplicar mediante brocha, llamadas colas, pegamentos, disolventes, etc. sobre las dos láminas que se van a unir. Son utilizadas preferentemente en el PEBD, butilo, PVC.

3) **Otras aplicaciones:** Clavos de fijación, perfiles (metálicos, PEAD), masillas (EPDM, siliconas), láminas de geotextil, geocompuestos, cloropreno, caucho, etc.

3.3. TÉCNICAS UTILIZADAS.

3.3.1. PVC.

3.3.1.1. Soldadura con aire caliente.

Se le aplica aire con una temperatura media de 550 °C sobre las dos superficies a unir, bien de modo con sistemas dinámicos más usual o manuales, blandiendo y derritiendo ambas caras, momento en que le aplica presión para crear la unión entre ambos paneles de PVC. El tiempo y la presión deben ser cuidadosamente controladas para evitar se creen oquedades provocadas por el calor.

3.3.1.2. Unión con adhesivos.

Los paños de PVC son unidos con un adhesivo químico que pega a las dos superficies. El adhesivo debe satisfacer todos los criterios de una buena aplicación, pero existen variables que pueden ser difíciles de controlar en una obra.

Ambos métodos de unión se ven influenciados negativamente por las pérdidas de los plastificantes. El área unida se vuelve frágil más rápidamente que el material base. El factor de soldadura está en general un 50 % por debajo de la resistencia del material base. En el caso de reparación de los paños de PVC, la absorción de agua a través de toda la estructura molecular del material hace casi imposible reparar los paños en uso con aire caliente o adhesivos, lo mismo sucede si se quiere unir un nuevo panel a uno ya colocado.

3.3.2. PEBD.

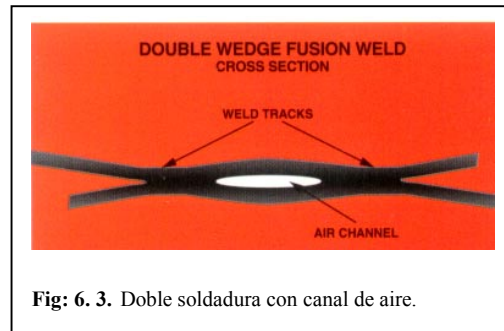
Banda autoadhesiva sobre las uniones del solapo.

3.3.3. PEAD.

3.3.3.1. Fusión.

Fundamentalmente por fusión de solapo de al menos 10 cms. de ancho con una máquina mecánico-eléctricas calentadas por cuña caliente o por aire caliente forzado a temperatura de 600 °C, e incluso mayores, fundiendo el material que es aprisionado por dos pares de rodillos en ambos lados que los aprietan. Esta doble soldadura deja un

canal o cámara central de aire entre ambas soldaduras, que sirve para verificar su estanquidad.



Antes de comenzar a soldar, el técnico instalador de la soldadura, ajustará previamente la máquina conforme temperatura de soldadura, velocidad de la máquina y presión de los rodillos, para realizar una soldadura correcta, en función de las condiciones atmosféricas.

Cómo el material posee el inconveniente de su dilatación se aconsejan soldar en períodos lejanos a temperaturas estivales, del mediodía, húmedos.

Para verificar las uniones, se hará un control físico utilizando una aguja metálica roma, pasándola a lo largo del canto de unión, o bien insuflando aire por una punta y cerrando el extremo por medios de presión, para comprobar el estado de la soldadura (foto 3.44) y toda la lámina, por si tuviera fallos, como el siguiente.

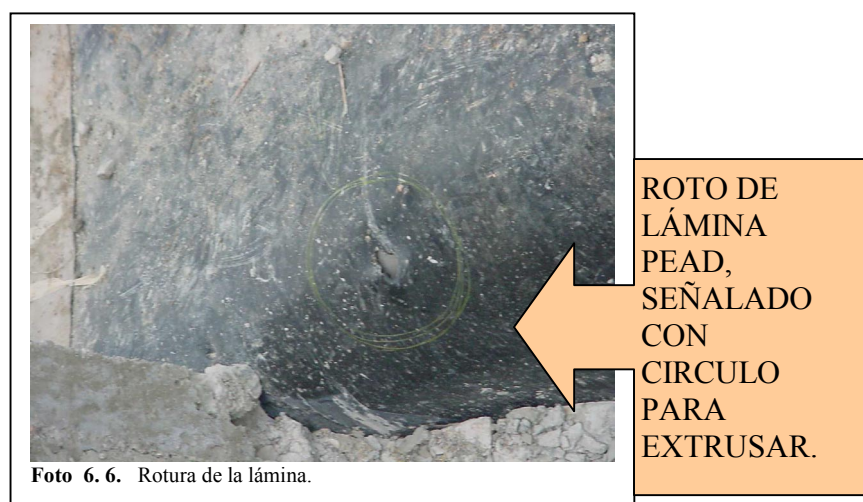




Fig. 6. 4. Máquina de soldar por termo – fusión.

La soldadura es homogénea con el material de impermeabilización que está siendo soldado. La máquina soldadora es controlada automáticamente garantizando la uniformidad de la temperatura de soldadura independientemente de las condiciones de la obra. El resultado es una unión de buena calidad con un factor de soldadura del 100 %, es decir, las propiedades de la soldadura son idénticas a aquéllas del material base.

3.3.3.2. Extrusión.

Se realiza aportando mediante máquina extrusora portátil; el mismo material sobre la junta de la lámina. La máquina toma un cordón continuo de PE y lo deposita derretido sobre la junta previamente lijada, calentada con la propia máquina que aporta el material derretido sobre ambas láminas. Posteriormente se extiende uniformando el cordón vertido. En una anchura mínima de 3 cms y altura de 2 a 3 milímetros.

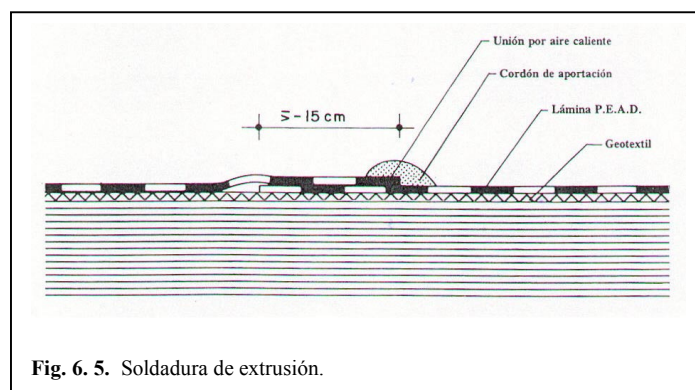


Fig. 6. 5. Soldadura de extrusión.

Este tipo de soldadura se utilizará solamente en pequeñas reparaciones (parches), refuerzos de uniones de varias geomembranas T, piezas especiales y en general en toda unión de geomembranas que no pueda realizarse con máquinas de doble soldadura con canal intermedio de comprobación.

Para verificar el estado de soldadura, se suele dejar un hilo de cobre que se cubre con la soldadura y después se verifica con una maquina eléctrica que de no estar bien realizada forma un arco eléctrico entre el hilo de cobre no cubierto y la maquina (chispometro).

3.3.4. EPDM.

3.3.4.1. Láminas vulcanizadas.

3.3.4.1.1. Banda autoadhesivas de 12,7 cm

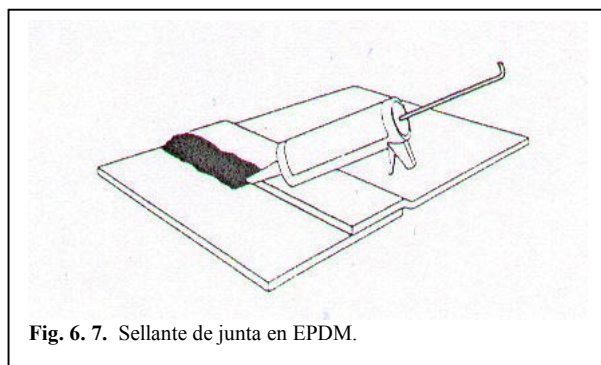
Se prepara un solape de 15 cm, entre ambas láminas, se repliega la lámina superior y se aplica una imprimación de un liquido limpiador, después se aplica con una muñequilla especial (almohadilla) una película uniforme con un producto de imprimación, gris oscuro uniforme, en ambas caras, secado durante 10 minutos, aplicación de la banda autoadhesiva sobre la cara inferior, se desprende el protector adhesivo y se presiona la lámina superior con rodillos.



Fig. 6. 6. Banda autoadhesiva de EPDM.

3.3.4.1.2. Vulcanizada.

Solape de 15-20 cms, se levanta la parte superior, se limpia las caras y se aplica un adhesivo (figura 3.9: exano, tolueno, xileno) en una distribución uniforme con brocha en sentido longitudinal, no circular, cerramos la junta y aplicamos el rodillo (fig. 3.10), después de pasada 4 horas, se aplica un sellante (fig. 3.14) sobre la junta con un cordón de 25 mm como mínimo. La soldadura es vulcanizada (Fig. 3. 7).



3.3.4.2. Láminas no vulcanizadas.

Solape similar a los anteriores, limpieza, aplicación de cola de reticulación con brocha, sobre la zona de solape de la lámina inferior. Dejar secar esta cola (test de tacking, con el dedo limpio ver que no se adhiere ni trae hilos pegados) y aplicar la geomembrana superior sobre la inferior encolada y seca, presionando con rodillo. Después de 4 horas, sellar posteriormente con un cordón de 6 mm de ancho (1 cartucho cada 6 metros), sobre el canto de la junta, extendiendo y conformando la masilla con una plantilla curvada, centrando el canto de la junta.

3.4. PRUEBAS DE SEGURIDAD.

a) PEAD:

- Estado visual de la unión, apoyado mediante instrumento romo que ausculte el solape.
- Prueba de “soplado” mediante bomba y mantenimiento de la presión manométrica con dos atmósfera y duración de mantenimiento de 5 minutos.



- Prueba del “chispometro” previa instalación anterior de hilo de cobre sobre soldadura extrusada.

b) EPDM:

- Visual e instrumento romo.

4. DIFERENCIAS DE LÁMINAS MÁS USUALES.

4.1. DISPERSIÓN DE CRITERIOS.

Se puede resumir en dos tipos de materiales, aquellos que tienen "memoria" de su inicio y aquellos que son "olvidadizos" de sus anteriores formaciones. En los primeros tenemos aquellos que después de su obtención (mediante formas en prismas, cilindros) son de nuevos tratados y modificados por tratamientos de calor para formar parte de otra estructura distinta: la laminar (estirando sobre los primas, cubos, cilindros, etc). Estos tienen tendencias a “rebelarse” y presentan problemas en su estructura química, que son progresivamente **INESTABLES** y tienden a modificar estas estructuras. En éste grupo tenemos los PVC, los butílicos, limitando su existencia. En un segundo grupo, tendríamos a los "olvidadizos" y que en su composición no hubo un gran paso intermedio, formándose desde el inicio como productos laminados (eso sí, a partir de granzas) y constituyen los polietilenos.

Pero estas interpretaciones, de "materiales vengadores o no", sería una simple conclusión, puestos que existen otros elementos de naturaleza química que se combinan para dar un resultado final, como son:

- Elementos añadidos a los radicales mediante formulación química, por ejemplo el cloro, cambiando sus propiedades.
- Inserción de otras estructuras, como fibras de vidrio, hilos sintéticos.
- Plastificantes, que dependerán del tipo, calidad, unión, etc.
- Proceso de fabricación: números de capas, continuidad.
- Dispersión del negro de humo
- Reacciones posteriores (radiaciones U.V., ozono).

Estimar su vida útil, la durabilidad en el tiempo, es una consecuencia de cúmulos de interacciones de diferentes acciones, además de las características de la geomembrana en su composición, aditivos, armaduras o no, espesor, apoyadas en el terreno o con base de un geotextil, soldaduras, etc.

La geomembrana debe mantener suficientemente sus propiedades de resistencia e impermeabilidad, y no verse afectada por el agua, ni las sustancias que este elemento lleve disueltas. Tampoco debe producir afección apreciable con el aire (oxidación), en el contacto con el suelo y sus elementos básicos o ácidos, y en su caso los rayos solares (PVC), ozono (caucho butilo), etc.

Atención destacada presenta la acción de brotes en el vaso de cañas, juncias, juncos, gramas, etc por acciones de raíces que puedan producir perforaciones de la lámina.

La forma de la unión de la lámina, juega un factor importante, siendo determinante la forma de su realización, que puede hacerse en fábrica (mantas), o bien en obra (rollos), siendo ésta última la más habitual de todas. La dimensión de la pieza es importante, pues una mayor superficie permite un menor número de soldaduras o uniones, lo que permite una mejor garantía de acabado, debiendo exigirse lo más larga y ancha posible, para evitar formar juntas, sobre todos horizontales (prohibidas).

De la forma como tengamos diseñadas la planta, de su altura de calado, de aristas de obras de fábrica de hormigón (bordes curvados), del terreno (piedras con aristas, pizarras, etc), de la inclinación de los taludes (más inclinación, mayor tracción), tapadas con arena y grava o no (predominan estas últimas, puesto que la recubierta exige taludes 5:2 ó bien 3:1), de las entregas en los anclajes, de los soportes de lastrados, etc. tendremos necesidad de una u otra geomembrana.

Por último, de cómo trabaja el embalse, de sus permanencias en "seco", de la zona climática (sol, viento), se determinarán partes de otras acciones a tener en cuenta en su vida útil y duración.

4.2. VIDA ÚTIL.

Debe situarse en torno a los 20 años de su existencia como mínimo, aunque la experiencia de muchas ellas no se sitúan ni en los 10 años, como les ocurre a los PVC.

Resaltan los estudios llevados a cabo por Manuel Blanco y Escolástico Aguiar en más de una docena en diferentes embalses canarios, con antigüedad en algunos de ellos de 1.985, donde predominan diferentes PVC/p homogéneo, fibra vidrio, hilo sintético; PEAD; PEMD; EPDM; EVA; PP; otros.

Concluyen en un detallado informe:

- PVC: Pérdida de plastificante menor en las homogéneas. Las de fibras de vidrio bien. En la unión de las compuestas, el poliéster y la resina vinílica no son buenas, al tener coeficientes de dilataciones distintos, conduciendo a fallos en el material y fundamentalmente en la zona de soldadura, ocasionando el fenómeno de la deslaminación. La parte más soleada y superficial, es la que presenta más pérdida de plastificante, mayor retracción y rotura en el ensayo de doblado a bajas temperaturas (alguno a los dos y tres años de su colocación).

- PEAD: Presenta un problema en el punzonamiento estático. Presenta problema desiguales en pruebas de tracción.

- EPDM: Impacto estático es bueno, menor valor en tracción y desgarró, pérdida de alargamiento y baja resistencia al pelado.

- Propileno y EVA/C: Elevada resistencia al punzonamiento estático, sobre todo el EVA.

5. MERCADOS Y TENDENCIAS.

En Murcia, se comenzó con el PEBD y PVC, para después decantarse en dos productos:

- PEAD.
- EPDM.

Según las circunstancias de la zona, se colocan una u otra, siendo la de PEAD la que gana en adeptos. La cuestión económica que podría venir a resolver parte de

soluciones, tampoco ayuda mucho, puesto que ambos están en precios muy similares, rondando en el caso de 1,5/2 mm las 1.000 pesetas metro cuadrado, dependiendo de las casas comerciales que poseen mayor voto de simpatía por parte de usuarios.

El hecho de observar o pedir garantías, no suele tener práctica habitual y lo único que influye es el comportamiento en tiempos actuales de membranas similares, así las roturas de éstas suelen influir de forma inmediata sobre el cambio de tendencia, siendo las de EPDM las que constituyen mayor número de sobresaltos (nacimientos de juncos en fondo, roturas), aunque también existen sobresaltos en el PEAD, sobre todo en las zonas altas y frías.

En cuanto a datos estadísticos de uso en otros mercados como el norteamericano, suele decantarse hacia el EPDM con una clara ventaja (89 millones de metros cuadrado, 78%) mientras que en Europa es tan sólo del 18,3 % (9,5 millones de metros cuadrado), siendo mayoritario en el PVC.

Una vez superada y aceptada la fuerte variación de dilatación y contracción del PEAD como natural, es confiar en su respuesta, aunque debe ser el análisis de su localización, de la obra (buen acondicionamiento del talud, sin presencia de piedras para evitar el punzonamiento estático), la que tendrá la última palabra.



Foto nº 6. 8. Acopio de láminas en la obra.

6. PRECIOS ORIENTATIVOS EN LA IMPERMEABILIZACION.

- Geotextil: 1,35/1,5 €/m² colocado.
- PEAD: 4,8/7,23; con espesores de 1,5/2 mm. €/m² colocado.
- EPDM: Sobre los 6 €/m² colocado, vulcanizado de 1,5 mm.

Ahora bien, hay que especificar en el Proyecto si entran las pérdidas del solape (2-3%) y la del anclaje del pasillo (1 m² de lámina por metro lineal de anclaje). Se debe aclarar para evitar dudas, por ejemplo de la siguiente manera:

M². Lámina impermeabilizante de polietileno de alta densidad de 1'5 mm de espesor, unida por medio de termofusión, extrusión, totalmente colocada, verificación de pruebas de estanqueidad de la junta, conforme acuerdo a la normativa, sin medición de solapes o pérdidas de recortes.

Dejando claro que se abonará el material colocado en el anclaje. Hay que especificar el precio a que se refiere el proyecto, para evitar problemas posteriores, ya que la lámina tiene un precio y cantidad nada despreciable en el presupuesto.



Foto 3. 46. Balsa de Huerta de abajo. Pliego. Murcia. 235.000 m³.

CAPITULO 7.

COLOCACIÓN EN OBRA DE LA LÁMINA.

1. TRABAJOS PREVIOS A LA COLOCACIÓN.

Limpieza de todo el vaso de la balsa, no dejando ninguna piedra. A veces suele ser necesario extender una capa de arena de algunos centímetros, previamente a la colocación de la lámina.

En el pasillo de coronación se realiza una excavación paralela a la arista del borde del vaso. Esta zanja perimetral se realiza con una separación de unos 50 cms de distancia de dicha arista y profundidad suficiente (40/40) para alojar el inicio de los paños. Esta faena recibe el nombre de anclaje de lámina.



Foto 7.1. Zanja perimetral.

Para poder trabajar en toda la balsa, se deja de forma provisional y en otros casos permanente, una rampa de bajada de vehículos con una pendiente más suave que la del talud interior, para acceder al interior de ella con maquinaria, siendo ésta última la que se cierra, previa excavación y perfilado del talud que corresponde. A veces se suele dejar (Foto 4.3.).

Es importante insistir en dejar limpio el interior del vaso de piedras. Si el terreno presenta problemas de cohesión y presenta fuertes irregularidades en su superficie, podemos sellar los huecos existentes con algún sistema que tape dichos poros y estabilice si fuera necesario con algún tratamiento de lechada, normalmente se suele extender arena .

Hay que evitar que después del refino de los taludes pase algún tiempo, ya que podría dar lugar al deterioro de la superficie y provocar erosiones, crecimiento de vegetación, etc.

Es importante el momento climático para el trabajo de la lámina. En caso de lluvia se suspenden el trabajo temporalmente. La mejor época es aquella que la temperatura es media, sobre todo para el PEAD que presenta problemas de dilataciones, en caso de trabajos con temperaturas altas, se cortan los trabajos las horas de mayor temperatura o incluso, se suspenden. Otro fenómeno es el viento racheado que puede levantar las láminas y producir el vuelco de las mismas, debiendo lastrarse provisionalmente con sacos de tierras para evitar que se muevan (foto nº 5. 2).

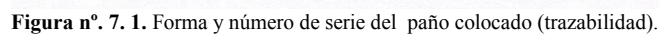
2. NÚMEROS DE PAÑOS.

Hay que realizar el menor número de soldaduras posible. Esto se consigue mediante láminas grandes, estudiando los recortes.

La forma de la balsa determina el aprovechamiento máximo de los paños, como vimos en el capítulo 1, artº 7; así una balsa de forma tronco piramidal, posee menos desperdicio de mantas que una circular.

En general deberá de realizarse un análisis de la colocación y aprovechamientos de los paños o mantas. En ningún caso permitiremos uniones de paños transversales en los taludes por estar sometidos a tracción. Una manta de 40 x 12 de PEAD 2 mm pesa

La longitud del paño exigido debe ser tal que la colocada sobre el talud la cubra totalmente y no necesite añadido. De no realizarse berma por su altura, evitaremos tensiones no adecuadas en las uniones de la lámina. En caso de tener que realizarse grandes caídas de mantas estas se realizarán anclándolos en el talud y realizando descansos entre ellas, o bien creando las bermas en caso de grandes alturas. Adjunto se detalla la distribución de paños en una balsa de 235.000 m³.



3. EXTENDIDO DE LA LÁMINA.

La forma de transportar, almacenar en obra y distribuir en el trabajo, es importante. La lámina no debe tener problemas de perforaciones, arañazos, ni deformaciones de asientos que modifiquen el estado del acabado original. Los controles de su fabricación, número de series, dimensiones y fabricantes, estarán impresos en tinta imborrable para el seguimiento de su control de trazabilidad (ubicación en la balsa). Durante su manipulación se tendrá el mismo cuidado.

En general, se empieza siempre por la parte del talud contrario a la rampa de servicio, por una parte recta de su esquina. Si lleva un soporte base de geotextil en la lámina impermeable (PVC, PEAD, EPDM), se comienza ésta desde la solera hasta la zanja de anclaje del pasillo de coronación. El geotextil se puede soldar, solapándolo o dejar las juntas sin soldar. A continuación se trabaja la lámina impermeable de forma inversa, se deposita parte de lámina del extremo en la zanja de excavación (normalmente la solera de la excavación y una pared, es decir, 80 cms, como se observa en la fotografía 3.38) más la parte del pasillo de coronación hasta la arista del borde (50 cms) y se deja caer hasta el fondo de la balsa. De ésta forma, se continua con la siguiente y a continuación se comienza a soldar de forma longitudinal, de arriba del talud hasta la base. Una vez cubierta la parte de pared del talud correspondiente, se continua con los taludes vecinos. La solera del vaso se trabaja al final.

En general existen dos equipos de trabajos, uno por delante colocando “mantas” de geotextil y otro soldando. Una vez se ha soldado un área determinada, el segundo equipo, pasa a colocar los lastres provisionales, con sacos de arena (foto 3.10), hasta ser soldados.

El calzado de los operarios no deben de tener incrustaciones de piedras que perjudique la lámina (botas militares) sobre todas aquellas láminas como el PEBD de lámina delgada, suelen pegarse con cintas adhesivas de grandes anchuras, para después cubrirlos con grava y arena.

En la caída de láminas sobre el talud se evitaren los pliegues debido a una mala colocación del paño, lo que se denomina “descolgado” y que obliga a una detención de la soldadura para realizar un posterior parche (extrusión) como se observa en la foto nº

4. 8; a punto de realizar una arruga que obligará a la paralización de soldadura por termofusión, para ser corregida por extrusión, como el roto de la foto n°. 6.6.

Hay que tener en cuenta que la forma de extender la lámina varía según la lámina. El PEAD es más difícil de manejar, hay que dejarlo caer desde arriba del talud y se desliza a una fuerte velocidad, luego habrá que modificar y cuadrar la manta (insistir en su peso), sin embargo otras láminas, por ejemplo el PEAD es más fácil su colocación y permite hacerlo de continuo, por ejemplo las esquinas, se recortan sobre la marcha (foto n° 4.4.), mientras que en el PEAD hay que cortarlo expresamente afuera y colocar posteriormente el paño, uniendo las cuñas posteriormente de las esquinas. Es un esquema distinto. Lo que si coinciden todos en su terminación del vaso y rampa de salida, última en ejecución.

4. ANCLAJE Y COLOCACIÓN DE MANTAS.

El anclaje de coronación se realiza en el PEAD, incluso antes de dejarlo caer, mediante sujeción de gavillas de hierro que se insertan en la lámina y se clavan en la zanja de anclaje de forma continua. En el EPDM es suficiente con cubrir con parte de peso en la zanja, dejando durante días que se relaje en su nuevo depósito. Luego se entierran en la zanja practicada, según normas. De existir el geotextil, éste se coloca como es natural, antes que la geomembrana, adelantándose en toda su dimensión.

En caso de PEAD, se dejará sin cubrir la parte de las soldaduras iniciadas en su parte anterior, para realizar su comprobación, como se muestra en la fotografía 7.3. Este tipo de anclaje aguanta el peso de la lámina (2000 Kg cada manta de PEAD).

El material de relleno puede ser el procedente de la propia excavación, seleccionado o no, de hormigón, aunque se comprueba que existe una difícil situación de movimientos en las dilataciones del PEAD, originando un "terreno de nadie", que podría falsear la estructura del muro o bordillo que se desea colocar encima del mismo.

Para evitar las roturas de láminas del PEAD, en balsas de grandes superficies, se aconseja realizar un pliegue en las esquinas y en el perímetro de la solera del vaso, para que no tenga problema en sus contracciones posteriores.



Los rollos más complejos de trabajar son los del talud. Es conveniente considerar un plan diario de trabajo para terminar el “tajo” de soldaduras, según se van colocando los mismos, colocando siempre el lastrado provisional mediante saco de arena, siguiendo un orden parecido al que seguirá en soldadura.

En los lastres provisionales del talud, se sujetan unos sacos a otros, formando líneas, para evitar su deslizamiento.

Uno de los aspectos más interesante es la aproximación de la lámina con obras de fábrica de hormigones o piezas metálicas singulares como las bridas de acero, empleadas en salidas, derramaderos, entradas de agua, etc. En éstos hay que extremar cuidado de los asentamientos del terreno cercano a la obra. Estos terrenos de no estar bien compactado, darán lugar a los siguientes problemas en la lámina impermeable:

- Cortes en forma de cizalla.
- Desgarro con el anclajes.
- Grietas y deformaciones espectaculares por excesiva fricción.

La forma de evitarlo, según el orden de daño, es la siguiente:

- A) Terminación del hormigón en forma de bisel.
- B) Suficiente lámina de anclaje.
- C) Protección con geotextil, elastómeros.

5. SOLDADURAS, PRUEBAS Y CIERRES MÁS COMUNES EN LÁMINAS.

En general, entendemos que sólo existe soldaduras, pegados, etc. vimos que variaban según el material y dentro de cada una, las especificaciones, por ejemplo si es de EPDM con / sin armaduras, sin /con vulcanizado, dando el tratamiento adhesivo específico para cada caso. El uso del limpiador recomendado y los adhesivos homologados, siguiendo la norma de colocación específica del fabricante en sus recomendaciones, practicando suficiente espacio de solapes, limpieza, sellados, anclajes, lastrados, etc.

Aunque habíamos hablado de ello en el Capítulo 6, artº 3; eran solo entre láminas, recopilando:

I Pegados con productos.

II Vulcanizado.

III Pegado con cinta.

IV Soldaduras por termo – fusión de los propios materiales.

VI Soldaduras por extrusión (material incorporado por un cordón externo fundido de la misma característica).

La unión mediante soldadura por termo - fusión se realiza con la ayuda de máquinas automáticas autopropulsadas que permiten controlar la temperatura, velocidad y presión de soldado (foto 4.8). Este método realiza una soldadura de calidad extraordinaria en la que las dos láminas se sueldan mediante solapamiento, normalmente de 30 cms. La unión de soldadura es doble y está separada por un canal central sin soldar (Fig. 6.3.), que sirve para realizar la prueba de estanqueidad.

De esta forma se permite la comprobación de la soldadura mediante insuflado de aire a presión, normalmente 2 atmósfera (foto 7.3.), cerrando el extremo mediante torniquete. El método permite comprobar si hay fuga en la soldadura, aplicando el aire a presión (bomba de inflado) en el canal de prueba. Caso de tener caída de presión rápida, sin mucho sostenimiento, se procede a mojar toda la soldadura con agua jabonosa para detectar la fuga de aire. Una vez detectada la fuga se señala con pintura plástica para después proceder a su extrusado.



Foto n°. 7. 3. Prueba de la doble soldadura en PEAD.

Con éste método es posible comprobar minuciosamente la totalidad de una junta de una sola vez. Una típica junta de 100 metros puede ser comprobada en 15 minutos.

La características de la resistencia de la soldadura, se comprueban en el laboratorio mediante tensado, realizando lectura de la tensión ejercida hasta su rotura (Foto 2.2.). En el momento de producirse, se registra la fuerza ejercida justo en el momento en que rompe. La forma en la que parte la lámina es muy importante, debiendo de romperse por cualquier sitio, menos por la soldadura.

Tipo de rotura	Descripción de la rotura	Clasificación
 Dirección de cizalla →	Fallo de adhesión.	Incorrecta
	Rotura en la geomembrana.	Correcta
	Rotura en el extremo exterior de la soldadura. La rotura puede ser en la geomembrana superior o inferior.	Correcta
	Rotura en el extremo interior de la soldadura.	Correcta
	Rotura en el principio de la soldadura después de algún fallo de adhesión. La rotura puede ser en la geomembrana superior o inferior.	Correcta

Fig. n°. 7. 9. Rotura de soldadura de PEAD por termodifusión.

En la obra también se puede realizar aplicando a una muestra que por un lado se fija mediante atado y en el otro extremo se le fuerza a tracción con una maquina hasta

romperse, también se puede emplear tensores de fuerzas que rompen las dos láminas soldadas y nos fija la aguja en su máximo valor de tensión de rotura. Nunca debe romper por la unión de la soldadura, sino por cualquier parte de la lámina.

En las soldaduras por extrusión, existen más dudas y hay menos claridad. Existen comerciales que auguran que es una soldadura más, de igual fiabilidad y hay otro grupo que no se lo creen y huyen de someter a estas soldaduras a fuertes tensiones de tracción (recordemos que el PEAD sufre de enormes dilataciones y lo que es peor, contracciones del material).

La soldadura por extrusión se realiza mediante la aplicación de un cordón de resina en la unión de dos láminas solapadas (Fig 6.5.) o lámina con el perfil del mismo material (foto 6.5.). La unión de dos láminas o lámina y perfil, se funde por la acción combinada de un soplador de aire caliente y el polímero fundido, resultando una unión homogénea entre el material aportado entre las dos láminas o la lámina y parte del perfil.

Las máquinas de soldadura por extrusión son aparatos manuales que facilitan la lectura de la temperatura del material fundido y permiten el ajuste numérico de la unidad de precalentamiento (soplador del aire). Antes de realizar la unión, hay que preparar las áreas a soldar mediante lijado, observe la lijadora de la foto nº. 6.5.

En el caso de seguimiento de pruebas en éstas soldaduras de extrusión, se realiza con un aparato denominado “chispometro”. Previamente a la soldadura, hay que añadir un cordón de hilo de cobre para que se incorpore con la masa fundida del cordón de resina, tapado por el depósito derretido de la resina. El hilo debe estar suficientemente cubierto por la resina. Esta soldadura se comprueba con el aparato eléctrico que produce un "arco eléctrico" en el caso de no estar protegido el cobre por la resina, saltando una chispa eléctrica (de ahí su nombre), debiendo señalar la zona detectada para volver de nuevo a soldarla.

La norma UNE 104 421 de Diciembre de 1.995 realiza el desarrollo de la puesta en obra y la forma correcta de trabajar y controlar esta lámina de PEAD. De éste modo en las pruebas de roturas de soldaduras por extrusión, donde se aporta el material, suele darse la siguiente clasificación.

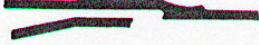
Tipo de rotura	Descripción de la rotura	Clasificación
	Fallo de adhesión. Las probetas pueden también delaminarse bajo el material extrusado y romper a través del delgado material extrusado en el área exterior.	Incorrecta
	Fallo de adhesión.	Incorrecta
	Rotura a través de la extrusión. Tal rango de roturas va de aquéllas que empiezan en el extremo de la geomembrana superior a aquéllas que atraviesan la extrusión después de algunos fallos de adhesión entre la extrusión y la geomembrana inferior.	Correcta
	Rotura en el extremo de la soldadura. Las probetas pueden romper en cualquier lugar desde el borde material extrusado/área exterior al borde área exterior/área pegada. (Aplicable a cizalla sólo).	Correcta
	Rotura en el extremo de la soldadura. Las probetas pueden romper en cualquier lugar desde el borde material extrusado/área exterior al borde área exterior/área pegada.	Correcta
	Rotura en el lado de la soldadura. (Aplicable a pelado solamente).	Correcta
	Rotura en la lámina. (Aplicable solamente a cizalla).	Correcta
	Rotura en lámina.	Correcta
	Rotura en la lámina después de algún fallo de adhesión entre la extrusión y la lámina inferior. (Aplicable sólo a pegado).	Correcta
	Rotura en el extremo de la unión por calor para probetas que no podrían ser delaminadas en la unión por calor. (Aplicable sólo a tests de cizalla).	Correcta

Figura nº. 7. 10. Roturas de soldaduras por extrusión en PEAD.

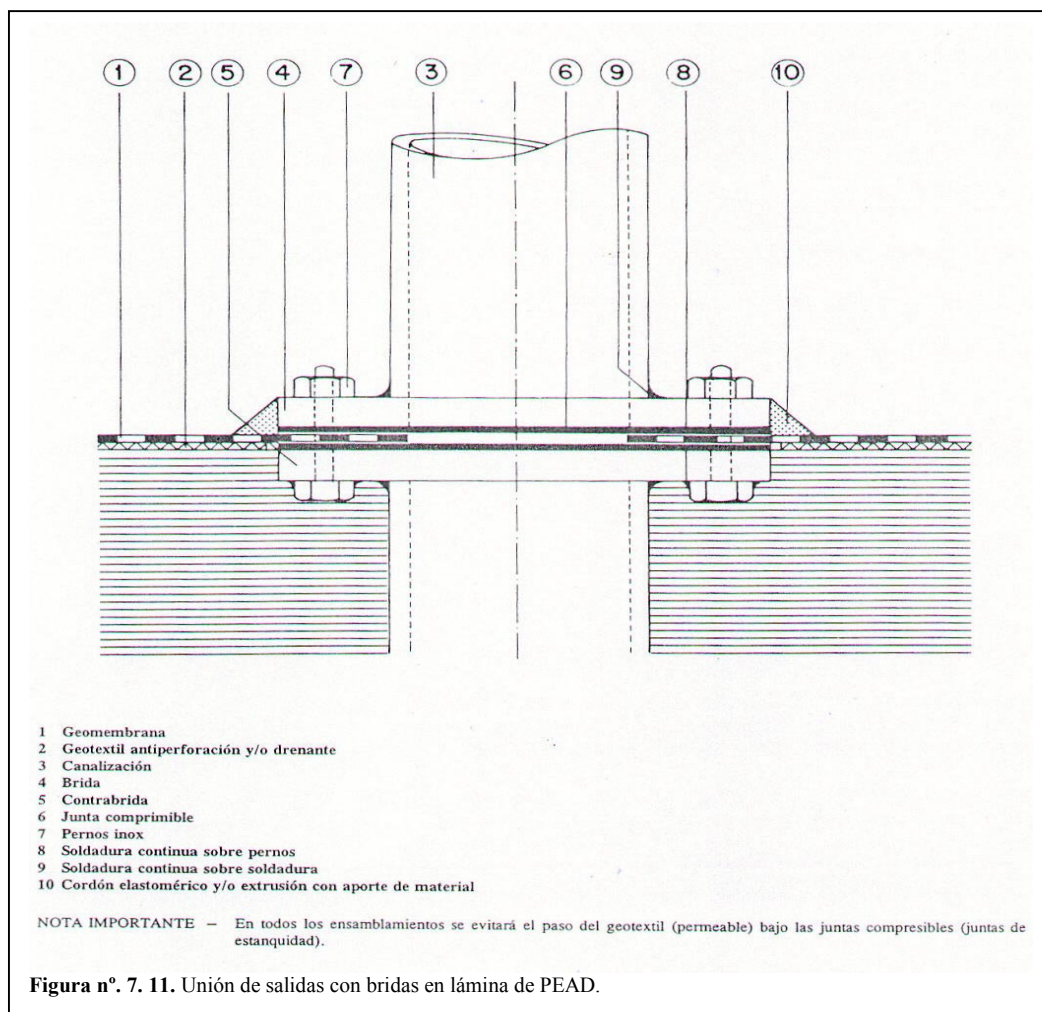
Una cosa que debemos tener claro, es que cuánto más grosor posee la lámina (buena para tracción, resistencia a rotura, etc), peor es la soldadura. La tendencia actual en EEUU se viene utilizando más las láminas delgadas.

El polietileno es un material muy experimentado en vertederos en EEUU y se puede decir, que está muy extendido en Murcia, donde a partir de los 80 empezó a sustituir al PVC. Aunque sus resultados son satisfactorios, no suele encajar a primera vista por el defecto de sus abundantes arrugas (necesarias además) que le da una visión poco estética en su acabado. He oído muchas veces eso de “no suele entrar por el ojo a

primera vista”, debido a su aspecto rugoso y escuchar mentiras piadosas: - “después se quitan”.

El Polietileno tiene una amplia y abundante documentación, especificaciones de normas, experiencias, etc. Curiosamente es difícil la información acerca del Propileno, del que se dice que desplazará al PEAD, al tener mayor flexibilidad y ser un material **homogéneo** (los que poseen mezclas sofisticada, entramadas fórmulas de compuestos, no son adecuados). Los sistemas de soldaduras en el Propileno son idénticos a los del PEAD. Quizás pueda competir y desplazar al PEAD en el futuro.

El problema del PEAD es su dureza, su falta de flexibilidad (algo menos al aplicar PEBD), sus cambios de formas, donde en los periodos fríos o bien en horas tempranas del día, el material está “tieso” y conforme avanza el día, se pone rugoso, allí donde estaba liso, según zonas. Estas contracciones / dilataciones continuas y exageradas exasperan a sus seguidores. En cambio, el EPDM no presenta éstos problemas, aunque como no hay nada como el paraíso, éste presenta la dificultad de no poder soldarlo bien al cabo de años, con lo cual, “mi gozo en un pozo”.



Otra dificultad del PEAD es el ajuste estanco del cierre. Esta duda es de efectos muy grave. Aunque drástico, existe enormes dificultades del cierre en la salida, en el caso de PEAD, cosa que no ocurre sin embargo con el EPDM. Los problemas que acarrea una fuga, coincidente con la salida natural, se debe a la dificultad de adherir el PEAD con otros materiales. La normativa aconseja el sistema de la figura anterior. 7.11.

El EPDM goza de adeptos de gran importancia. Los resultados iniciales son excelentes y posee una amplia cantidad de balsa protegida con éste sistema en Murcia, donde organismos como Taibilla, Confederación, Consejería de Agricultura de la CARM, particulares, suelen inclinarse por éste sistema más flexible que el PEAD.

Normalmente tiene sus defensores (comerciales, como es natural) y que son especialistas en éstos materiales. Una casa de láminas tal, hablará mal del otro producto cual y contará excelencia del suyo. Por tanto suelen ser referencias de poco valor.

La forma del problema de los aprietes en cierres, es totalmente seguro en el EPDM y menos fiable en el PEAD. Los primeros son seguros y es difícil que produzcan problemas de filtraciones por las juntas. No conozco métodos de comprobar las juntas o uniones de las laminas de geomembranas, salvo las visuales o el pase con meros instrumentos romos por sus uniones, por si hubiera vacíos, huecos. Se puede urgir con un tipo de plástico duro, para no dañar la lámina y sobre la línea de soldadura, se va pasando y se comprueba que no se introduce nada.

Ni que decir tiene, por su sentido común, que el geotextil estará alejado de esta junta, puesto que transmite la humedad y por tanto sería un camino ideal para el agua, aunque fuese filtrada.

En algunos casos se realizan las uniones con pletinas de aceros protegidos contra la corrosión.

En otra consideración, descansan sobre la lámina, lastres definitivos en el fondo del vaso, correas de hormigón, bloques, etc. sobre el talud. En cualquier situación, se cuidará de que no se claven sobre la lámina, durante su ejecución.

6. FUGAS DE AGUA A TRAVÉS DE LA LÁMINA.

El problema que presenta la fuga de agua a través de la lámina, es la desestabilización del talud y como consecuencia, la rotura de la balsa.

En general, suele ser paulatino el deterioro. En un primer momento, es el “embolsamiento” del pie del talud expuesto por resbalamiento de las tierras superiores.



Foto 7.4.

La lámina experimenta mayor sollicitud de tracción, aumentando el roto, quedando normalmente éste en vacío y propiciando mayor desgarró de la lámina.

Cuando el grado de fuga es mayor, sigue la rotura de la balsa, provocando daños incalculables.

Los signos naturales de las fugas de la balsa los podemos conocer por algunos de los siguientes síntomas:

- Matas de plantas aledañas a la balsa, que verdean de forma exagerada y robustez impropia.

- En el plástico de los taludes: hundimientos, deformaciones, asientos exagerados, surcos de canalizaciones en la solera de la balsa, etc.
- En el pasillo de coronación, asientos del terreno (cuando la compactación fue insuficiente, porque sí fue adecuada, ésta no suele transmitirse), grietas.
- Roturas en la obra de fábrica como bordillos, entradas, en los postes del cerramiento deformaciones, etc.

La rotura de la lámina, puede ser, por:

- Agentes meteorológicos.
- Animales, plantas.
- Vandálicos.
- Contactos: Punzante de piedras, obras de fábricas, juntas metálicas, (Mecánicos).etc.
- Entregas, pesos, asientos diferenciales.
- Pérdida de propiedades de la lámina por envejecimiento, deslaminados, grietas, cuarteado por endurecimientos, etc.

Parte de los males que sufren las balsas, pueden provenir también por una mal diseño, donde la lámina se deposita en terrenos inapropiados (turbas, materia orgánica, limosos, travertinos, etc), falta de compactación, mala geometría del vaso (pendientes excesivas en taludes, bordes, aristas, longitudes superiores a 250 metros en la solera del vaso, etc.

- Entrada del agua: Roturas de obras de hormigón a modo de canales.
- Aliviaderos mal diseñados.
- Control de la salida:

Fallos en la unión de la lámina con la brida (punto débil).

BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA.

Diseño y construcción de pequeños embalses.
IRYDA (Manual Técnico nº. 2 – 1.985).
Pequeños embalses de uso agrícola. Diques de materiales sueltos. 1.997 y
Segunda Parte : Los diques: Tipología, estructura y cálculos.
Autor Rafael Dal-Ré Tenreiro.
M.A.P.A.
Apuntes de construcción II.
Carlos M. Ferrer y José J. Vallés Prada.
SPUPV-92.159.
Diseño de pequeñas presas.
United States Department of the interior Bureau of reclamation.
Impermeabilización de lagunas artificiales.
Gabriel Auvinet y Raúl Esquivés.
Patología de geomembranas de poli(cloruro de vinilo) plastificado instalado como pantallas impermeabilizantes en embalses.
Blanco, Manuel; Cuevas, Angel; Aguiar, Escolástico.
Revista de Ingeniería Civil 119/2.000 Pág. 91/101.
Aspectos más relevantes del comportamiento en obra de los materiales sintéticos utilizados como geomembranas impermeabilizantes en embalses ubicados en la Comunidad Autónoma de Canarias.
Autores: Blanco, Manuel; Aguiar, Escolástico.
Revista de Ingeniería Civil 117/2.000 Páginas 25/35.
Manual para el diseño, construcción y explotación de embalses impermeabilizados con geomembranas.
Amigo, Enrique; Aguiar, Escolástico.
Editorial Consejería de Agricultura y Alimentación Gobierno de Canarias. 1.994.
Norma Española UNE 104/421 Materiales sintéticos. Puesta en obra. Sistemas de impermeabilización de embalses para riego o reserva de agua con geomembranas impermeabilizantes formadas por láminas de polietileno de alta densidad (P.E.A.D.) o láminas de polietileno de alta densidad coextruido con otros grados de polietileno.
Manual de Polyfelt Geosyntectics.
Estudios Geológicos-Geotécnicos y de prospección de Materiales.
Comité Nacional Español de Grandes Presas.
Guías Técnicas de Seguridad de Presas nº. 3.
Pequeños Embalses.
V Máster Internacional de Riego y Drenaje.
M.A.P.A. 2.000.
Química General Moderna.
Joseph A. Babor y José Ibarz Aznárez.
Editorial Marín, S.A.
Una nueva dimensión en filtros Polyfelt F. Geocompuestos filtrantes.
Autor: Polyfelt Geosynthetics.
Todo sobre la impermeabilización de embalses con geomembranas sintéticas de caucho EPDM o Butilo.
Documento de especificaciones técnicas.
Revista Técnica. Pág 61 a 65.
Apuntes de clases de Polímeros del 3er. Ciclo de la UPC.
Noticias en Plásticos Universales.
<http://www.plastunivers.es/pu/60/R60noti.htm>
Asociación de Prensa Profesional.
http://www.app.es/sector/sec_links.html

