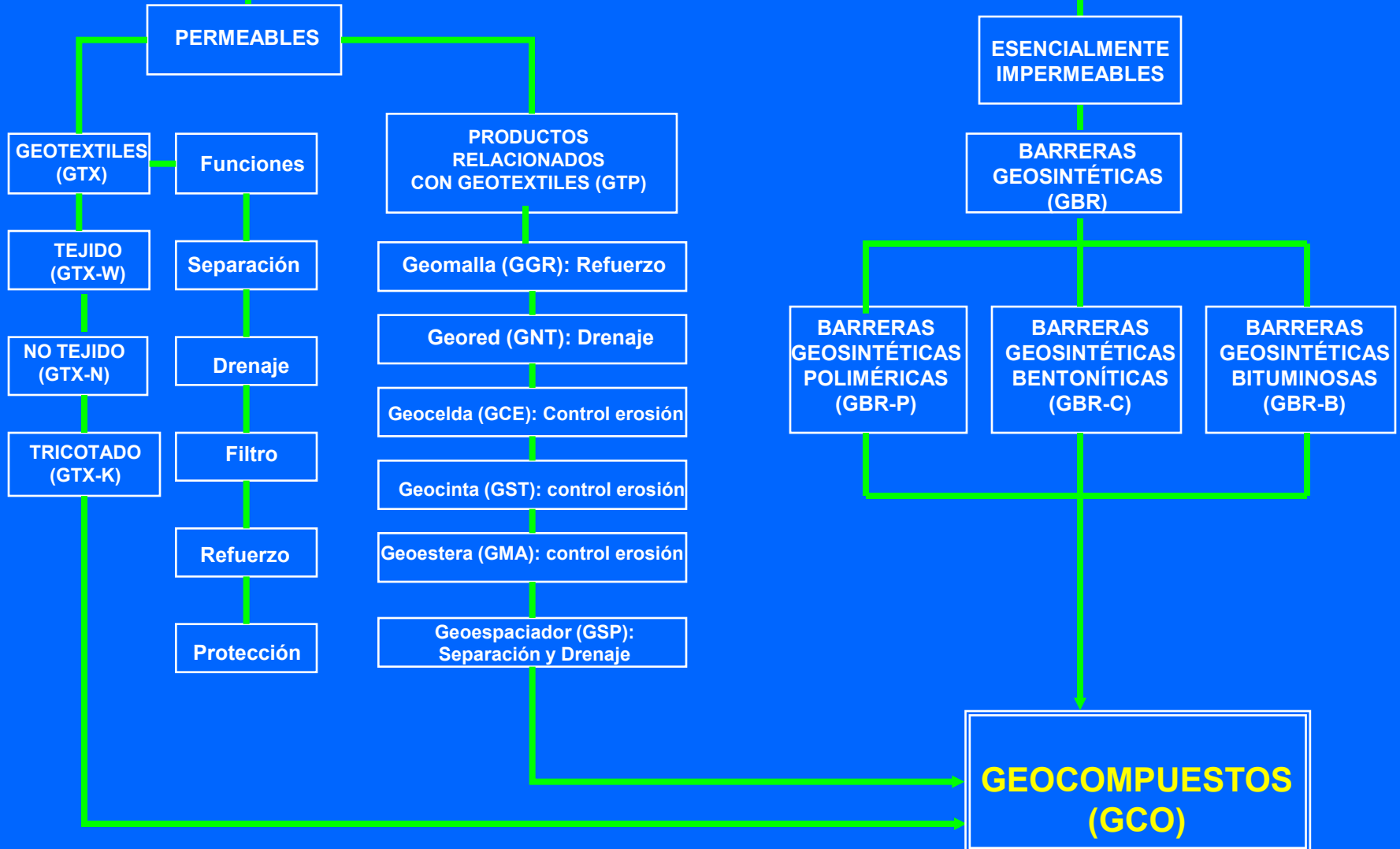


GEOMEMBRANAS

Dr. Manuel BLANCO

GEOSINTÉTICOS (GSY)



Materiales

PEBD

Espesores bajos

Enterrada

El Fraile
Plá Mateos



Materiales

IIR

Espesores del orden de 1 mm

Vista

Ataque por ozono

Mediterráneo

Azud de Matavacas



Material

PVC-P

No atacado por el ozono

Normativa

Plan Hidrológico de Canarias

Colaboración CEDEX-BALTEN

Migración plastificantes



Materiales

PEAD

Payuelos
Páramo Bajo
El Barco de Ávila
Villalar

San Isidro
San Lorenzo
Cuatro Caminos
Plá de Sant Jordi



Materialles

EPDM

Castilla-León
Extremadura
Levante
Canarias



Materiales

ICOLD: Boletín 78 (1.991)

IIR

Kualapuu



Materiales

ICOLD: Boletín 135 (2.010)

CPE

Presa del Odiel Perejil



GEOMEMBRANAS POLIMÉRICAS

Resina

Aditivos



Materiales

Macromoléculas

PM > 10.000

Inorgánicas.- (Cemento, porcelana, vidrio, ...)

Orgánicas.- (Grasas, proteínas, plásticos, ...)

Polímeros



Materiales

Polímeros: Clasificación

Según su origen



Naturales (Caucho natural)

Artificiales o semisintéticos (Ebonita)

Sintéticos (PVC-P)

Plásticos

Materiales

Polímeros: Clasificación

Según la naturaleza de los monómeros



donde n = grado de polimerización

Homopolímero

Copolímero

Terpolímero



Materiales Polímeros: Clasificación

Según sus propiedades físicas

Termoplásticos

Termoestables



Materiales sintéticos contemplados en la norma europea de impermeabilización con barreras geosintéticas poliméricas (GBR-P)

ECB EVA/C EEA PE PEC PP PIB PVC-P TPO	Copolímeros de acrilatos/etileno y betún Copolímeros de acetato de vinilo y etileno Copolímeros de acetato de etilo y etileno Polietileno Polietileno clorado Polipropileno Poliisobutileno Poli(cloruro de vinilo) plastificado Termoplástico poliolefínico	I
E/P CSM	Copolímeros de etileno/propileno Polietileno clorosulfonado	II
CR EPDM IIR NBR BR POE	Caucho de cloropreno Caucho terpolímero de etileno/propileno/ monómero diénico Caucho butilo Caucho de acrilonitrilo/butadieno Caucho de butadieno Poliolefina elastomérica	III

Materiales

Geomembranas

EVA/C

- Comportamiento correcto con el tiempo
- Muy buena resistencia a la perforación

CPE

Similitud y diferencias con el PVC: estructura

- Flexible
- Resistencia al calor, frío, betunes, aceites, etc.
- Buena durabilidad

Materiales

Geomembranas

PIB

- Resistente a la intemperie
- Resistente a aguas salinas, ácidas y alcalinas

Muy empleado como geocompuesto

PP

- Facilidad de puesta en obra
- Buena resistencia al punzonamiento



Materiales

Geomembranas

Poliolefinas

TPO
POE



-Buena resistencia al punzonamiento

Materiales

Geomembranas

Polietilenos

PEAD

PEMD

PEBD

PEMBD

Densidades:

$>0,948$

$0,940$

$0,933$

$<0,925$

Materiales

Geomembranas

Polietilenos

Poliiolefina más sencilla

Teóricamente sin carbonos terciarios

Gran estabilidad e inercia química

Buenas características mecánicas

Excelente resistencia al impacto dinámico

Muy buen comportamiento a las bajas temperaturas

Valores de resistencia al pelado elevados

PEAD

PEMDNegro de carbono

..... α -olefinas

α -buteno

α -hexeno

α -octeno

PEAD

PEAD + α -OCTENO.....95-98%

NEGRO DE CARBONO.....2-3%

OTROS ADITIVOS.....0,5-1%

Materiales

Geomembranas

Poli (cloruro de vinilo) plastificado. PVC-P

- Rígido
- Incoloro
- Limitada estabilidad al calor
 - >70° C fenómenos adversos
 - 150-200° C degradación y pérdida de HCl
- Presencia de Cl
 - aumenta su dureza
 - autoextinguible

Material

Geomembranas

Poli (cloruro de vinilo) plastificado. PVC-P

Parámetro de solubilidad, 9,5

Difícil de disolver en sustancias polares de bajo parámetro de solubilidad

Soluble en:

Ciclohexanona
Tetrahidrofurano

Acetato de etilo



Materiales

Geomembranas

Poli (cloruro de vinilo) plastificado. PVC-P

PVC	50-70
-----	-------

Plastificantes	25-35
----------------	-------

Otros aditivos	2-5
----------------	-----

Absorbentes de luz UV

Negro de carbono	1-2
------------------	-----

Dióxido de titanio

Cargas

Carbonato cálcico

Estabilizadores

Estearato de calcio

Materiales

Geomembranas

Cauchos termoplásticos

Polietileno clorosulfonado, “hypalon” (CSM)

14 (Cl)+1(Sulfocloruro) por 100 C (PE)
Se vulcaniza con óxidos metálicos

-Resistente:

- Ozono
- Calor
- Envejecimiento
- Aceites

-Poco resistente a:

- Compuestos aromáticos
- Derivados halogenados



Materiales

Geomembranas

Elastómeros

Caucho de cloropreno

- Ataque por ozono
- Resistente a disolventes
- Resistente al calor
- Resistente al envejecimiento

Caucho butilo

- Ataque por ozono
- Resistente a productos químicos
- Resistente a ácidos minerales diluidos
- Resistente a aceites vegetales



Materiales

Geomembranas

Elastómeros

EPDM

Composición: Etileno+propileno+monómero diénico(<5%)

- Resistente al ozono y al envejecimiento
- Buena resistencia al impacto estático
- Buena durabilidad
- Atacado por aceites del petróleo y gasolinas
- Baja resistencia al desgarr
- Baja resistencia al impacto dinámico
- Baja resistencia al pelado

Materiales

Geomembranas

Elastómeros

EPDM

Etileno+propileno+monómero diénico	25-40
Negro de carbono	20-40
Aceites parafínicos	10-20
Otros aditivos	8
Antioxidantes	
Estabilizantes	
Arcillas, Azufre, Aceleradores	

Materiales

Geomembranas

Aditivos

Goodyear (1839).- Caucho

- Ser eficiente en su acción
- Ser estable durante el procesado y servicio
- No sufrir “sangrado”
- No ser tóxico ni comunicar olor ni sabor
- Barato
- No afectar negativamente a las propiedades del material



Materiales

Geomembranas

Aditivos

Cargas

Modifican sus propiedades físicas, fundamentalmente, mecánicas

Inertes (CaCO_3 , caolín, talco, barita)

Reforzantes (fibras)

Lubricantes

Agentes de flujo (estearatos, palmitatos)



Materiales

Geomembranas

Aditivos

Plastificantes

- Líquidos
- PM>300
- Parámetro de solubilidad similar al del material

Plastificación: interna o externa

Ésteres: ftalatos, sebacatos, adipatos, etc.



Materiales

Geomembranas

Aditivos

Ignífugos o pirorretardadores

Fungicidas

Pigmentos



Materiales

Geomembranas

Aditivos

Antienvejecimiento

Evitan:

- Roturas en la cadena
- Reticulaciones
- Formación de grupos cromóforos
- Formación de grupos polares (CO en PO)



Materiales

Geomembranas

Aditivos

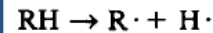
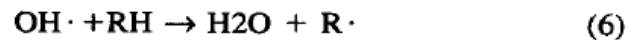
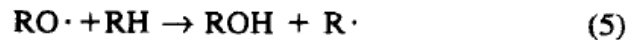
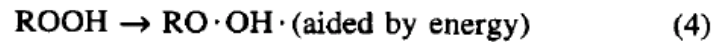
Antioxidantes-----Foto-oxidación
-----Termo-oxidación

Antiozonizantes (p-fenilendiamina)

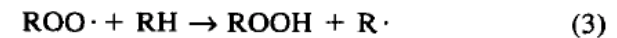
Estabilizadores de deshidrocloración

Absorbentes de luz UV (negro de humo, fenoles y aminas aromáticas)

Oxidación del polietileno



(aided by energy or catalyst residues in the polymer) (1)



**AO
Secundarios**

**AO
Primarios**

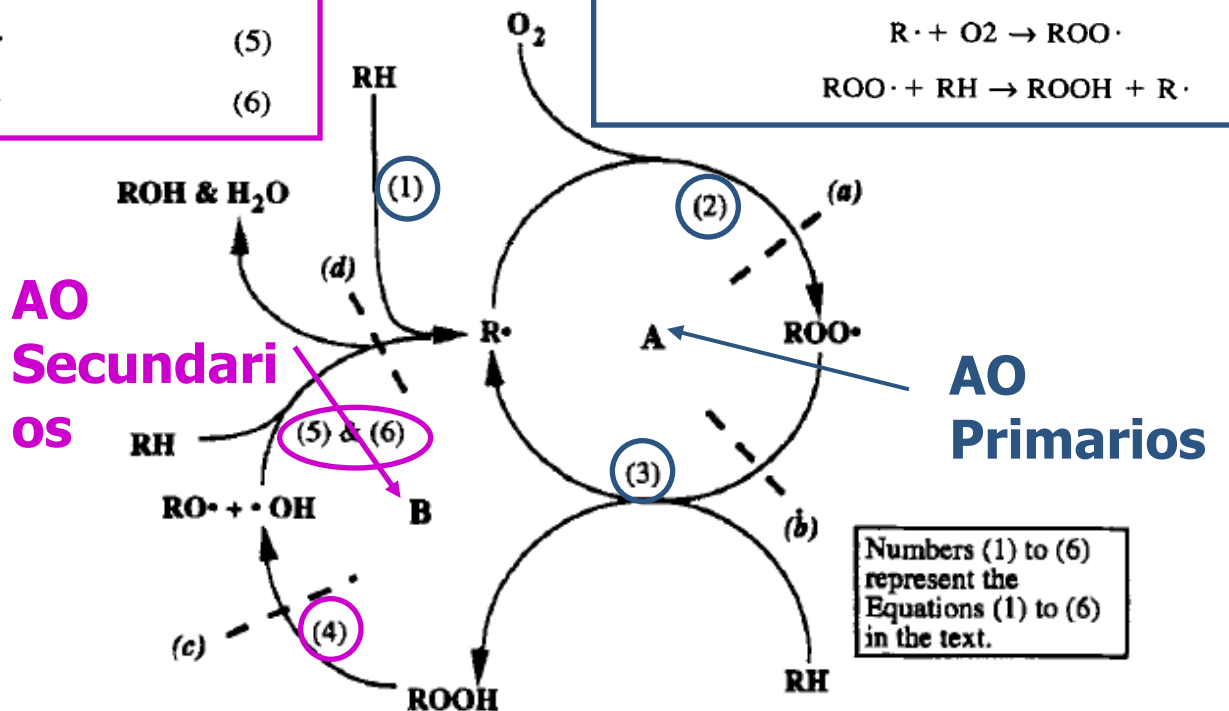


FIG. 3. Oxidation Cycles in Polyethylene (Grassie and Scott 1985)

a, b, d Primarios
c..... Secundarios

Materiales

Geomembranas

ANTIOXIDANTES

Primarios

Fenoles impedidos estéricamente

Aminas impedidas estéricamente

Secundarios

Fosfitos, fosfinas

Derivados de azufre: Tiodipropionato de dilauroilo

Tiodipropionato de diestearilo

Tiocarbamatos

PEAD: ANTIOXIDANTES

Primarios:

Ceden un átomo de H y captan los radicales libres

Secundarios:

Son reductores de hidroperóxidos

PEAD:

ANTIOXIDANTES

TABLE 1. Types of Antioxidants

Chemical type (1)	Example of commercially available antioxidants (2)
<i>(a) Primary</i>	
Hindered phenol	Irganox 1076, Irganox 1010, Santowhite Crystals
Hindered amines (HALS*)	Various types of Tinuvin, Chimassorb 944
<i>(b) Secondary</i>	
Phosphites	Irgafos 168
Sulfur compounds (Thiosynergists)	Dilauryl thiodipropionate (DLTDP), di- stearyl thiodipropionate (DSTDP)
Hindered amines (HALS*)	Various types of Tinuvin, Chimassorb 944

*Hindered amine light stabilizer.

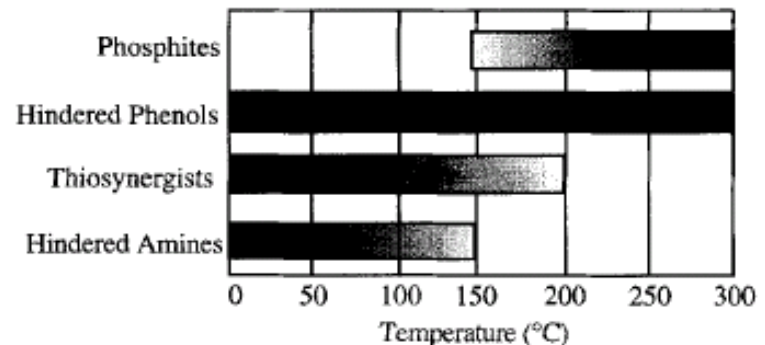


FIG. 4. Effective Temperature Ranges of Four Antioxidant Types (Fay and King 1994)

PEAD: ANTIOXIDANTES

Mezcla de varios en función de:

Rango de temperatura

Primario y secundario

Tipos de láminas

Homogéneas

Reforzadas

Revestidas

Multicapa



Normativa

Geomembranas

CEN (1.985) Berlín.-

Países: UE + Espacio Europeo

“status quo”

CT-254 “Flexible sheets for waterproofing”

Mercado CE

No considera

- cálculos
- diseño
- puesta en obra
- dimensionado
- especificaciones



Normativa

Geomembranas

Mercado CE

Pruebas armonizadas:

- Resistencia a la tracción
- Permeabilidad al agua
- Impacto estático
- Durabilidad



Normativa Europea

Geomembranas

UNE EN 13 361.- Barreras geosintéticas. Características para su utilización en la construcción de embalses y presas.

UNE EN 13 362.- Barreras geosintéticas. Características para su utilización en la construcción de canales.

UNE EN 13 491.- Barreras geosintéticas. Características para su utilización como barrera contra los líquidos en la construcción de túneles y estructuras subterráneas.

UNE EN 13 492.- Barreras geosintéticas. Características para su utilización en la construcción de vertederos de residuos líquidos.

UNE EN 13 493.- Barreras geosintéticas. Características para su utilización en la construcción de vertederos de residuos sólidos y materiales sólidos peligrosos.

Normativa Española

Puesta en obra

UNE 104 427.- Materiales sintéticos. Puesta en obra. Sistemas de impermeabilización de embalses para riego o reserva de agua con geomembranas impermeabilizantes formadas con láminas de polietileno de alta densidad (PEAD) o coextruídas con otros grados de polietileno.

UNE 104 423.- Materiales sintéticos. Puesta en obra. Sistemas de impermeabilización de embalses para riego o reserva de agua con geomembranas impermeabilizantes formadas con láminas de poli(cloruro de vinilo) plastificado, PVC-P, no resistentes al betún.

Normativa Española

Temas relacionados

UNE 104 424.- Materiales sintéticos. Puesta en obra. Sistemas de impermeabilización de túneles y galerías con láminas termoplásticas prefabricadas de poli(cloruro de vinilo) plastificado (PVC-P).

UNE 104 425.- Materiales sintéticos. Puesta en obra. Sistemas de impermeabilización de vertederos de residuos con láminas de polietileno de alta densidad (PEAD).

Normativa Española

Productos líquidos

UNE 104 309-1.- Impermeabilización. Materiales líquidos para la impermeabilización de conducciones empleadas en obras hidráulicas. Características, métodos de ensayo y puesta en obra.

UNE 104 309-2.- Impermeabilización. Materiales líquidos para la impermeabilización de paramentos de presas. Características, métodos de ensayo y puesta en obra.

UNE 104 309-3.- Impermeabilización. Materiales líquidos para la impermeabilización de depósitos empleados en obras hidráulicas. Características, métodos de ensayo y puesta en obra.

Normativa

Española

Otras

UNE 104 317.- Materiales sintéticos. Determinación del recorrido del punzón antes de la perforación en geomembranas sintéticas instaladas en balsas.

UNE 104 426.- Impermeabilización. Puesta en obra. Construcción de balsas cubiertas con geomembranas sintéticas.

Manual para el diseño, construcción, explotación y mantenimiento de balsas

- Recomendaciones
- Especificaciones para geomembranas homogéneas
- Especificaciones para geomembranas reforzadas

Propiedad	Material													
	EVA/C	PEAD	PELBD	PEMBD	PEC	PIB	PVC-P	TPO	PP	CSM	CR	IIR	EPDM	POE
Refuerzo				SI		SI	SI	SI	SI	SI			SI	SI
Características de tracción	B	E	E	E	A	B	A	A	B	B	A	A	A	B
Resistencia al desgarro	E	E	E	E	A	B	A	B	E	E	R	R	R	E
Punzonamiento														
Dinámico	A	E	B	B	B	B	B	B	B	B	R	R	R	B
Estático	E	R	A	E	B	B	B	E	B	R	E	E	E	E
Resistencia radiaciones UV	B	E	B	A	B	B	A	B	B	B	E	E	E	E
Resistencia al ozono	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	R	R	B	E
Resistencia de la soldadura														
Soldabilidad	B	B	B	E	E	B	E	E	A	A	R	R	R	E
Pelado	B	E	E	E	B	B	B	B	B	B	R	R	R	B
Facilidad de instalación	B	E	E	E	E	B	E	E	B	B	B	B	B	E
Reparabilidad	A	E	E	E	E	A	E	E	A	R	R	R	R	E

donde: R=regular
A=aceptable
B=bueno
E=excelente

CARACTERÍSTICA	MATERIAL			
	PVC-P	CSM	PP	PEMBD
Resistencia a la tracción, N/50 mm, mín.	1100	1100	1100	1000
Alargamiento en el punto de carga máxima, %, mín.		15		
Doblado a bajas temperaturas		Sin grietas		
Resistencia al desgarro, N, mín.	130	550	500	350
Resistencia al impacto dinámico:				
- Altura del percutor, mm, mín.		500		
Resistencia al punzonamiento:				
- Recorrido del percutor, mm, mín.	12	10	30	10

Balsas REIMPERMEABILIZACIONES

PVC-P



PVC-P
La Cruz Santa



PEAD
Sa Rota



EPDM
Torrealta-1



GOBIERNO
DE ESPAÑA

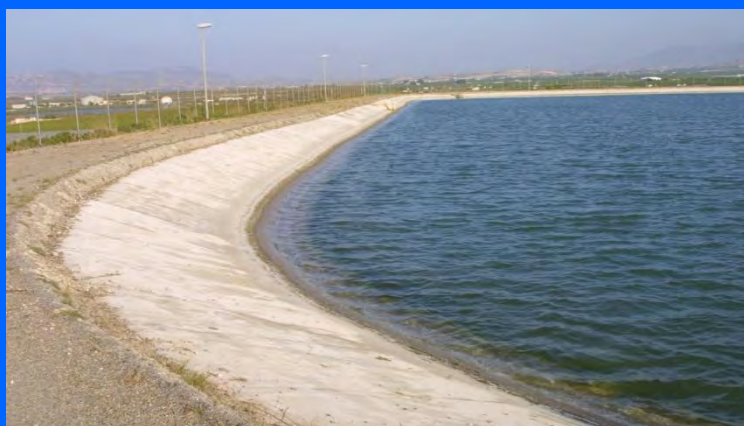
MINISTERIO
DE FOMENTO

MINISTERIO
DE AGRICULTURA,
ALIMENTACIÓN
Y MEDIO AMBIENTE

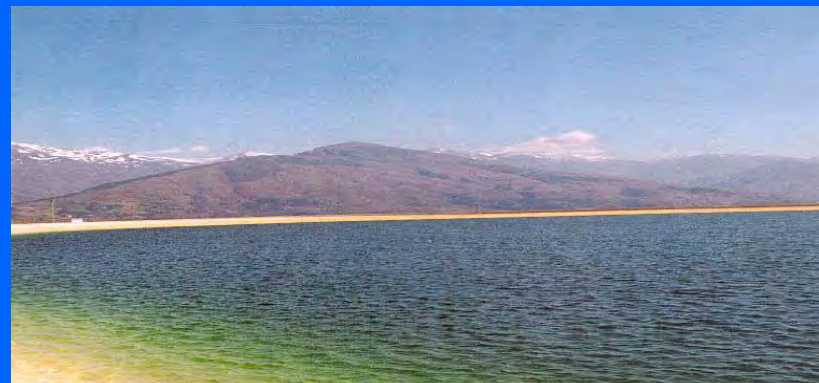
CEDEX
CENTRO DE ESTUDIOS
Y EXPERIMENTACIÓN
DE OBRAS PÚBLICAS

Balsas

AGUA POTABLE



PVC-P Campotéjar



PP La Contraviesa



CSM Aguadulce



EPDM Torrealta

Balsas

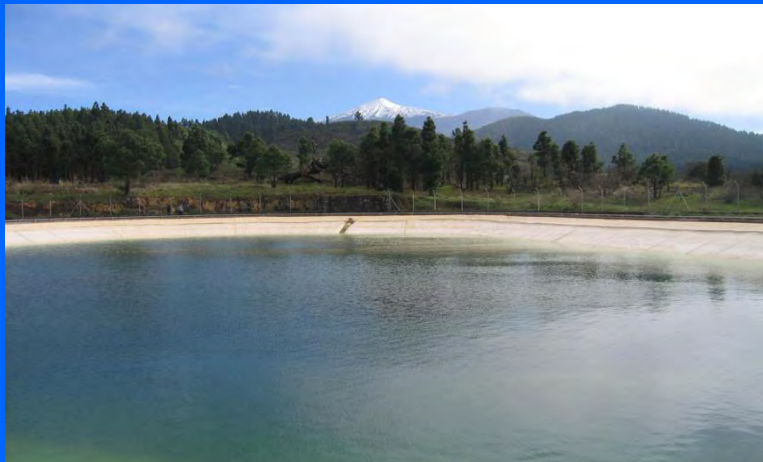
AGUA PARA RIEGO



PVC-P El Hondón de las Nieves



PEAD Inca



TPO Los Partidos



EPDM Arroyo Calamonte

Balsas AGUAS DEPURADAS



PVC-P
El Saltadero



PEAD
Plá de Sant Jordi

Balsas POSICIÓN DE LA GEOMEMBRANA



Vista
PEAD
Hoyos del Espino



Enterrada
PEBD
Plá Mateos

Balsas

TIPOS



PEAD
La Nava de Arévalo



PP
Los Cardones



EPDM
Ravelo

Materialles

- Poli(cloruro de vinilo) plastificado homogéneo (PVC-P/h)
- Poli(cloruro de vinilo) plastificado con inserción de fibra de vidrio (PVC-P/fv)
- Poli(cloruro de vinilo) plastificado reforzado con tejido de hilos sintéticos (PVC-P/hs)
- Polietileno de alta densidad (PEAD)
- Polietileno de media densidad (PEMD)
- Polietileno de baja densidad (PEBD)
- Polietileno de muy baja densidad (PEMBD)
- Copolímero de etileno/acetato de vinilo (EVA/C)
- Polietileno clorosulfonado (CSM)
- Polipropileno (PP)
- Caucho de etileno-propileno-monómero diénico (EPDM)
- Caucho butilo (IIR)
- Poliolefinas termoplásticas (TPO)
- Poliolefinas elastoméricas (POE)



Balsas

CAMPO EXPERIMENTAL

PVC-P

PEAD

PEMD

CSM

PP

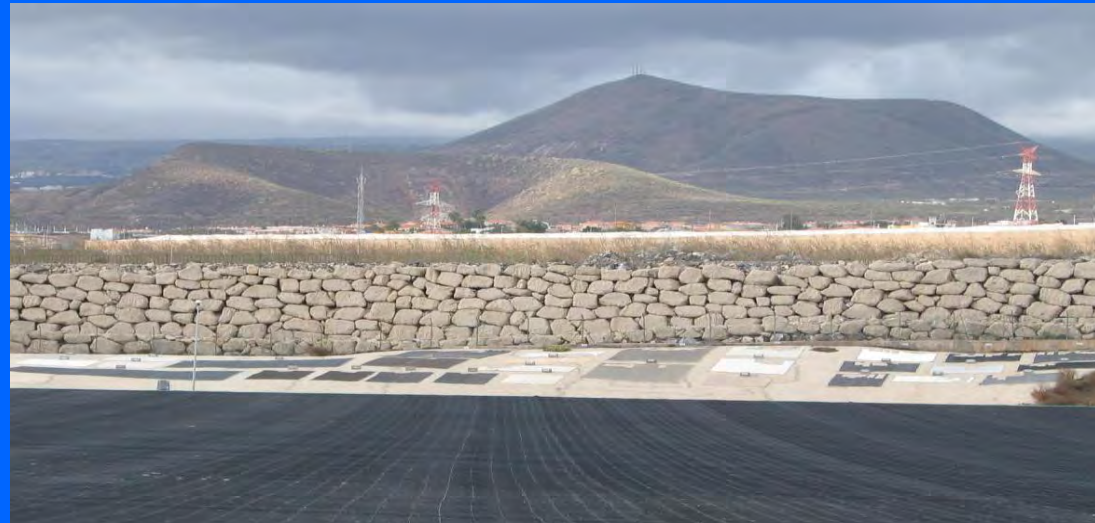
EVA/C

IIR

EPDM

POE

TPO



Seguimiento

¿DÓNDE?



Ubicación:

Fondo

Talud

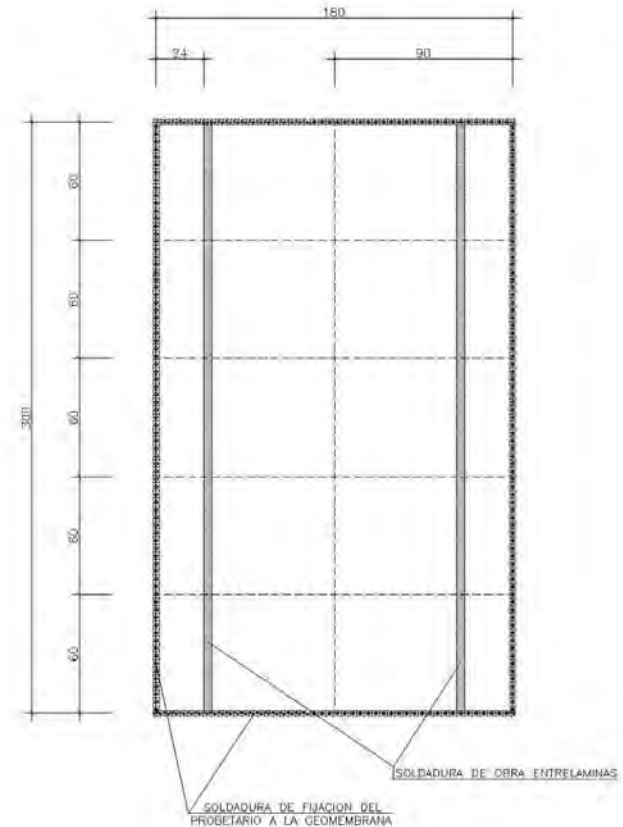
Coronación

Intermedia

Próxima al fondo

Orientación

Probetarios



DIMENSIONES MINIMAS DEL PROBETARIO

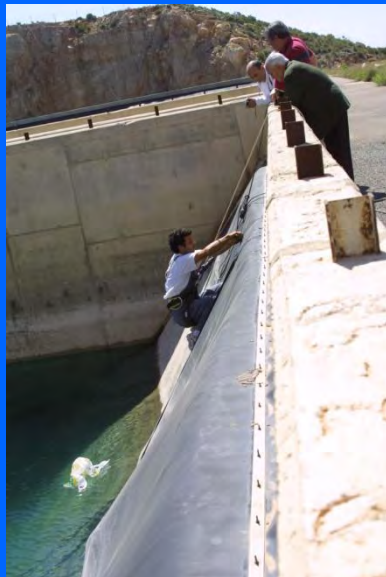
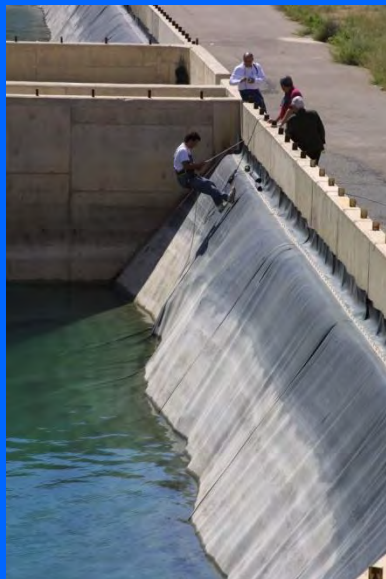
(EL ANCHO PUEDE SER DE HASTA EL DE UN PAÑO)

Cotas en cm.

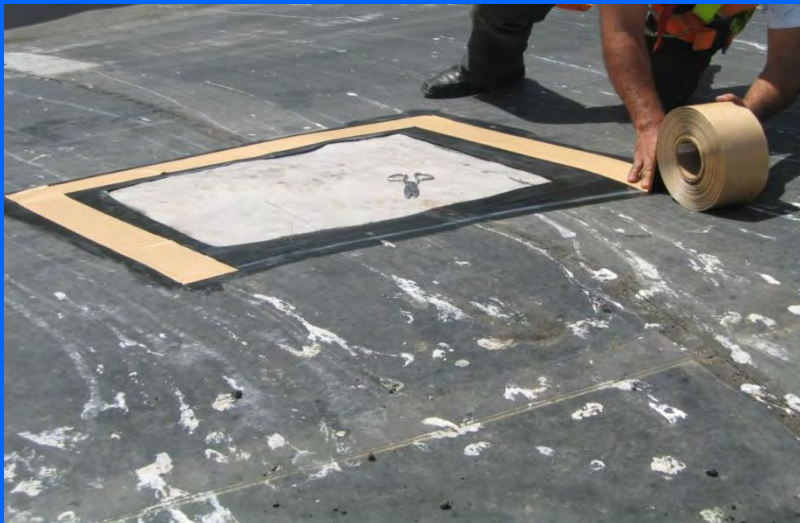
EXPERIMENTAL.- Toma de muestras



EXPERIMENTAL.- Toma de muestras



EXPERIMENTAL.- Toma de muestras



Normativa

UNE EN 13 361

UNE 104 317



Metodología experimental

Espesores

Probetas	100x100mm
Lugar	> 5 mm de los bordes
Nº de medidas	10
Valor:	Media de las 10 determinaciones

Espesor nominal

Aparato: Micrómetro óptico

Espesor en el punto de cruce de los hilos del tejido

Aparato: Microscopio óptico

Metodología experimental

Doblado a bajas temperaturas

- Probetas, mm
- Aparato
- Tiempo de ensayo, h
- Temperatura según material, ° C
- Ángulo de doblado, °

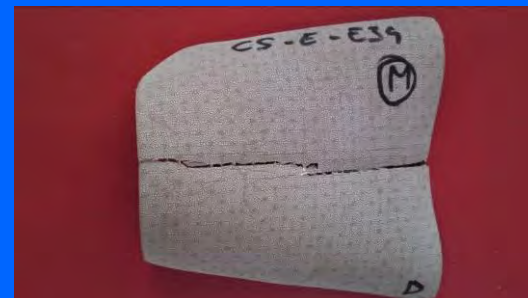
200x200

Cámara frigorífica

5

Según material

180



Doblado a bajas temperaturas



Material	Temperatura de ensayo °C
CSM	-40
EPDM	-55
EVA/C	-20
IIR	-40
PEAD	-75
PEBD	-75
PEMBD	-75
PEMD	-75
PP	-75
POE y TPO	-75
PVC-P (fv)	-20
PVC-P (h)	-20
PVC-P (hs)	-20

Metodología experimental

Dureza Shore

A.- Elastómeros

D.- Termoplásticos

-Pie de apoyo con un orificio

Diámetro del orificio, mm

2,5

-Penetrador

Diámetro, mm

1,10-1,40

- Dispositivo indicador graduado

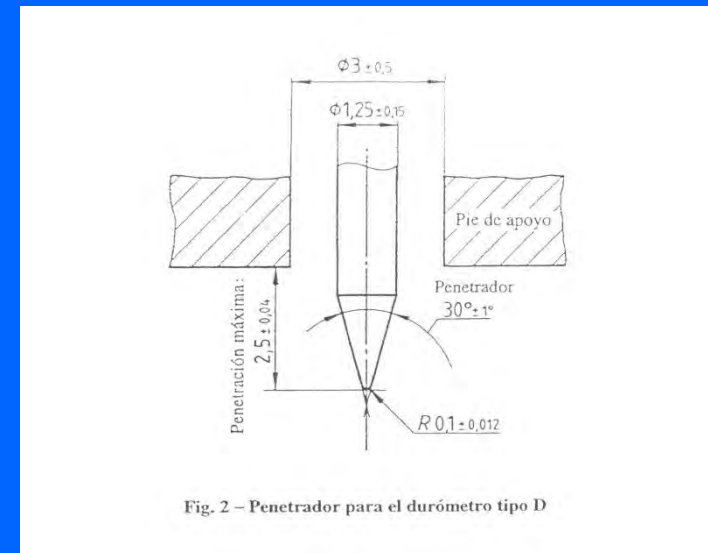
0-100

- Espesor de probetas, mín., mm

6

- Número de medidas

5



Resultados Dureza Shore

Termoplásticos
Termoestables

D
A

Años	PEAD	PEMD	PEBD	PEMBD	EVA/C	TPO	EPDM	IIR
0	58	47	44	46	32	31	58	58
5	61	47	43	44	37	35	67	68
10	58	48	42	41	35	-	75	69
15	58	47	42	-	36	-	79	71

Resultados Dureza Shore

Años Dureza Shore

	A (EPDM)	D (PEAD)
--	----------	----------

0	64	59
5	72	61
6	71	60
7	70	58
8	70	56
9	74	61
10	71	57
11	72	58
12	76	59



Metodología experimental

Resistencia al desgarro

A.- Láminas homogéneas

- Probetas
- Aparato de ensayo
- Velocidad del carro, mm/min
- Temperatura de ensayo, ° C
- Número de probetas

Longitudinal
Transversal

Angulares Dinamómetro

50

23

5

5

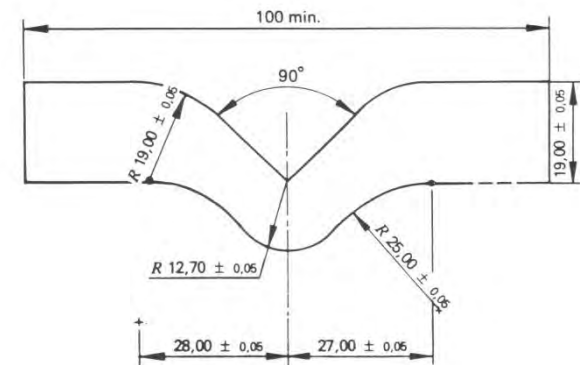


Fig. 2 — Probeta angular

Metodología experimental

Resistencia al desgarro

B.- Láminas reforzadas

- Probetas
- Aparato de ensayo
- Velocidad del carro, mm/min
- Temperatura de ensayo, ° C
- Número de probetas

Longitudinal

Transversal

Pantalón

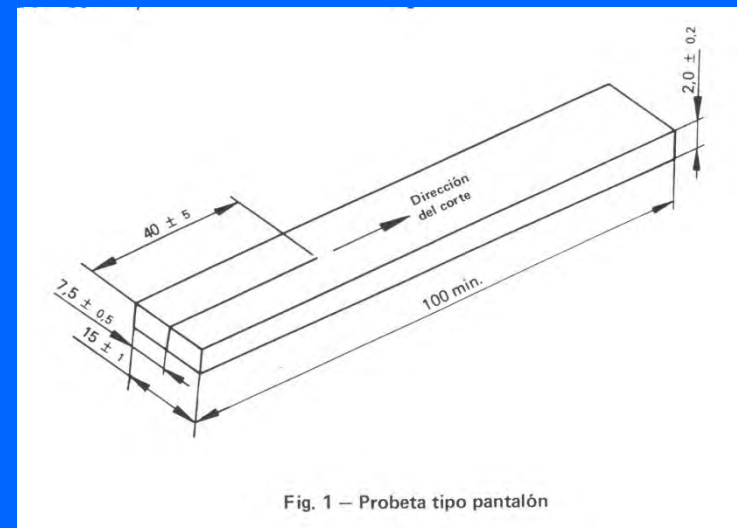
Dinamómetro

100

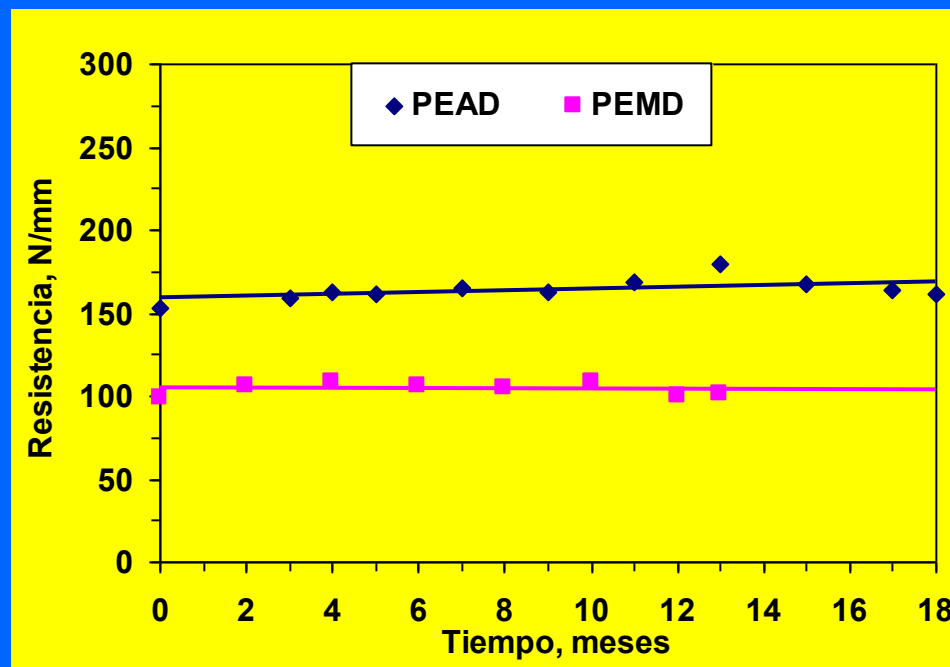
23

5

5

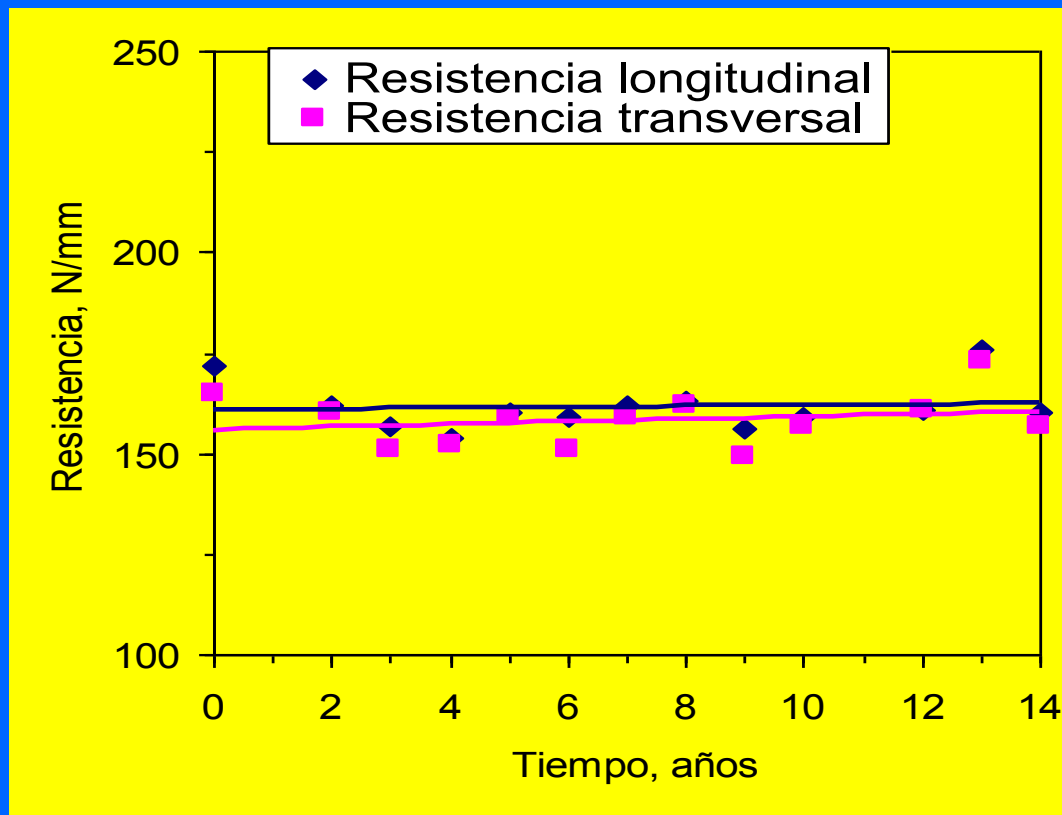


Resultados Resistencia al desgarro



Evolución de la resistencia al desgarro en polietilenos de alta y media densidad procedentes del campo experimental de El Saltadero

Resultados Resistencia al desgarr



Evolución de la resistencia al desgarr en un polietileno de alta densidad procedente de la balsa de San Isidro

Metodología experimental

Resistencia mecánica a la percusión (Impacto dinámico)

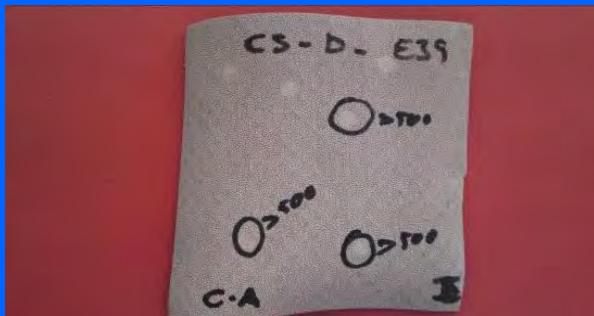
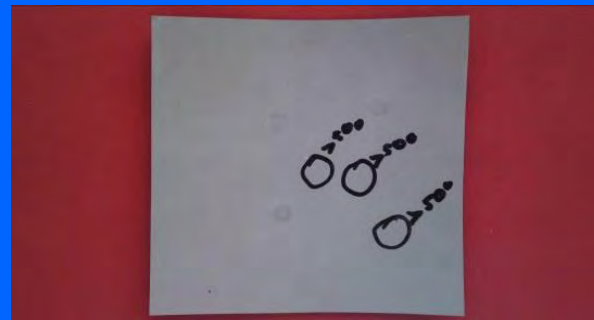
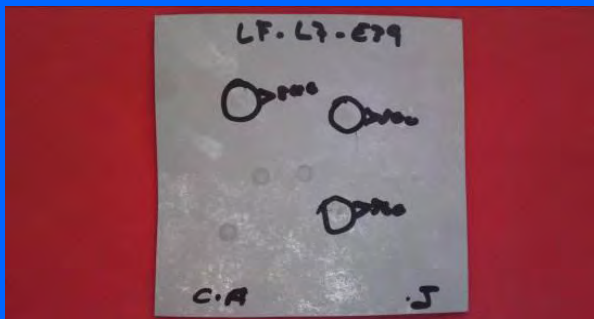
-Aparato

- Tubo guía graduado en	cm
- Percutor	Acero
- Forma del percutor	Semiesfera
- Plancha base	Aluminio
- Espesor de la plancha, mm	3
Probetas, mm	100x100



Metodología experimental

Resistencia mecánica a la percusión (Impacto dinámico)



Metodología experimental

Resistencia mecánica a la percusión (Impacto dinámico)

-Prueba de estanquidad

- Columna de vidrio, altura mm	1000
- Tiempo de contacto, h	24
- Temperatura de ensayo, ° C	23
- Coloración del agua	Violeta cristal
- Color del papel de filtro base	Blanco

Resultados **Impacto dinámico**

Termoplásticos > 500 mm

Termoestables > 300 mm



Metodología experimental

Resistencia al punzonamiento (Impacto estático)

-Vástago	Cilíndrico
-Cabeza perforante	Piramidal
-Probetas	Circulares
-Diámetro, mm	50
-Aparato de ensayo	Dinamómetro
-Velocidad del carro, mm/min	5
-Temperatura de ensayo, ° C	23
- Número de probetas	
Cara externa	5
Cara interna	5

Expresión de resultados:

- Resistencia a la perforación	N/mm
- Recorrido del punzón antes de perforar	mm



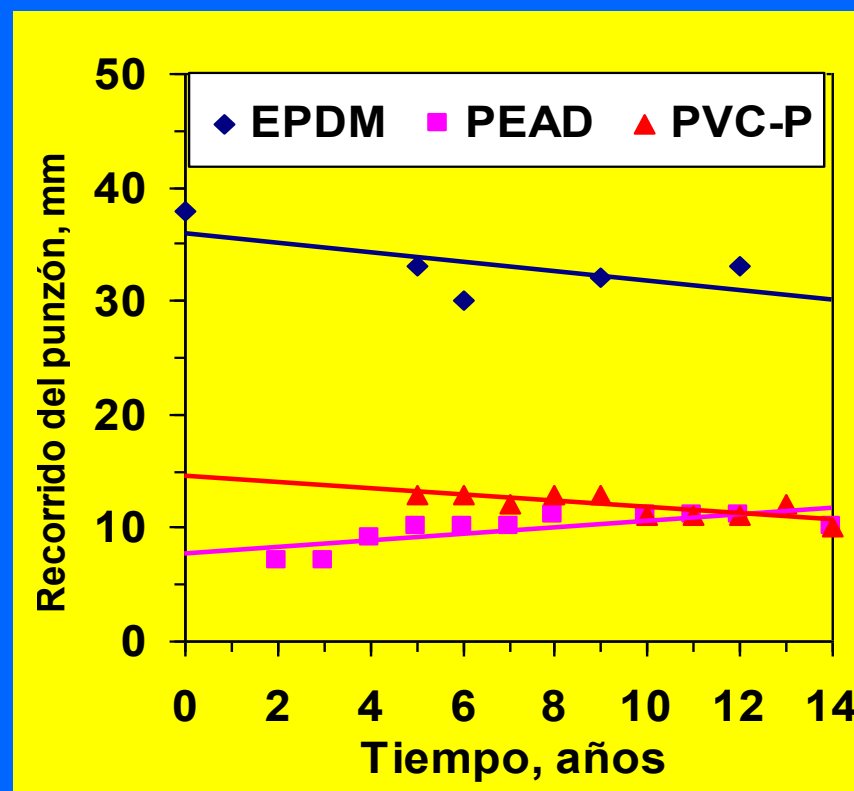
Resultados Resistencia al punzonamiento

Material	Años de instalación	Resistencia al punzonamiento, N/mm		Recorrido, mm	
		Cara externa	Cara interna	Cara externa	Cara interna
CSM	16	512	398	12	10
EPDM	18	354	351	25	27
EVA/C	18	366	335	40	48
IIR	33	304	297	27	27
PEAD	19	695	540	11	11
PEBD	9	703	660	21	20
PEMBD	8	579	513	52	48
PEMD	14	574	535	20	20
POE	13	310	282	42	37
PP	16	269	241	40	41
PVC-P (fv)	17	710	696	20	21
PVC-P (h)	21	844	810	30	27
PVC-P (hs)	22	493	434	11	10
TPO	6	208	192	33	29

Resultados Resistencia al punzonamiento

Geomembranas procedentes de las balsas de:

EPDM	El Golfo
PEAD	San Isidro
PVC-P	Los Llanos de Mesa



Metodología experimental

Características de tracción

A.- Láminas homogéneas

Probetas

- Aparato de ensayo
- Velocidad del carro, mm/min

Termoplásticos

Termoestables

- Temperatura de ensayo, ° C

- Número de probetas

Longitudinal

Transversal

Halterio

Dinamómetro

100

500

23

5

5

Expresión de resultados:

Resistencia a la tracción

Alargamiento en rotura

MPa

%



Metodología experimental

Características de tracción

A.- Láminas homogéneas



Metodología experimental

Características de tracción

B.- Láminas reforzadas

-Probetas	Rectangulares
-Dimensiones, mm	100x50
-Aparato de ensayo	Dinamómetro
-Velocidad del carro, mm/min	100
-Temperatura de ensayo, ° C	23
- Número de probetas	
Longitudinal	5
Transversal	5

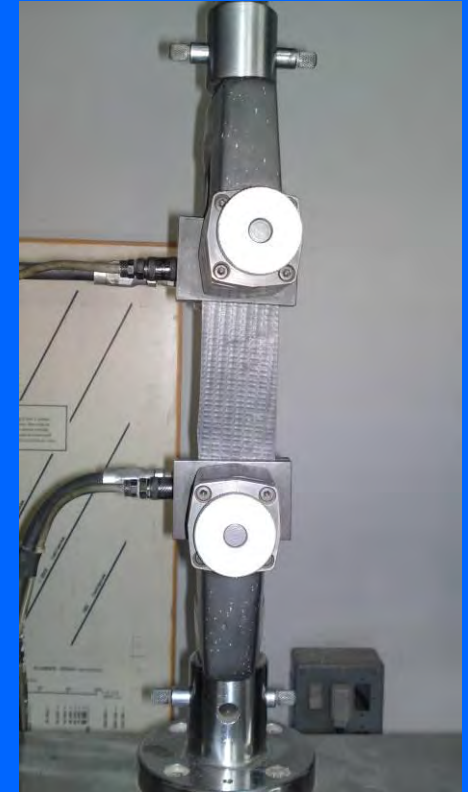
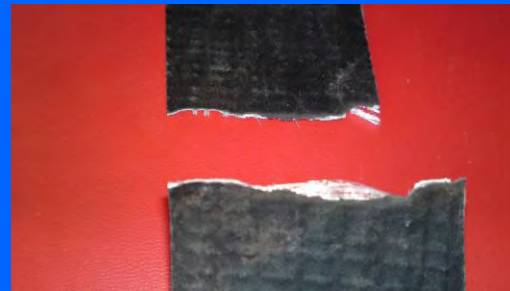
Expresión de resultados:

Resistencia a la tracción	N/50 mm
Alargamiento en el punto de carga máxima	%

Metodología experimental

Características de tracción

B.- Láminas reforzadas



RESISTENCIA A LA TRACCIÓN, MPa

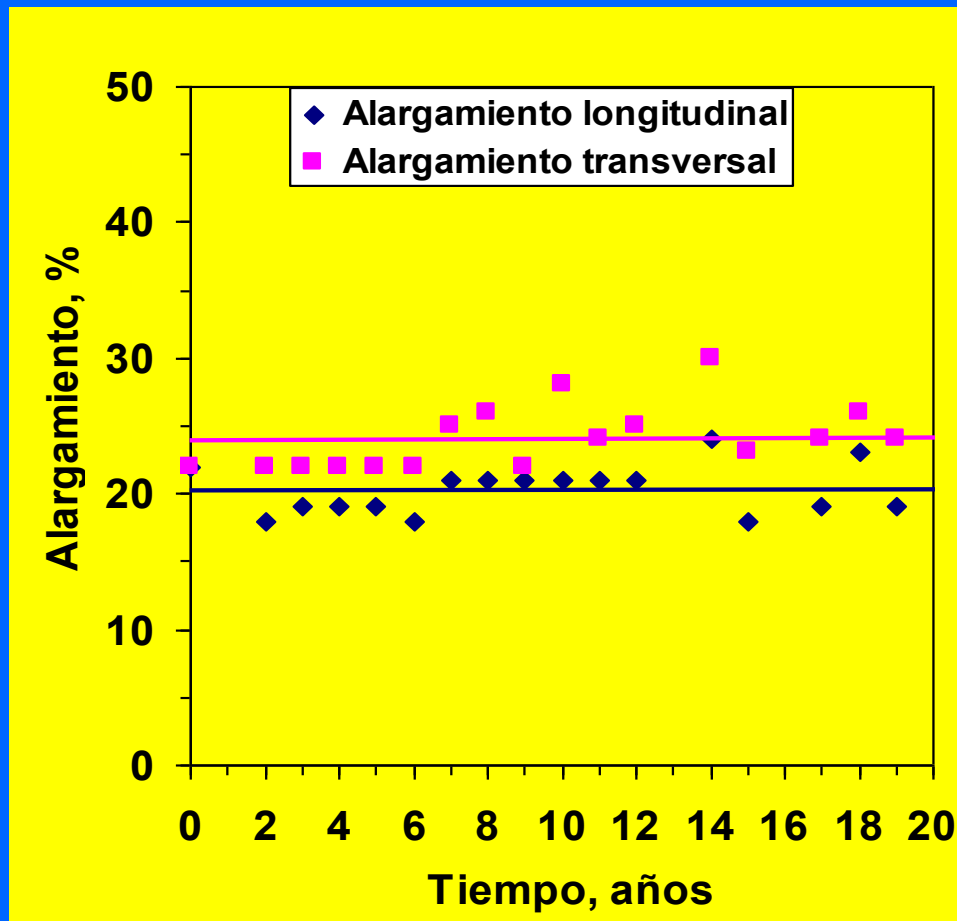
Material	Tiempo de instalación, años									
	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18
PVC h	21,6	21,9	22,9	22,1	21,7	21,9	20,6	24,5	22,3	21,0
PVC fv	14,1	14,4	15,7	15,0	17,1	15,4	16,6	16,2	18,5	16,8
PEAD	27,0	29,0	27,9	27,1	25,9	28,9	25,1	22,9	26,8	24,4
PEMD	24,6	22,8	23,1	20,7	21,9	21,0	21,0	21,2	20,1	-
PEBD	25,5	21,9	15,5	16,4	15,7	-	16,9	--	-	-
PEMBD	37,2	43,3	34,6	-	32,8	-	-	-	-	-
EVA/C	22,5	22,0	19,4	19,2	19,7	18,4	19,9	18,8	18,2	19,3
EPDM	12,6	12,5	12,8	13,3	12,5	13,1	13,4	13,1	12,2	12,5
POE	19,5	17,6	18,5	16,5	18,8	18,1	19,2	21,0	19,2	20,6
TPO	9,4	9,1	9,0	9,1	-	-	-	-	-	-

ALARGAMIENTO EN ROTURA, %

Material	Tiempo de instalación, años									
	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18
PVC h	347	324	311	269	274	256	242	244	248	236
PVC fv	248	227	209	207	183	172	172	173	158	188
PEAD	898	808	793	773	765	781	753	664	774	797
PEMD	747	688	738	708	718	667	625	692	666	-
PEBD	481	466	531	537	404	-	312	-	-	-
PEMBD	756	744	738	-	756	-	-	-	-	-
EVA/C	888	771	733	737	785	745	746	760	683	762
EPDM	527	436	396	350	336	314	326	266	225	193
POE	814	716	788	764	762	717	713	759	710	746
TPO	517	448	480	462	-	-	-	-	-	-

CARACTERÍSTICAS DE TRACCIÓN EN GEOMEMBRANAS REFORZADAS

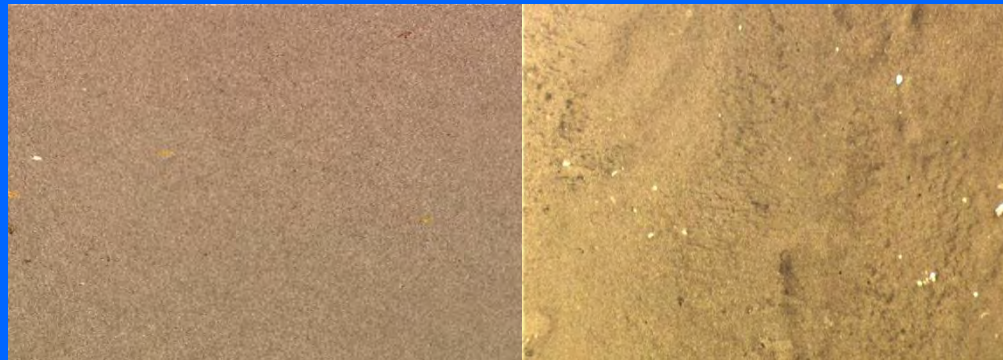
Material	Característica	Años desde su instalación			
		0	5	10	15
CSM	Resistencia a la tracción, N/50 mm	1500	1495	1510	1483
	Alargamiento en el punto de carga máxima, %	29	34	30	28
PP	Resistencia a la tracción, N/50 mm	1810	1570	1420	1430
	Alargamiento en el punto de carga máxima, %	28	29	31	25
PVC-P	Resistencia a la tracción, N/50 mm	1325	1422	1488	1467
	Alargamiento en el punto de carga máxima, %	22	23	24	22



Variación del alargamiento en el punto de carga máxima en la geomembrana de PVC-P procedente del embalse de Barranco de Benijos

Resultados Negro de humo

Contenido 2-3%



PEAD

PEMD



PEBD

PEMBD

Metodología experimental

Resistencia de la soldadura

A.- Por tracción

B.- A pelado

-Probetas	Rectangulares
-Dimensiones, mm	
Por tracción	200x50
A pelado	300x50
-Aparato de ensayo	Dinamómetro
-Velocidad del carro, mm/min	100
-Temperatura de ensayo, ° C	23
- Número de probetas	10

Expresión de resultados:

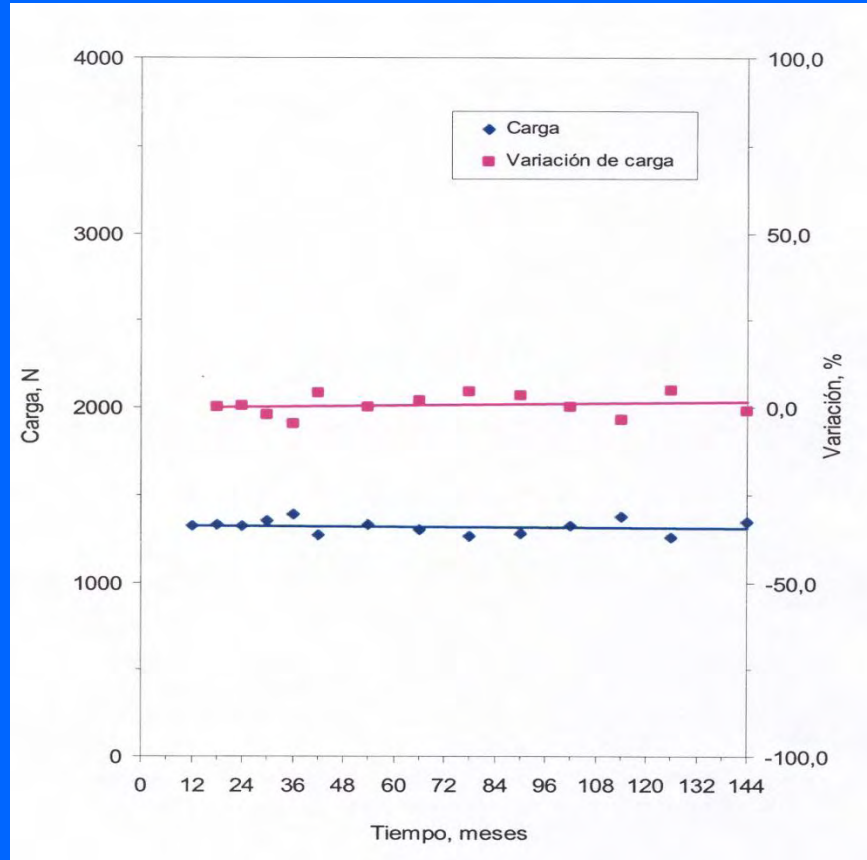
Resistencia de la soldadura	N/50 mm
-----------------------------	---------

Resultados Resistencia de la soldadura

Material	Años de instalación	Resistencia de la soldadura, N/50 mm	
		Por tracción	A pelado
CSM	16	1310	247
EPDM	11	381	68
EVA/C	18	347	385
IIR	33	220	-
PEAD	19	1565	1290
PEMBD	8	807	710
PEMD	14	823	-
POE	13	493	307
PP	11	542	244
PVC-P (fv)	17	930	551
PVC-P (h)	21	760	142
PVC-P (hs)	22	1387	353
TPO	6	325	520

Resultados Resistencia de la soldadura

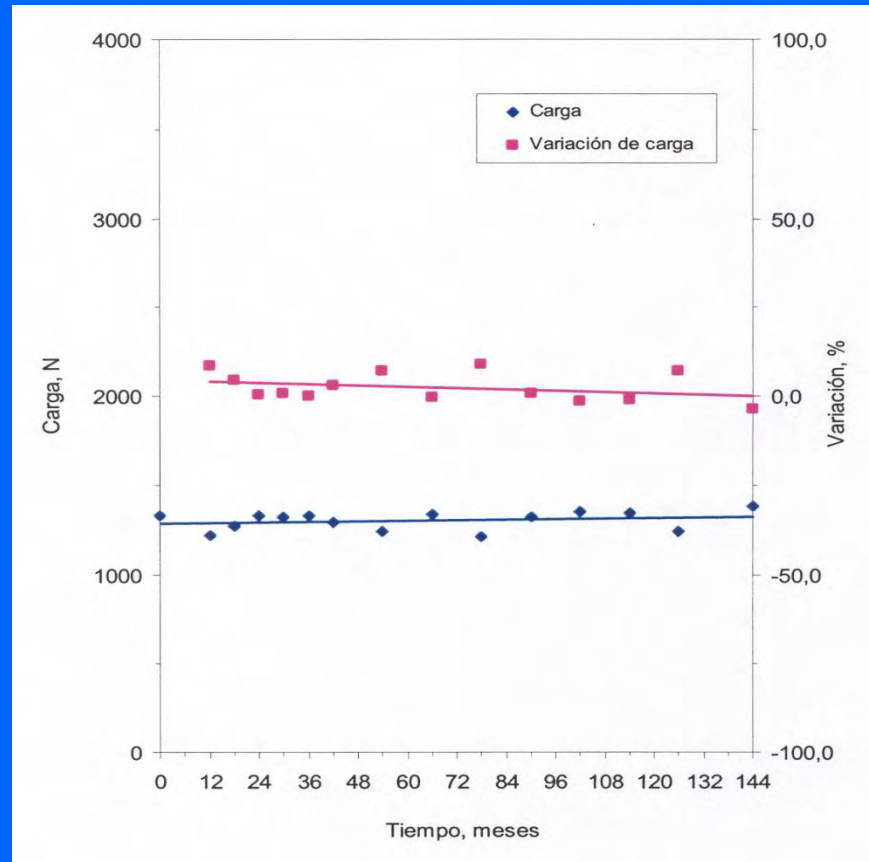
Resistencia de la soldadura por tracción



Evolución de la resistencia de la soldadura por tracción en una muestra cuya unión se efectuó en obra en la balsa de La Laguna de Barlovento

Resultados Resistencia de la soldadura

Resistencia de la soldadura por tracción



Evolución de la resistencia de la soldadura por tracción en una muestra cuya unión se efectuó en fábrica en la balsa de La Laguna de Barlovento.

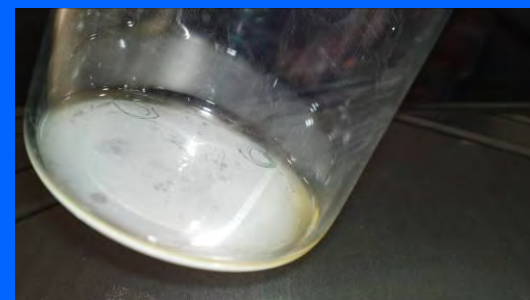
Metodología experimental

Contenido en plastificantes

- Masa de PVC-P, g	1
- Aparato de extracción	Soxhlet
- Disolvente	Éter etílico
- Volumen de éter, ml	70
- Tiempo de extracción, h	2
- Tiempo en desecador, h	24



Extractor automático Soxhlet Soxtec Avanti 2050



PVC-P

PLASTIFICANTES

Plastificación

- Interna
- Externa (Ésteres de elevado peso molecular)

Durabilidad.....Migración:

- Aire
- Líquido
- Sólido de contacto



PVC-P

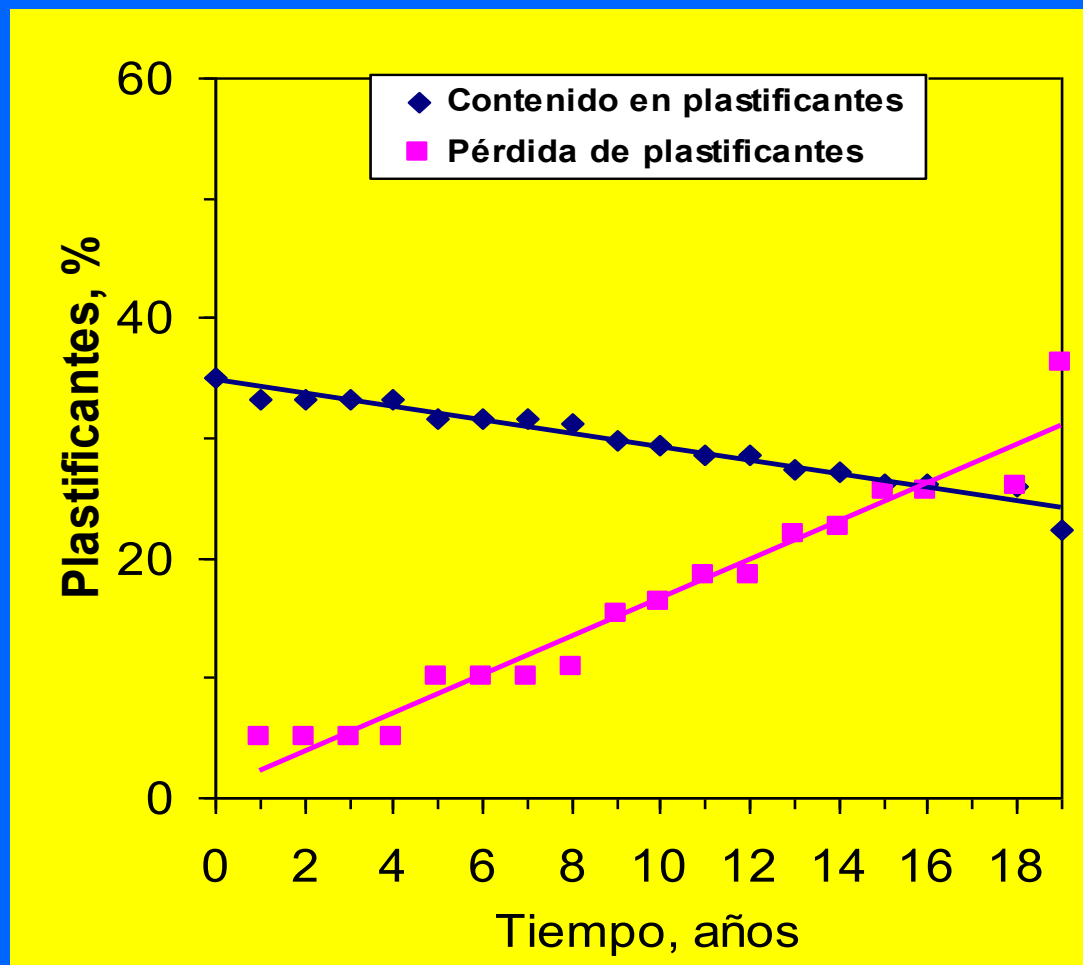
PLASTIFICANTES

Pérdida:

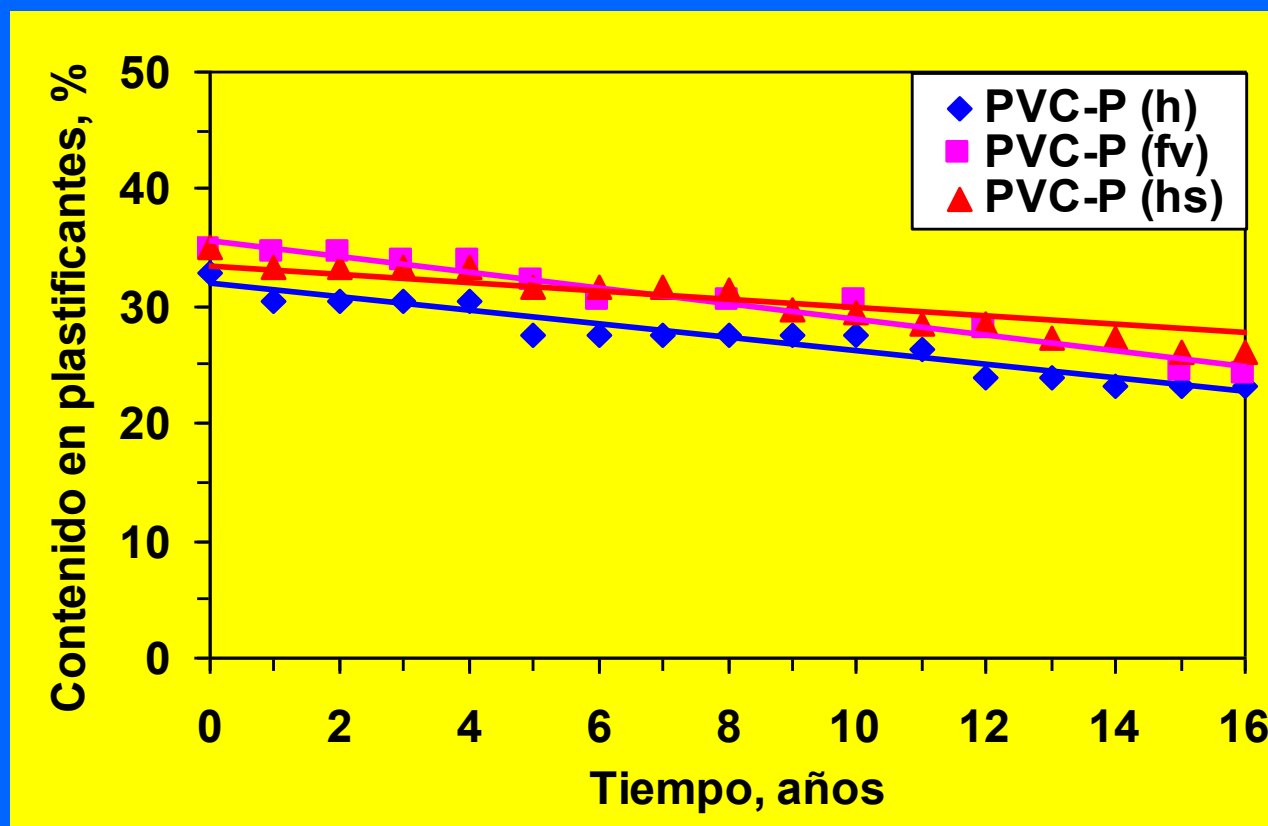
Función del tipo de aditivo utilizado:

- Peso molecular
- Linealidad
- Polaridad





Evolución de la pérdida de plastificantes en La Laguna de Barlovento



Pérdida de plastificantes en tres geomembranas del campo experimental de El Saltadero

$$y=ax + b$$

a Pendiente

b Ordenada en el origen



Contenido en plastificantes en el embalse de La Laguna de Barlovento

TALUD	ZONA		
	Coronación	Intermedia	Sumergida
Norte	26,1	27,2	28,1
Sur	27,4	27,6	28,9
Este	26,2	27,5	28,7
Oeste	26,3	27,4	28,5

Contenido y pérdida de plastificantes en el embalse de La Florida

PLASTIFICANTE, %	POSICIÓN			
	NORTE		SUR	
	Coronación	Próxima al agua	Coronación	Próxima al agua
Contenido	23,9	18,9	27,4	19,5
Pérdida	27,4	42,8	16,7	40,7

PLASTIFICANTES

IDENTIFICACIÓN

FTIR-CG-MS

Norma UNE 104 306

FT-IR Nicolet 310

Ftalatos de alquilo



PLASTIFICANTES

IDENTIFICACIÓN

FTIR

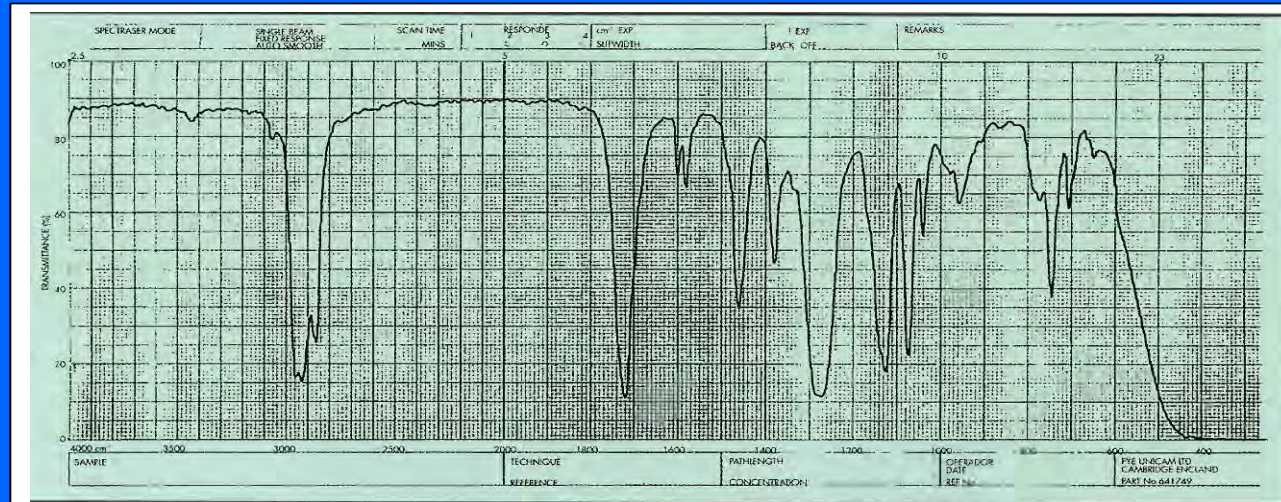


Fig. 58.- Espectro de infrarrojo de los plastificantes de la geomembrana de la balsa de La Florida.

PLASTIFICANTES

IDENTIFICACIÓN

Frecuencia, cm^{-1}	Grupos	Asignación de bandas
3080	H-C=	Vibración tensión C-H aromático
2965-2875	H-C-	Vibración tensión metilo y alquilo
1770	C=O	Tensión grupo carbonilo
1585-1600	C=C	Vibraciones de esqueleto
1460	C=C	Vibraciones de esqueleto
1130 y 1075	C-O-C	Tensiones simétrica y asimétrica
740	C-H	Vibración flexión fuera del plano (o-disustitución)

PLASTIFICANTES

IDENTIFICACIÓN

CG-MS

Cromatógrafo GC Agilent 6890
Columna de Fenilmetilpolisiloxano

Detector de masas Agilent 5793 MSD

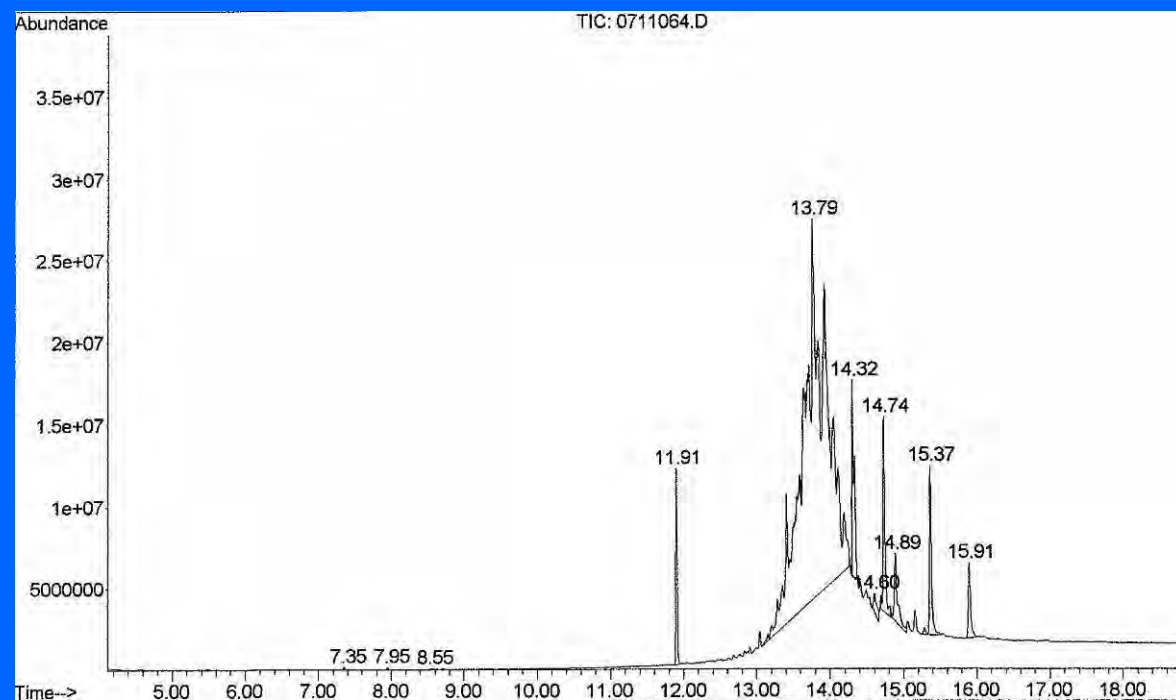
La Laguna de Barlovento (1 pico)

La Florida (3 picos)

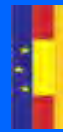


PLASTIFICANTES

IDENTIFICACIÓN



Cromatograma del plastificante de la geomembrana de la balsa de La Laguna de Barlovento



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE FOMENTO

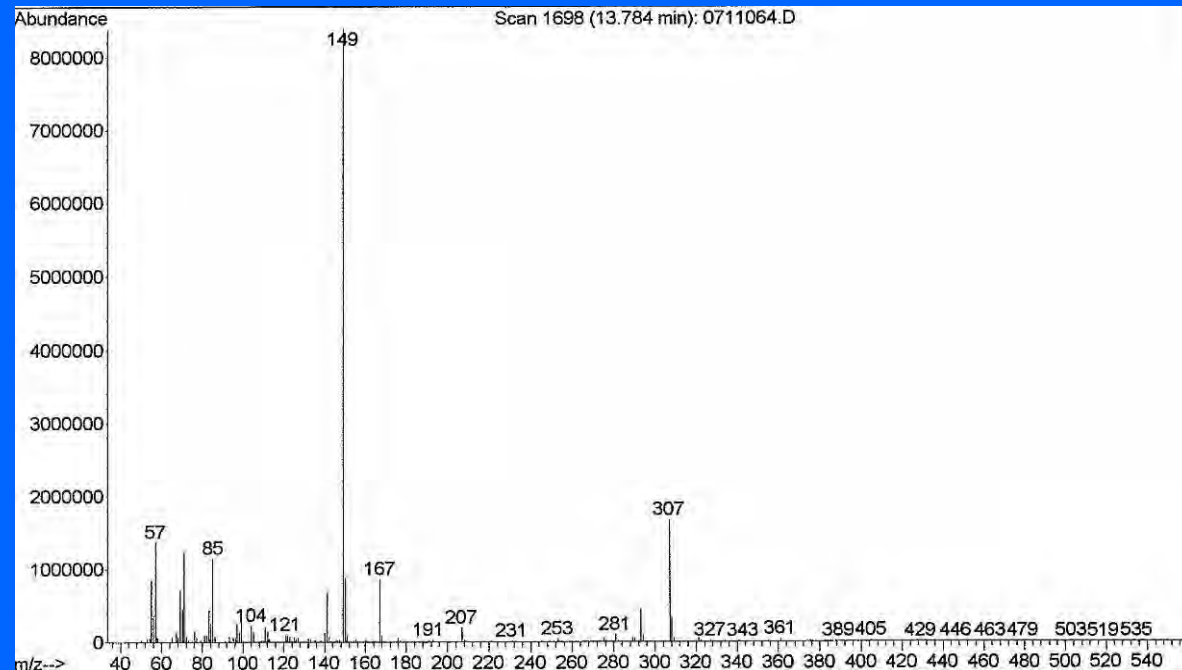
MINISTERIO
DE AGRICULTURA,
ALIMENTACIÓN
Y MEDIO AMBIENTE

CEDEX
CENTRO DE ESTUDIOS
Y EXPERIMENTACIÓN
DE OBRAS PÚBLICAS

PLASTIFICANTES

IDENTIFICACIÓN

EM



Espectro de masas del plastificante de la geomembrana de la balsa de La Laguna de Barlovento

PLASTIFICANTES

IDENTIFICACIÓN

EM

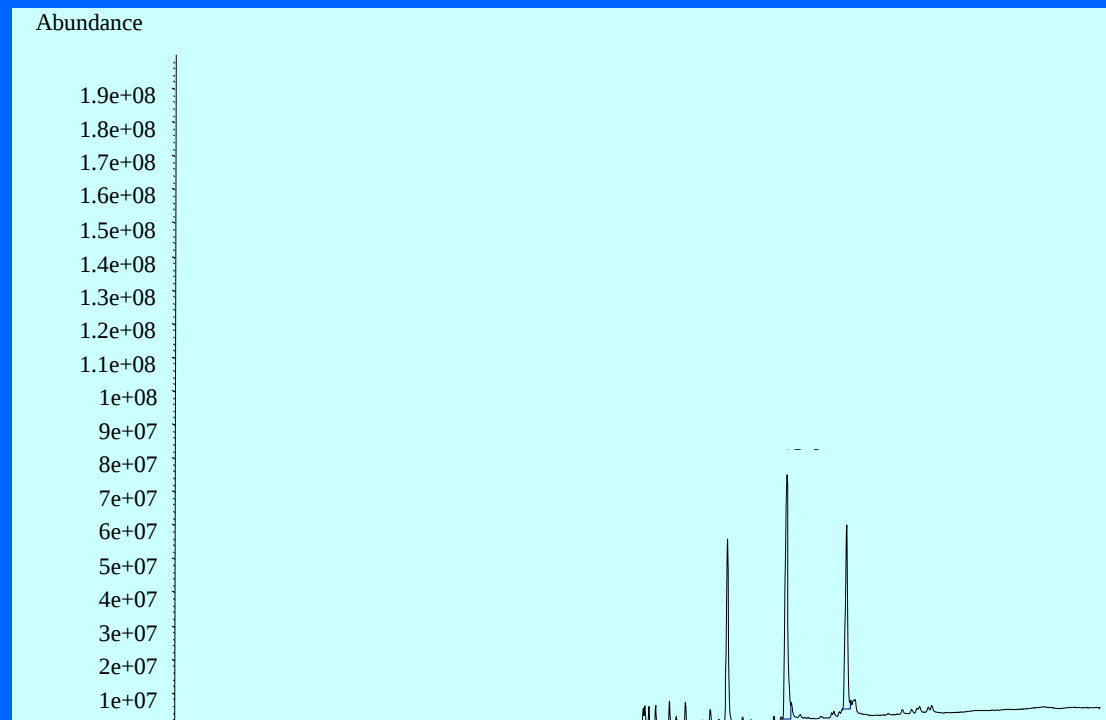
Fragmentaciones del pico a 13,79min		
MS	m/z	(intensidad relativa)
307	$C_{18}O_4H_{27}^+$	22
167	$C_8H_7O_4^+$	11
149	$C_8H_5O_3^+$	100
85	$C_6H_{13}^+$	14
57	$C_4H_9^+$	17

Ftalato de diisodecilo (PM=446)

PLASTIFICANTES

IDENTIFICACIÓN

CG



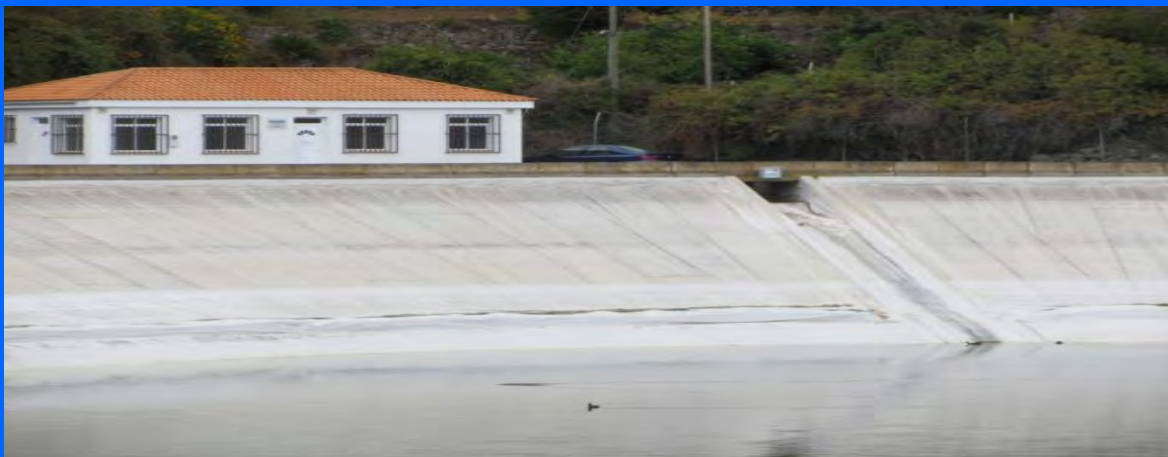
Cromatograma de los plastificantes extraídos de la geomembrana del embalse de La Florida

PLASTIFICANTES

IDENTIFICACIÓN

EM

Ftalato de di-n-octilo	PM=390.- Proporción: 29%
Ftalato de n-decil-n-octilo	PM=418.- Proporción: 39%
Ftalato de di-n-decilo	PM=446.- Proporción: 32%



PLASTIFICANTES

IDENTIFICACIÓN

Ecuación de Wilson

$$(M1.C1) + (M2.C2) + (M3.C3) + \dots / CT$$

Donde

M1, M2, M3,... son los pesos moleculares de los plastificantes

C1, C2, C3,... los contenidos de dichos aditivos

CT el contenido total de plastificantes.

PLASTIFICANTES

IDENTIFICACIÓN

Geomembrana de La Laguna de Barlovento: PM=446

Radical alquílico: Ramificado

Geomembrana de La Florida: PM=418,84

Radicales alquilo: Lineales

PM>400

Radicales lineales.....Agua

Radicales ramificados....Aire



Metodología experimental

Microscopia óptica

A.- Determinación de espesores en láminas con refuerzo de tejido de hilos sintéticos

B.- Dispersión de negro de humo

C.- Microscopia óptica de reflexión

Microscopio óptico con equipo fotográfico automático incorporado

Metodología experimental

Microscopia electrónica de barrido (MEB)

Microscopio electrónico con espectrómetro de dispersión de energía de rayos X

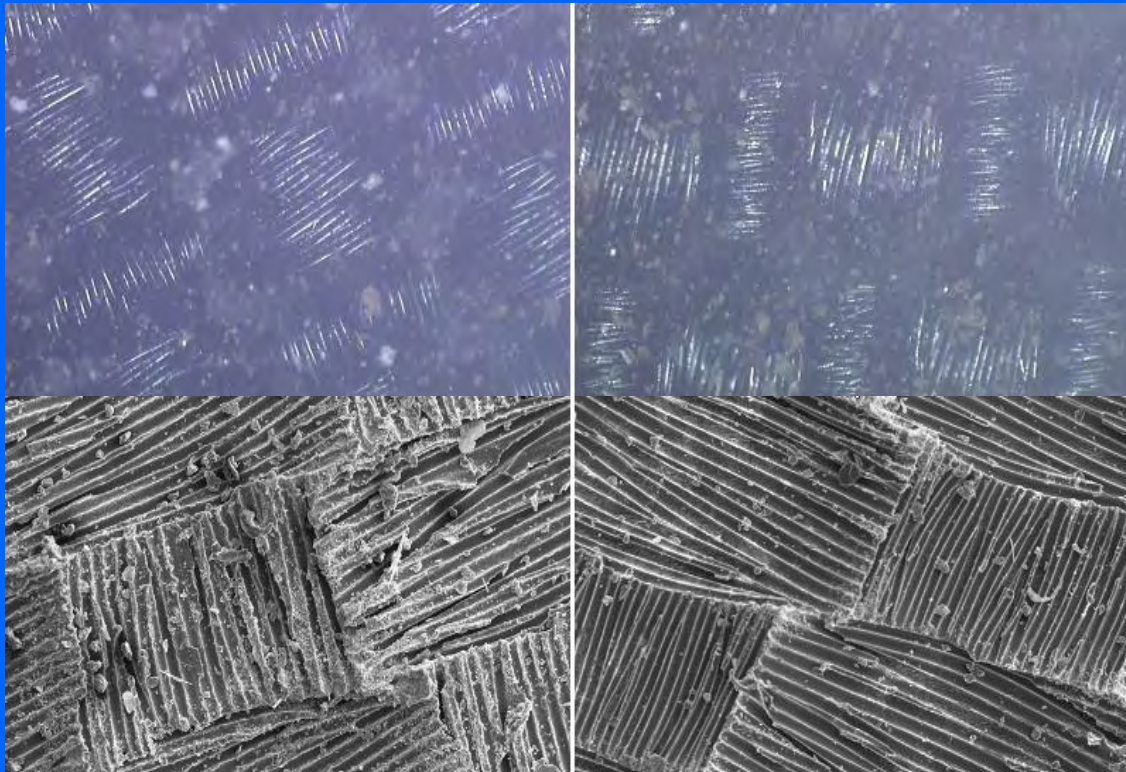
Metalización de las muestras de láminas que no son conductoras

Evaporación a vacío de Au-Pd hasta espesor de 100-200 micras
“sputtering”

Microscopia óptica de reflexión (MOR) y electrónica de barrido (MEB)

IIR

EPDM



x 60

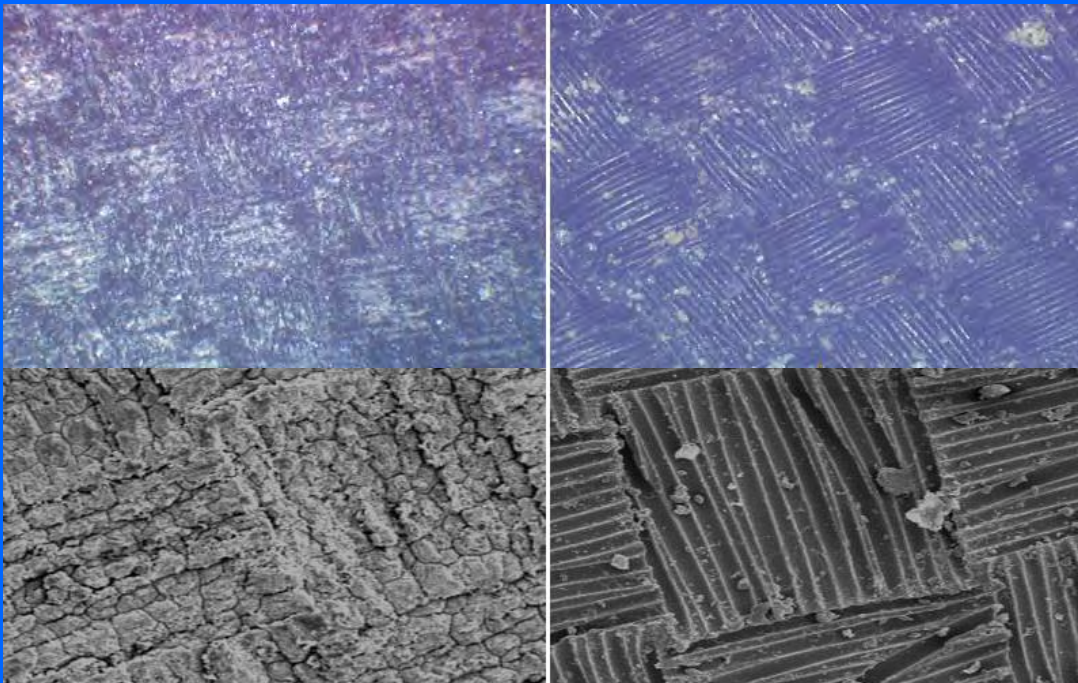
x 90

Originales

Microscopia óptica de reflexión (MOR) y electrónica de barrido (MEB)

Externa

Interna



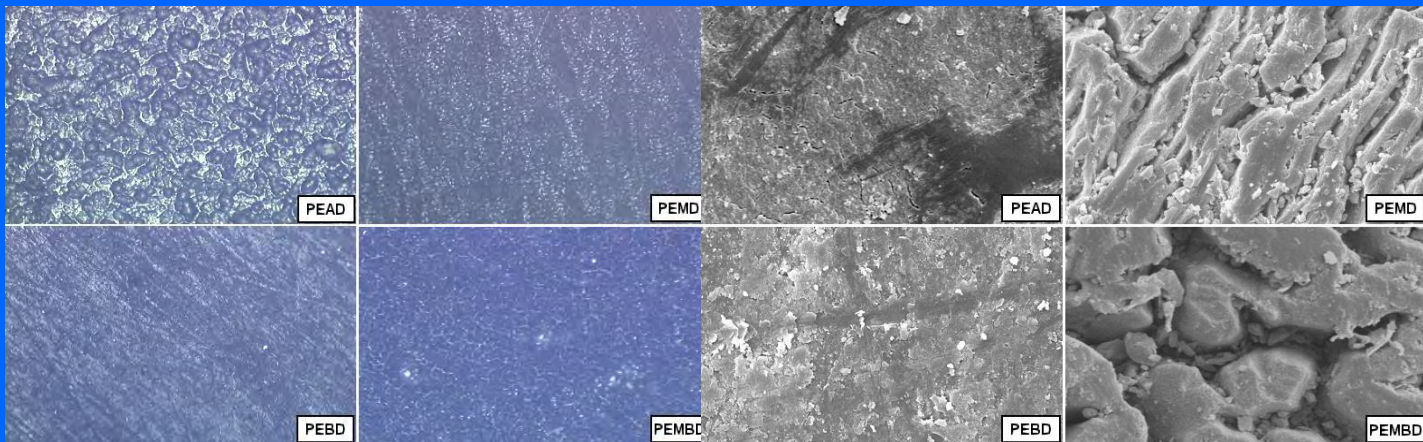
x 60

x 90

EPDM a los 11 años

Microscopia óptica de reflexión (MOR) y electrónica de barrido (MEB)

Externa



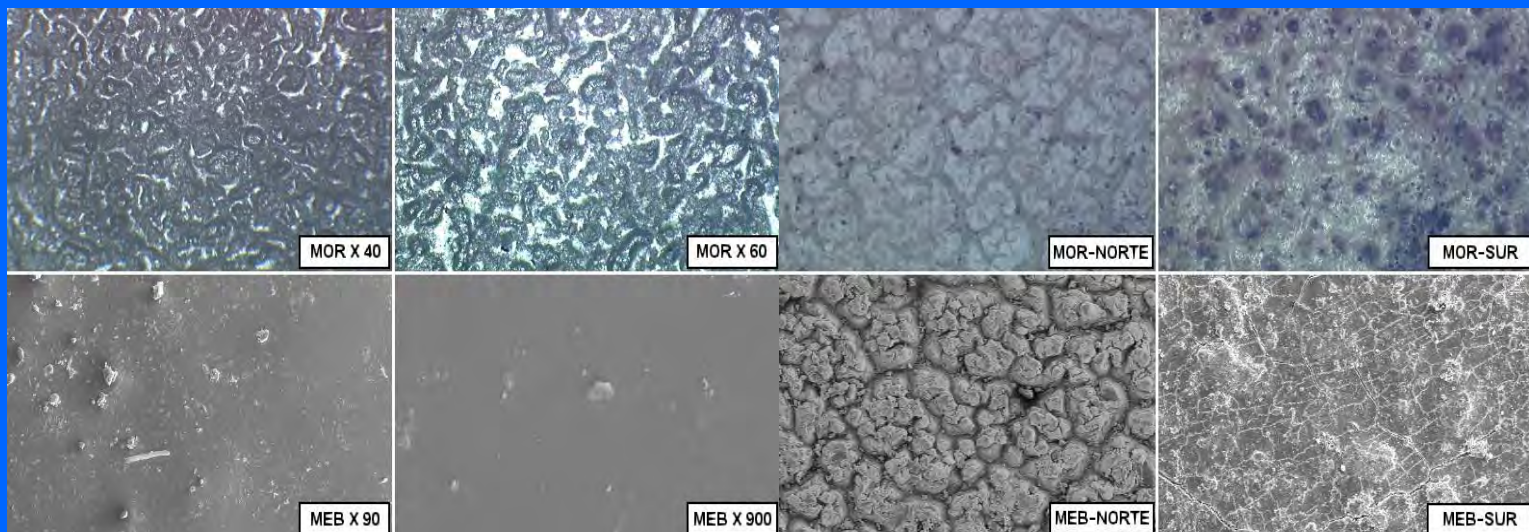
x 60

x 900

PE a los 8 años

Microscopia óptica de reflexión (MOR) y electrónica de barrido (MEB)

Externa



Original

A los 15 años

PVC-P

“Stress cracking”

Resistencia al agrietamiento por esfuerzos medioambientales

UNE EN 14 576

Probetas.....Mancuerna
Incisión20% espesor
Carga30% esfuerzo en fluencia
Agente tensoactivo....10%
Temperatura50°C
Tiempo..... > 336h



“Stress cracking”

Resistencia al agrietamiento por esfuerzos medioambientales

CAUSAS:

Aumento de la cristalinidad

Temperatura

Tensión

Defectos superficiales:
juntas, rayaduras,
Líquidos como detergentes.



“Stress cracking”

Resistencia al agrietamiento por esfuerzos medioambientales



■ Cristalinidad

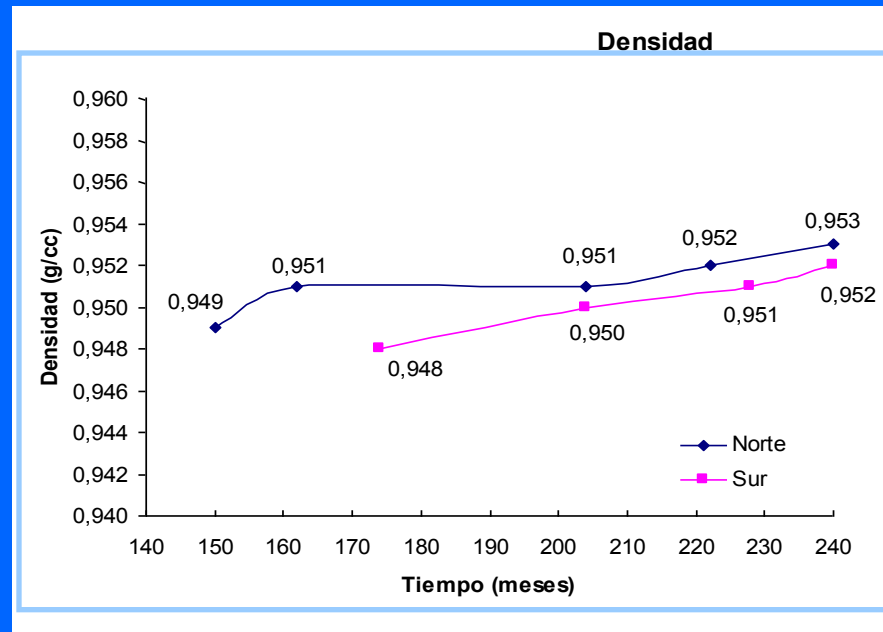
$$\text{Cristalinidad \%} = \frac{\text{calor de fusión de la geomembrana}}{\text{calor de fusión del PE 100\% cristalino (290 J/g)}}$$

+ Cristalinidad → + Oxidación

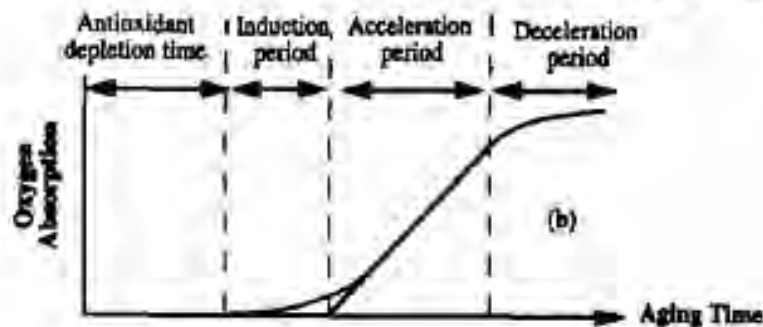
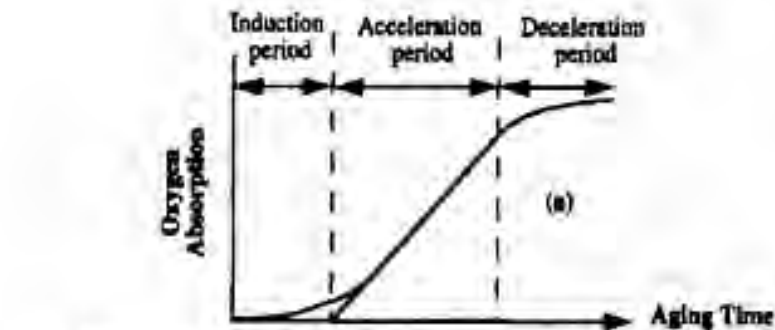


Cristalinidad

PEAD
Material Semicristalino
Cristalinidad y
Densidad
RELACIONADAS



■ Tiempo de Inducción a la Oxidación



Curves Illustrating Various Stage of Oxidation for (a) Pure Unstabilized Polyethylene; (b) Stabilized Polyethylene

En principio no existirán cambios en las propiedades mecánicas hasta que no se agoten los AO

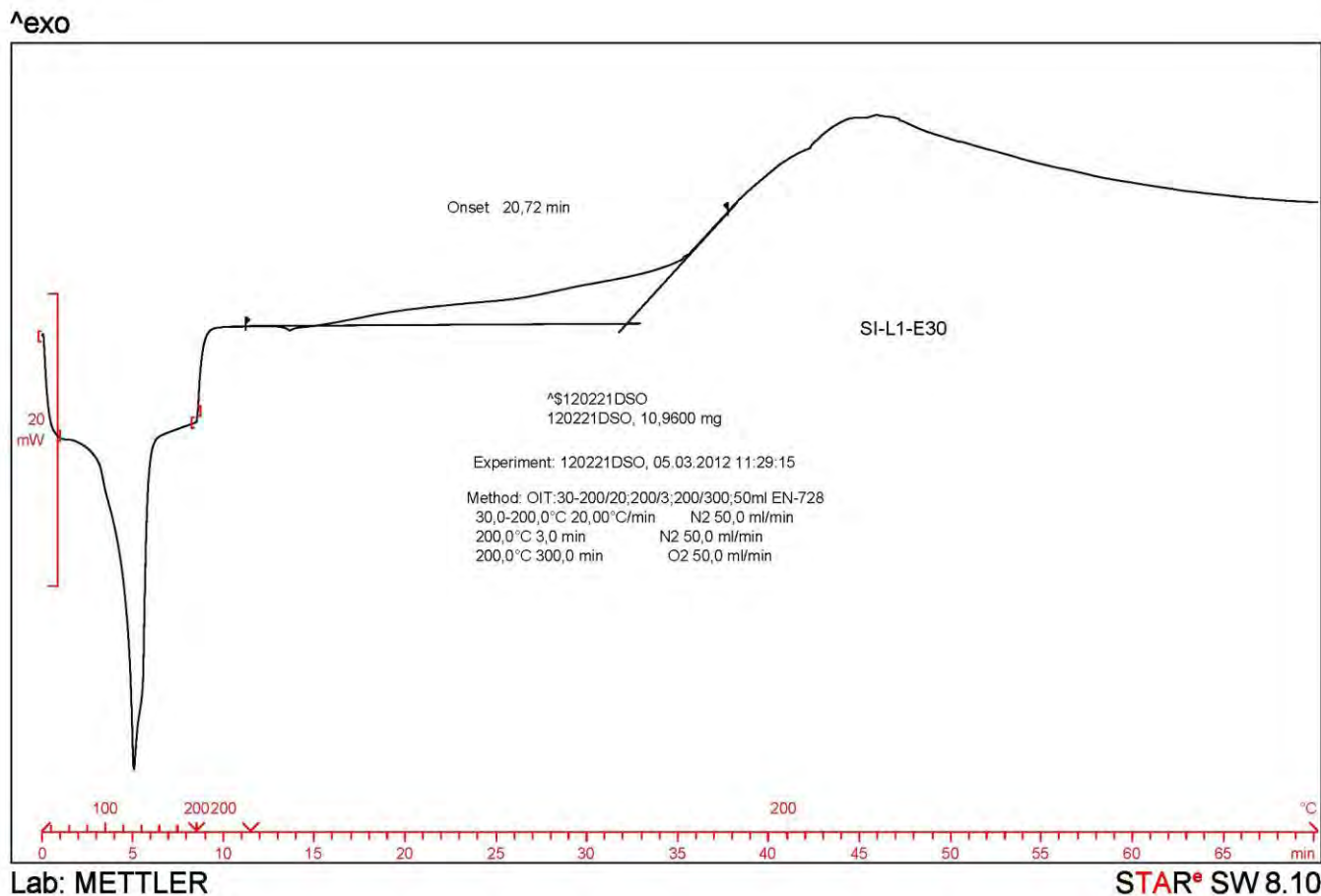
■ Tiempo de Inducción a la Oxidación

OIT → ensayo de envejecimiento acelerado para comparar la resistencia relativa a la oxidación en el polietileno.

*CANTIDAD DE ANTIOXIDANTES

- Técnica utilizada → calorimetría diferencial de barrido.
- Calentar la muestra a elevada temperatura, cambiar la atmósfera de N_2 a O_2 → $200^{\circ}C$ y 35kPa
- El tiempo desde la 1ª exposición al O_2 hasta el principio de la oxidación (pico exotérmico) es el TIEMPO DE INDUCCIÓN A LA OXIDACIÓN.

■ Tiempo de Inducción a la Oxidación



Durabilidad

- Se representa el $\ln(OIT)$ en función del tiempo, función lineal.
- La pendiente es el relación de agotamiento de antioxidantes y se puede determinar la durabilidad
- **ESTIMACIÓN** → Bibliográfica por fecha de instalación = 100 min.

RESULTADOS

NORTE

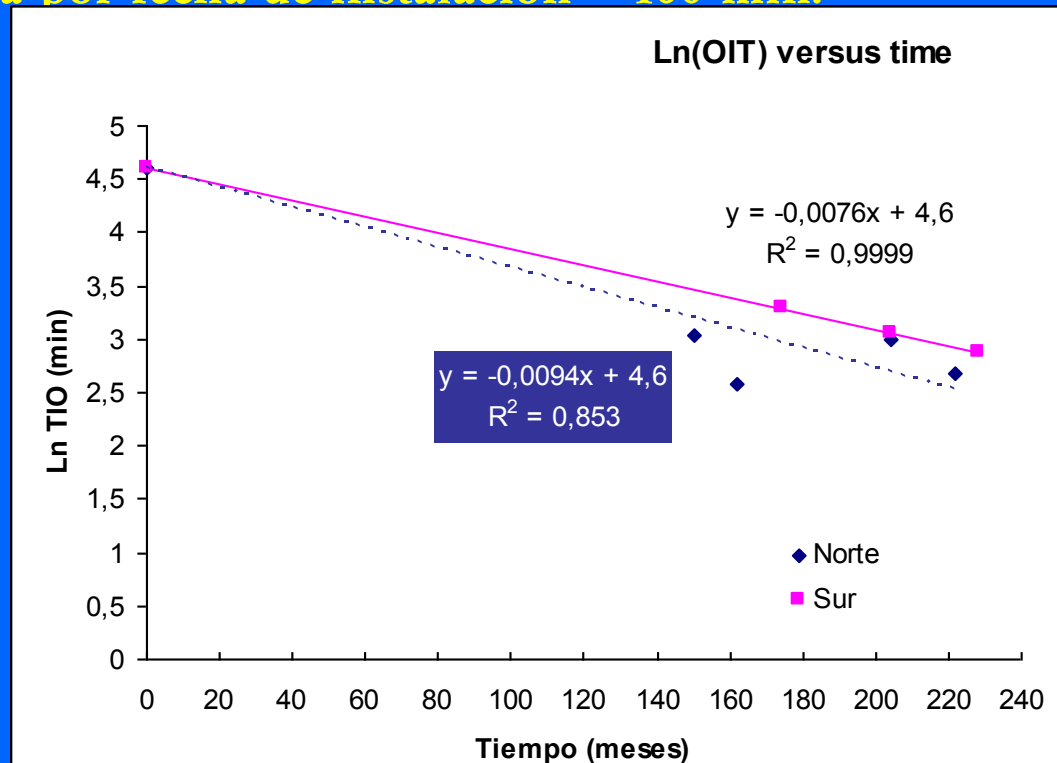
0.0094 meses⁻¹

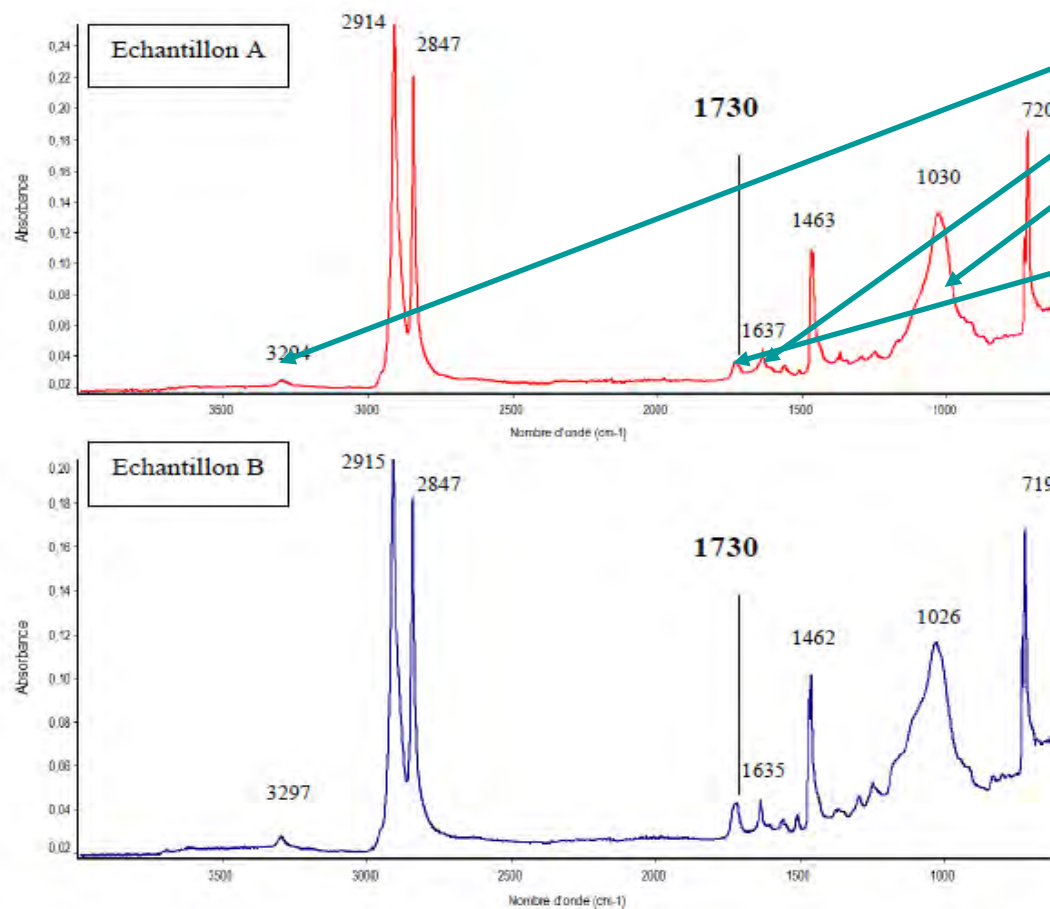
t = 47 años

SUR

0.0076 meses⁻¹

t = 58 años





**Polisacáridos y
material
proteico**

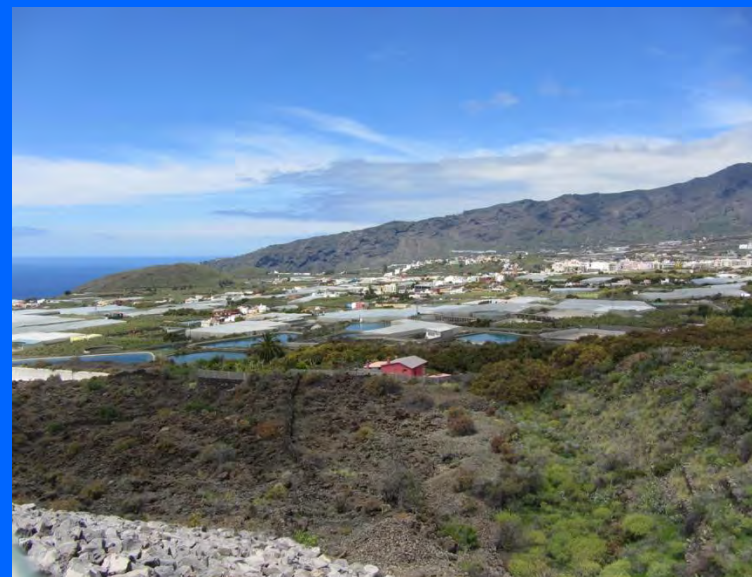
Carbonilo

IRTF-ATR

Figure V-3: Spectres IRTF-ATR des échantillons de GMB A (en partie supérieure du bassin, exposée aux UV) et B (en partie inférieure du bassin, exposée à l'eau)

ÍNDICE DE CARBONILO

$$\text{PEAD} = \frac{\text{altura o área del pico del carbonilo a } 1715\text{-}1740 \text{ cm}^{-1}}{\text{altura o área del pico interno estándar (1462 cm}^{-1}\text{)}}$$



FACTOR DE DURABILIDAD

$$\text{MDF} = \frac{\text{"Stress Cracking"}}{\text{Índice de carbonilo}}$$



FACTOR DE DURABILIDAD

- MDF
- 780 – 1000
- 1000 – 5000
- 5000 – 25 000
- > 25 000
- Valores diferentes acordes con la futura aplicación.
- Ejemplo:
- Alto valor de MDF para vertederos de residuos peligrosos.





GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE FOMENTO

MINISTERIO
DE AGRICULTURA,
ALIMENTACIÓN
Y MEDIO AMBIENTE

CEDEX
CENTRO DE ESTUDIOS
Y EXPERIMENTACIÓN
DE OBRAS PÚBLICAS

VIDA ÚTIL

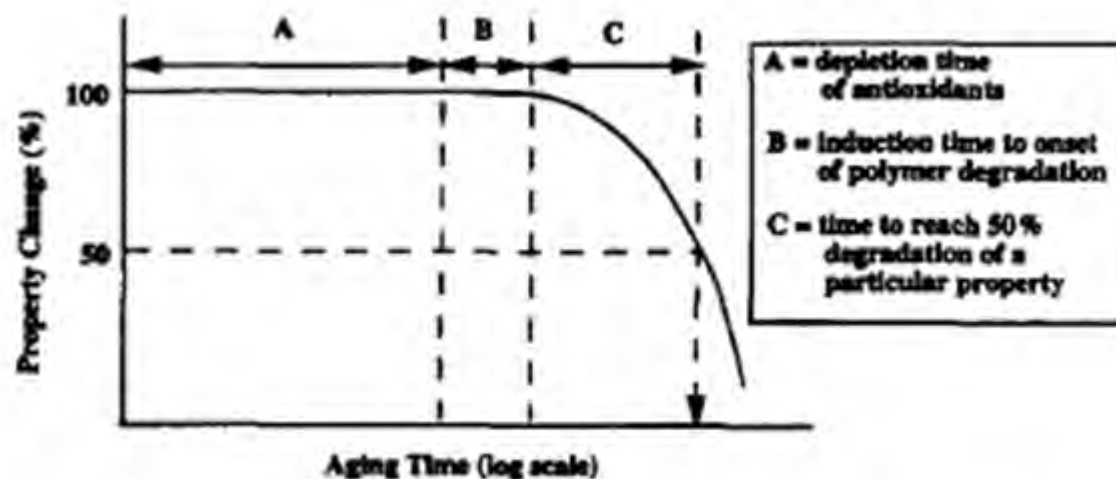


FIG. 1. Three Conceptual Stages in Chemical Aging of HDPE Geomembranes

VIDA ÚTIL

PEAD

- “Stress cracking”
- Tiempo de inducción a la oxidación
- Índice de carbonilo

VIDA ÚTIL

EPDM

- Alargamiento en rotura

VIDA ÚTIL

PVC-P

- Doblado a bajas temperaturas
- Pérdida de plastificantes

PATOLOGIA

Composición

Instalación

Ubicación

Flora y fauna

Otros factores





GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE FOMENTO

MINISTERIO
DE AGRICULTURA,
ALIMENTACIÓN
Y MEDIO AMBIENTE

CEDEX

CENTRO DE ESTUDIOS
Y EXPERIMENTACIÓN
DE OBRAS PÚBLICAS

PATOLOGIA

COMPOSICIÓN
O FORMULACIÓN

Resinas o aditivos





GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE FOMENTO

MINISTERIO
DE AGRICULTURA,
ALIMENTACIÓN
Y MEDIO AMBIENTE

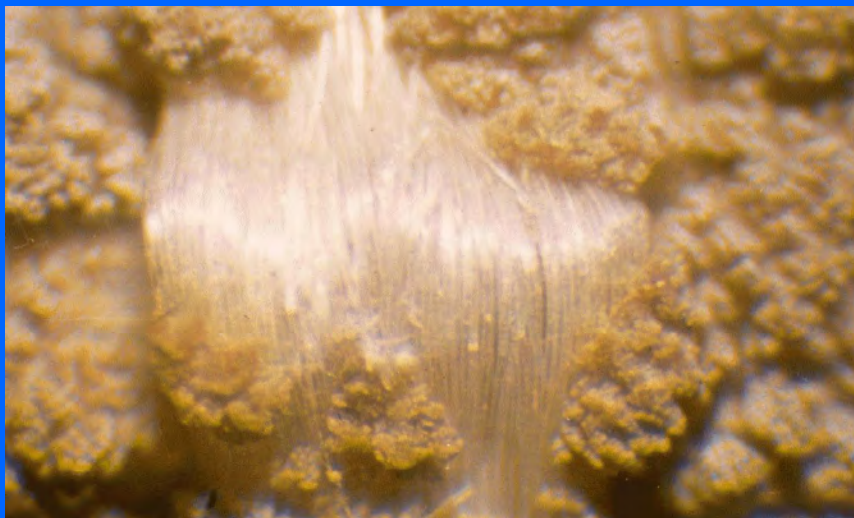
CEDEX
CENTRO DE ESTUDIOS
Y EXPERIMENTACIÓN
DE OBRAS PÚBLICAS

PATOLOGIA

COMPOSICIÓN
O FORMULACIÓN

“Stress-cracking”





PATOLOGIA

INSTALACIÓN

SOPORTE

TERRENO

Preparación

Eliminación de guijarros

Id. Vegetales

Buena compactación

HORMIGÓN

OTRA GEOMEMBRANA

GEOCOMPUESTOS

Incompatibilidades



PATOLOGIA

INSTALACIÓN

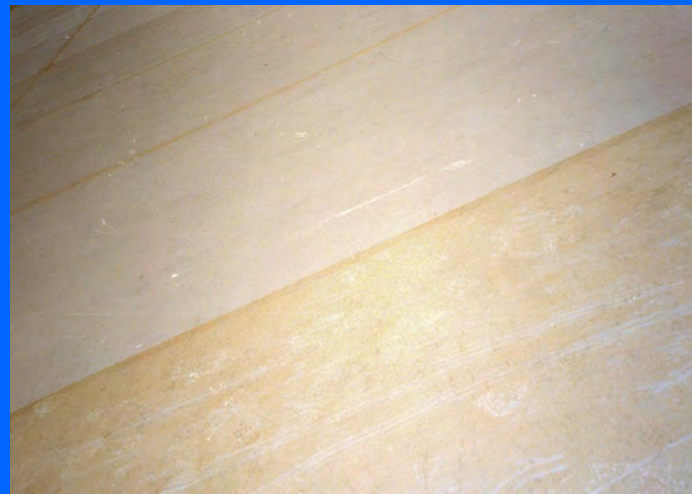
PUESTA EN OBRA

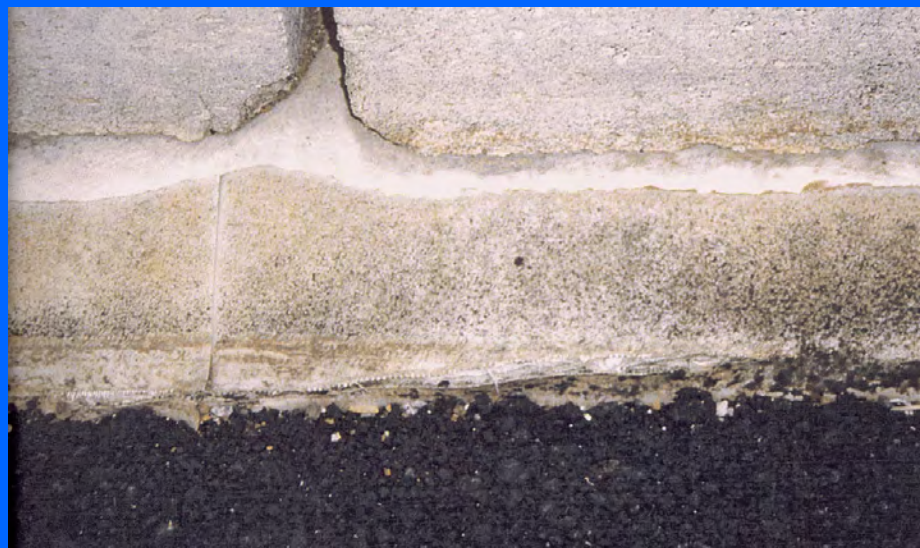
- Desenrollado
- Maquinaria
- Aceites (EPDM)
- Anclajes
- Temperatura (PEAD)

SOLDADURA

- Temperatura
- Humedad
- Suciedad
- Temperatura de aplicación
- Presión de aplicación

RETRACCIÓN





Bermas





Fondo



UBICACIÓN

Asientos

Temperatura

Hielos

Lluvias

Rebosamiento

Lavado de taludes

Granizo

Luz solar

Baberos

Viento

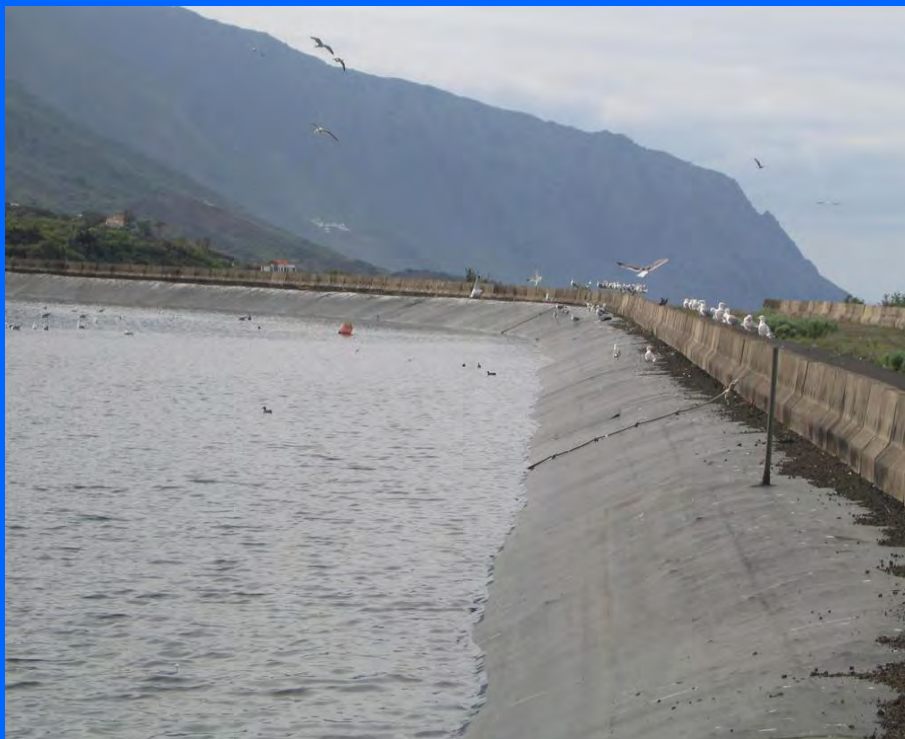
Oleaje

Migración

Agua



UBICACIÓN



UBICACIÓN



UBICACIÓN



PATOLOGIA



FLORA Y FAUNA

Vegetación

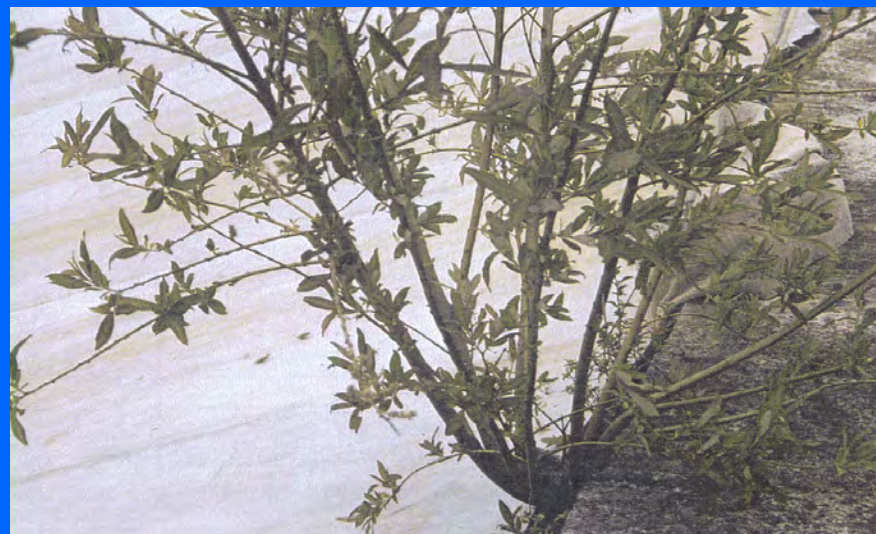
Zarzas
Nicotiana glauca



Fauna

Roedores, zorros, jabalíes, perros, aves

Microorganismos



OTROS FACTORES

Desprendimientos
Fuego
Vandalismo
Caza y pesca
Otros deportes







Toma de agua contra incendios







Muchas gracias