

# Análisis microscópico de geomembranas sintéticas utilizadas en la impermeabilización de embalses

BLANCO, MANUEL (\*), SORIANO, JESÚS (\*\*), AGUIAR, ESCOLÁSTICO (\*\*\*), ZARAGOZA, GASPAR(\*\*\*\*)

**RESUMEN** El presente trabajo pretende dar a conocer datos de geomembranas sintéticas utilizadas en la impermeabilización de embalses. A diferencia de artículos anteriores, el comportamiento de estos materiales se realiza desde el punto de vista microscópico, tanto óptico como electrónico de barrido. Los materiales geosintéticos empleados como geomembranas en la impermeabilización de los embalses, objeto de este trabajo, son: polipropileno, copolímeros de etileno-acetato de vinilo, polietileno, etileno-propileno-monomero diénico y poli(cloruro de vinilo) plastificado.

## MICROSCOPIC ANALYSIS OF SYNTHETIC GEOMEMBRANES USED IN RESERVOIRS WATERPROOFING

**ABSTRACT** *This paper provides to show the values of synthetic geomembranes were used in the waterproofing reservoirs. In opposite of before works, the performance of these materials are presented of point of view microscopy as optic as electron. The polymers employed as waterproofing geomembranes in the considered reservoirs are polypropylene, ethylene-vinyl acetate copolymer, polyethylene, ethylene-propylene-diene terpolymer rubber, and plasticized poly(vinyl chloride).*

**Palabras clave:** Impermeabilización; Geosintéticos; Geomembranas; Embalses; Microscopía.

## 1. INTRODUCCIÓN

La evaluación de las características de los materiales sintéticos utilizados como geomembranas en el campo de la Ingeniería Civil y, fundamentalmente, en el área de la impermeabilización se empezó a llevar a cabo en la segunda parte de la década de los setenta, como consecuencia de la implantación de láminas de caucho butilo (IIR) para la impermeabilización de embalses en el sudeste español. Al no existir una normativa propia para este tipo de aplicación, las pruebas para comprobar la validez o idoneidad de los productos utilizados se basaron en las clásicas de elastómeros citadas en la literatura científica, destacando características mecánicas, dureza y resistencia al ozono. Esta última propiedad era fundamental, pues las pequeñas proporciones de ozono existentes en la atmósfera eran suficientes para provocar la rotura de los dobles enlaces de la macromolécula, mediante una reacción de adición donde el agente electrófilo era precisamente el ozono (1); este fenómeno era más patente cuando

el material estaba sometido a las sollicitaciones de la membrana en el embalse.

En estos años se crea en el seno del comité 53 «Plásticos y Cauchos» del extinto Instituto Nacional de Racionalización y Normalización del Trabajo (IRANOR) el subcomité 14 que incluye a aquellos materiales de naturaleza polimérica que se vayan a utilizar en el campo de la impermeabilización. Se comienza a trabajar y se hace acopio de la bibliografía existente y se elaboran unos amplios planes de experimentación a lo largo de un extenso periodo de tiempo. Estos trabajos se realizaron, tanto a nivel nacional como internacional, en diversos centros de investigación públicos y en laboratorios de la empresa privada. Fruto de estos trabajos se genera una serie de normas para distintos materiales macromoleculares: poli(cloruro de vinilo) plastificado, elastómeros, polietileno clorado, y copolímeros acrílicos.

Como consecuencia de la incorporación de nuestro país a la Unión Europea, el antiguo IRANOR se transforma en AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación) y el subcomité anteriormente mencionado da lugar al comité 104 «Materiales Impermeabilizantes para la Construcción». Se modifican y revisan las normas anteriores y nacen una serie de ellas para nuevos productos sintéticos, así como la puesta en obra de los mismos. En la normativa de productos ya se citan los requerimientos mínimos que deben ser exigidos y la metodología experimental adecuada.

Como consecuencia de la experiencia alcanzada en las investigaciones propias realizadas y en el seguimiento de los distintos materiales aplicados en el territorio español además de los ensayos citados en la normativa pertinente

(\*) Doctor en Ciencias. Jefe del Área de Materiales. Laboratorio Central de Estructuras y Materiales (CEDEX)

(\*\*) Doctor en Ciencias. Jefe de Servicio de Ciencia de Materiales. Laboratorio Central de Estructuras y Materiales (CEDEX)

(\*\*\*) Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Gerente de BALTEN. Consejo Insular de Aguas de Tenerife

(\*\*\*\*) Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Jefe del Área de Inspección de Presas. Dirección General de Obras Hidráulicas y Calidad de las Aguas. Ministerio de Medio Ambiente

se ha puesto de manifiesto la necesidad de hallar otras pruebas que, empleando pequeñas cantidades de material extraído de los embalses, permitiese conocer con mayor precisión su estado en un determinado momento (2). Aparte de los ensayos convencionales se han empleado técnicas de espectroscopía infrarroja por transformadas de Fourier y análisis microscópico (3,4).

Las técnicas microscópicas han sido durante años sumamente empleadas en el estudio de la tecnología de materiales de carácter inorgánico (5, 6, 7) pero más bien son escasas o nulas las referencias a su aplicación en los materiales orgánicos. La microscopía tanto óptica de reflexión (MOR) como electrónica de barrido (MEB) ha llegado a ser una técnica que ayuda de una forma determinante a conocer el «estado del arte» del geosintético. Por ello y teniendo en cuenta una larga experiencia que abarca casi una veintena de años, se pretende mostrar el estudio de una serie de geomembranas de distinta naturaleza empleadas en la impermeabilización de embalses. Dicho estudio presenta estado inicial y evolución con el tiempo, así como los distintos factores que influyen en la durabilidad de una geomembrana, analizados desde el punto de vista microscópico.

## 2. MATERIALES

Los materiales macromoleculares a los que hacemos referencia en este trabajo constituyen las geomembranas sintéticas utilizadas en la impermeabilización de distintos embalses españoles. Los polímeros que forman, mayoritariamente, las mencionados geosintéticos son:

- Polipropileno (PP)
- Copolímero de etileno/acetato de vinilo (EVA/C)
- Polietileno (PE)
- Caucho de etileno-propileno-monómero diénico (EPDM)
- Poli(cloruro de vinilo) plastificado (PVC-P)

Desde el punto de vista de sus propiedades físicas los materiales anteriores son todos productos termoplásticos con excepción del caucho de etileno-propileno monómero diénico que es de carácter termoestable, lo que hay que tener presente a la hora de su aplicación y a lo largo de la vida útil de la geomembrana.

Se han determinado las características iniciales de las geomembranas implicadas de acuerdo a la normativa vigente (8-9-10) y, puesto que la normativa actual se puede considerar de mínimos se han realizado otra serie de características para un mejor conocimiento de las mismas. Los valores de las propiedades determinadas se encuentran ampliamente descritos en la bibliografía científica (11-12-13-14) así como los datos de su evolución en el tiempo (15-16-17-18-19).

La figura 1 presenta el aspecto del embalse de La Contraviesa, en el término municipal de Torvizcón (Granada) impermeabilizado con polipropileno (PP) y que abastece de



FIGURA 1. Embalse de La Contraviesa en la provincia de Granada cuya geomembrana sintética está constituida por polipropileno (PP).



FIGURA 2. Embalse de Plá de Sant Jordi, en Palma de Mallorca, impermeabilizado con polietileno de alta densidad (PEAD).

agua potable a distintas localidades de La Alpujarra. La figura 2 es una vista parcial del embalse de Plá de Sant Jordi en el ayuntamiento de Palma de Mallorca cuya geomembrana impermeabilizante está constituida por polietileno de alta densidad (PEAD); el agua que contiene es depurada y sus fines son puramente agrícolas.

## 3. MÉTODOS EXPERIMENTALES

### 3.1. MICROSCOPIA ÓPTICA DE REFLEXIÓN

El estudio de las muestras por microscopía óptica de reflexión se ha realizado mediante un microscopio de la firma Leica modelo DMRX, equipado con un sistema automático de fotografía.

### 3.2. MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO

El estudio de las muestras se ha realizado mediante el empleo de un microscopio electrónico de barrido ZEISS, modelo DSM 942, equipado con un espectrómetro de dispersión de energía de rayos X LINK, modelo Pentafet.

Las muestras, por no ser conductoras, han sido metalizadas mediante un recubrimiento conductor de 100 a 200 micras de espesor, obtenido por la evaporación a vacío de una placa de Au-Pd.

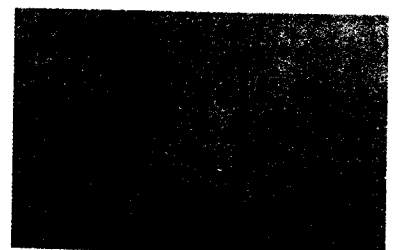
La metalización de las muestras se ha realizado de forma automática, mediante una metalizadora Emitech modelo K550.

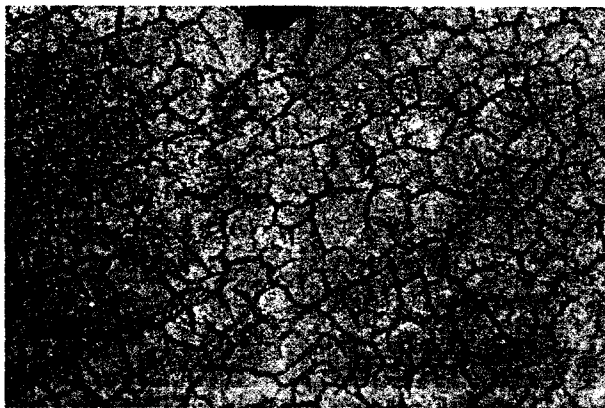
## 4. RESULTADOS

### 4.1. POLIPROPILENO (PP)

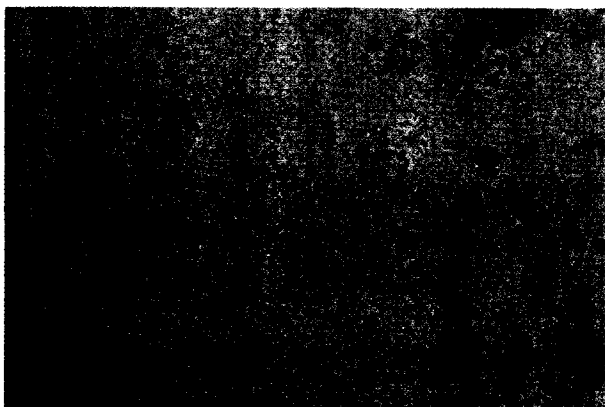
El polipropileno (PP) es una poliolefina cuya implantación es reciente a nivel europeo. A juzgar por los datos de la literatura técnica es un material que puede presentar ciertas ventajas sobre su homólogo el polietileno de alta densidad (PEAD). Los datos que figuran en este artículo proceden del campo experimental ubicado en el talud norte del embalse de El Saltadero (Tenerife), de la base de la cubierta flotante del depósito de abastecimiento de aguas a la ciudad de Almería (Embalse de Aguadulce) y de la geomembrana impermeabilizante del embalse de La Contraviesa (Granada).

FIGURA 3. Muestra original de PP procedente del embalse de La Contraviesa observada por microscopía óptica de reflexión (MOR) a 60 aumentos.





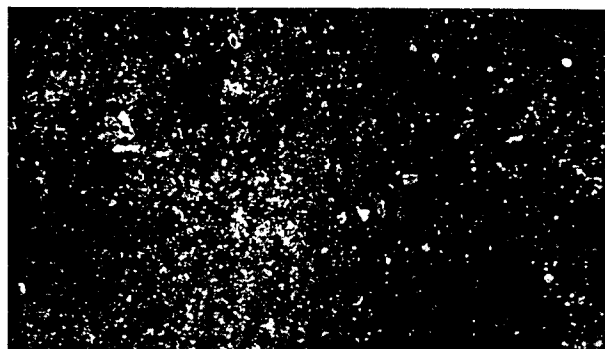
**FIGURA 4.** La muestra anterior de PP al cabo de cuatro años de instalada en el citado embalse, extraída del talud norte. Observación de la cara externa en contacto con las radiaciones solares (60x).



**FIGURA 5.** Observación por la cara interna de la muestra anterior (60x).

La figura 3 presenta la lámina original observada por microscopía óptica de reflexión a 60 aumentos donde se muestra una superficie bastante homogénea con ligeros desplazamientos locales y ciertas áreas de abombamientos. El material procedente del embalse de La Contraviesa al cabo de los cuatro años de instalado en plena Alpujarra granadina, con una climatología bastante especial se presenta en la figura 4 donde aparece una abundante red de microfisuraciones que originan un cuarteamiento importante en la geomembrana; dicha muestra fue extraída del talud norte del embalse y su observación microscópica se llevó a cabo por la cara externa, es decir, la que estuvo en contacto con las radiaciones solares. La misma muestra observada por la cara interna, en contacto con el geotextil de la base se presenta en la figura 5, donde lo único significativo son desplazamientos, ya detectadas en el material original, y mínimas alteraciones, que denotan el buen estado de su superficie.

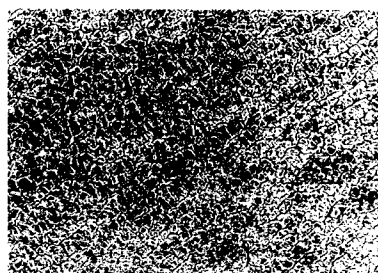
La figura 6 representa una microfotografía original de la muestra de polipropileno procedente de La Contraviesa observada por microscopía electrónica de barrido «scanner» (MEB) donde se puede comprobar el buen estado de la lámina, su homogeneidad únicamente alterada por pequeñas hendiduras que tienen asociadas zonas desplazadas muy incipientes. La figura 7 es una fotografía del material extraído del campo experimental del sur de la isla



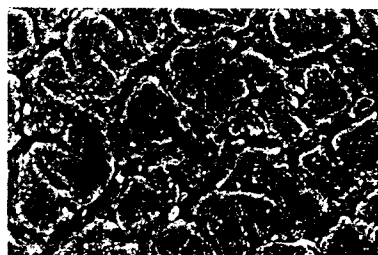
**FIGURA 6.** Muestra inicial de una geomembrana de PP antes de su instalación en el embalse de La Contraviesa. Observación por microscopía electrónica de barrido -MEB- (90x).



**FIGURA 7.** Observación por microscopía electrónica de barrido (1000x) de la cara externa de un material extraído del campo experimental ubicado en el embalse de El Saltadero (Tenerife) al cabo de los tres años de su instalación.



**FIGURA 8.** Observación por microscopía electrónica de barrido (90x) de la cara externa del geosintético extraído del talud norte del embalse de La Contraviesa, después de los seis años de su aplicación.



**FIGURA 9.** Detalle de la microfotografía de la figura anterior a 900 aumentos.

de Tenerife a los tres años de instalación; la técnica MEB muestra una geomembrana cuarteada, como consecuencia de la fuerte insolación de la zona. En las figuras 8 y 9 se puede comprobar otra muestra de esta poliolefina pero al cabo de los seis años de aplicada en el talud norte de La Contraviesa. El análisis se ha realizado por su cara externa a 90 y 900 aumentos. Se detecta por esta técnica un producto con grietas de retracción y notable alteración superficial.

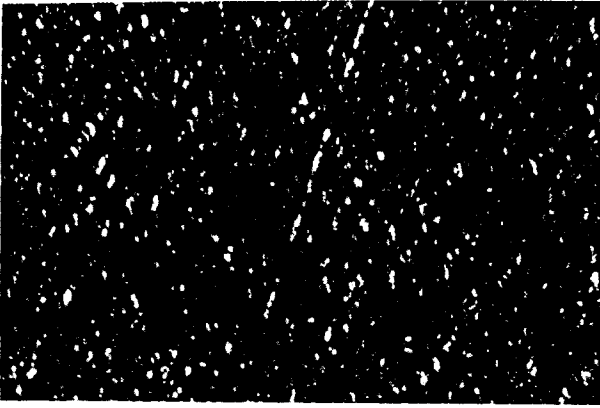


FIGURA 10. Muestra original de EVA/C microscopía óptica a 25 aumentos.

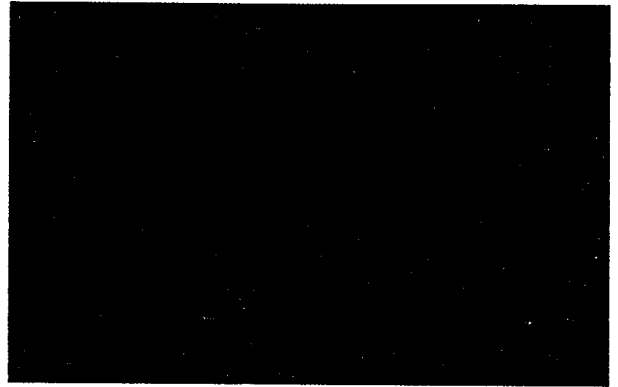


FIGURA 11. Muestra de EVA/C al cabo de cinco años de su aplicación. Cara interna a 60 aumentos.

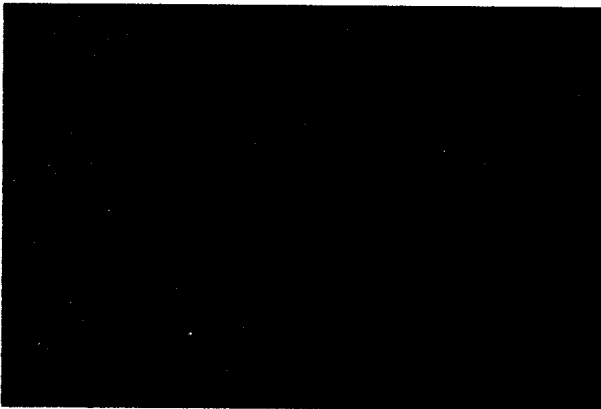


FIGURA 12. Muestra de EVA/C al cabo de cinco años de su aplicación. Cara externa a 60 aumentos.

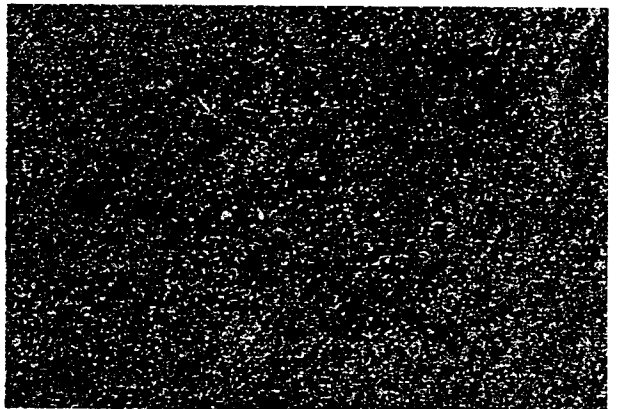


FIGURA 13. Muestra de EVA/C al cabo de cinco años de su aplicación observada por su cara interna a 90 aumentos mediante MEB.

#### 4.2. COPOLÍMERO DE ETILENO-ACETATO DE VINILO (EVA/C)

El copolímero de etileno-acetato de vinilo (EVA/C) es un material termoplástico susceptible de empleo como material geosintético para la impermeabilización y, por ende, contemplado en la futura norma europea sobre el tema, en la actualidad en avanzado periodo de elaboración. En lo concerniente a nuestro país, es un material muy utilizado en la construcción de invernaderos, pero poco empleado en la impermeabilización. Para conocer mejor su comportamiento en obra, durante el año 1.992 se instaló en el campo experimental de El Saltadero y desde entonces y de una forma periódica se vienen extrayendo muestras con objeto de conocer su evolución en el tiempo.

La figura 10 presenta el aspecto del material original observado por microscopía óptica y donde lo único apreciable es su uniformidad superficial y algunas rayaduras, posiblemente, consecuentes de su manipulación. Las figuras 11 y 12, plasman el aspecto de la geomembrana sintética en sus caras interna y externa, respectivamente, a 60 aumentos, después de cinco años de sufrir los ataques atmosféricos en la zona sur de la isla de Tenerife. Las alteraciones detectadas son mínimas, si se exceptúan ligeras desplazaciones y una elevada rugosidad superficial.

Al llevar a cabo el análisis microscópico por la técnica de «scanner» se ha obtenido una microfotografía de la cara interna del material (fig.13) tras cinco años de instalación en la que se aprecia una superficie con alteraciones de poco de-

sarrollo en forma de descamaciones y pequeñas grietas de poca profundidad. El mismo material geosintético y en idénticas condiciones ensayado por su parte externa conduce a la fotografía de la figura 14 donde se aprecia una elevada red de microgrietas que originan desplazaciones asociadas a microporosidades. La microfotografía de la figura 15 es un de-

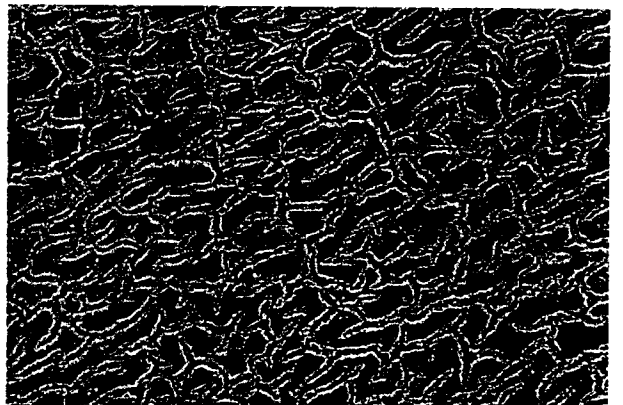
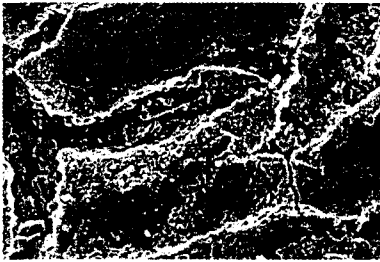


FIGURA 14. Muestra de EVA/C al cabo de cinco años de su aplicación observada por su cara externa a 90 aumentos mediante MEB.



**FIGURA 15.** Detalle de la microfotografía anterior a 900 aumentos mediante microscopía electrónica de barrido.

talle de la anterior a 900 aumentos, que confirma lo dicho anteriormente y donde se hacen patentes fisuras y grietas en la microestructura polimérica.

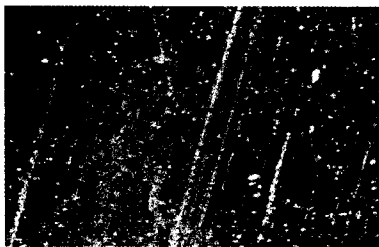
**4.3. POLIETILENO (PE)**

El polietileno es quizás el material que más se está empleando en España como geomembrana impermeabilizante en la pantalla de los embalses. Su gran inercia desde el punto de vista químico, unido a sus prestaciones de tipo mecánico y de durabilidad hacen de él un termoplástico de uso común, no sólo en el campo de los embalses sino también en el de los vertederos y depósitos de residuos. El polietileno en el campo de la impermeabilización se emplea en distintas variedades: alta densidad (PEAD), media densidad (PEMD), baja densidad (PEBD) y muy baja densidad (PEMBD). El de mayor utilización es el de alta densidad y el de baja densidad se utiliza como impermeabilización de bajo precio y siempre debidamente protegida, nunca a la intemperie.

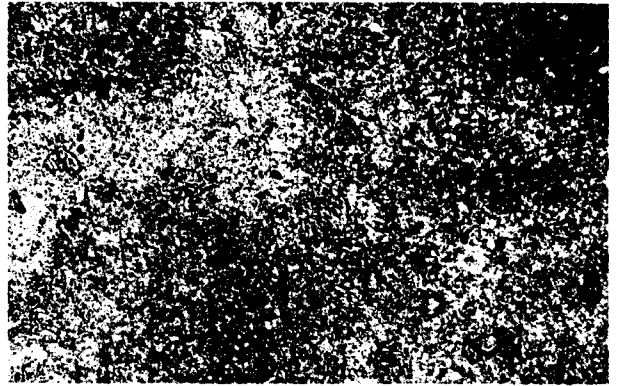


**FIGURA 16.** Muestra de PEAD procedente del embalse de La Sierra de las Águilas, en Monforte del Cid (Alicante) observada por microscopía óptica a 40 aumentos.

**FIGURA 17.** Muestra de PEMD procedente del campo experimental del embalse de El Saltadero (Tenerife) observada por microscopía óptica a 40 aumentos.



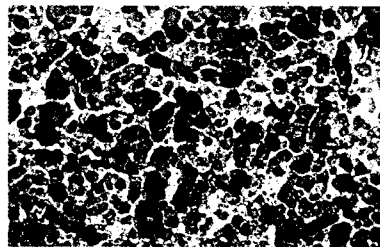
**FIGURA 18.** Muestra de PEBD procedente del embalse de la Plá Mateos (Alicante) observada por microscopía óptica a 40 aumentos.



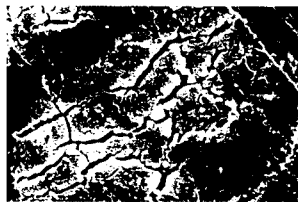
**FIGURA 19.** Muestra de PEMBD procedente del talud del embalse de El Cerrillo del Libro, en El Ejido (Almería) observada por microscopía óptica a 40 aumentos.

Las figuras 16, 17, 18 y 19 representan, respectivamente, el aspecto de polietileno de alta, media, baja y muy baja densidad, al ser observadas las geomembranas por microscopía óptica de reflexión a 40 aumentos, al año de estar instaladas. Lo más común en todas ellas son estrias procedentes de la manipulación o contacto con el terreno y la presencia de algunos poros o cráteres de escasa importancia. La figura 20 contempla una fotografía a 60 aumentos, por la cara externa, de una muestra de polietileno de alta densidad, extraída al cabo de los cinco años de seguimiento del embalse de Cabezo de los Leones, en Lorca (Murcia).

La figura 21 es una microfotografía de la muestra de polietileno de alta densidad extraída del embalse de Pilar de la Horadada (Alicante) a los cuatro años de su instalación. La figura 22 procede de una geomembrana del embalse de El Alto de los Payuelos-2 (León) al cabo de los diez años de su colocación. Por último, la fotografía de la figura 23 es el mismo ma-



**FIGURA 20.** Muestra de PEAD procedente del embalse de Cabezo de los Leones, a los cinco años de su instalación, observada por microscopía óptica de reflexión a 60 aumentos.



**FIGURAS 21, 22 Y 23.** Muestras de PEAD observadas por microscopía electrónica de barrido a 900 aumentos, y tomadas de las obras a los cuatro, diez y doce años, respectivamente, de su instalación.

terial procedente del embalse de Plá de Sant Jordi (Mallorca) al cabo de doce años de realizada la impermeabilización. Todas las fotografías han sido analizadas por la cara externa de la geomembrana mediante microscopía electrónica de barrido a 900 aumentos; las muestras se tomaron en los tres casos en la coronación de los taludes, en su zona norte.

En todas las fotografías se aprecia una notable alteración superficial con microfisuras y agrietamientos de considerable importancia. Es de destacar que la muestra extraída al cabo de los diez años se encuentra, relativamente, en mejor estado de conservación, lo que puede achacarse a la zona de ubicación del embalse en la provincia de León, donde las radiaciones solares no son tan fuertes como en las zonas de Mallorca y Alicante, donde se hallan las otras estructuras. Además quizás esa mayor degradación en las muestras procedentes de Pilar de la Horadada y Plá de Sant Jordi tenga otra etiología, ya que en esos casos son aguas depuradas y es sabido que los polietilenos son susceptibles en determinadas condiciones de ataque por soluciones alcalinas. Es conocido que el agua de estos depósitos suele tener en su seno restos de detergentes que podrían actuar negativamente en el material que constituye la geomembrana.

**4.4. ETILENO-PROPILENO MONÓMERO DIÉNICO (EPDM)**

Entre la gama de productos termoestables que se utilizan como geomembranas sintéticas en la impermeabilización tanto en la Edificación como en la Ingeniería Civil, el que hoy día ocupa un puesto privilegiado es el caucho de etileno-propileno monómero diénico (EPDM) que poco a poco ha ido sustituyendo a los cauchos tradicionales tales como el de policloropreno (CR) y el butilo (IIR). Tiene a su favor la gran ventaja de no verse afectado por la acción del ozono, puesto que los dobles enlaces que pueden quedar en su estructura macromolecular durante el proceso de polimerización son mínimos. Además, sus mejoras a lo largo de los últimos años tanto en aditivos como en el dieno empleado han hecho de este material uno de los de mayor utilización en este campo de la Tecnología.

Son bastantes los embalses cuyo sistema impermeabilizante está formado por una lámina de este tipo y cuyo seguimiento se está llevando a cabo, tanto en la península como las islas Canarias. Las figuras 24 y 25 ponen de manifiesto el estado de las caras interna y externa de la geomembrana de

FIGURA 26. Muestra de EPDM procedente del embalse de Los Pozos (Lorca-Murcia) observada mediante microscopía óptica a 60 aumentos, antes de su instalación.

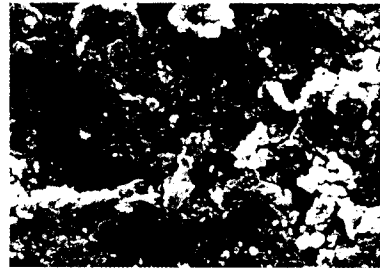
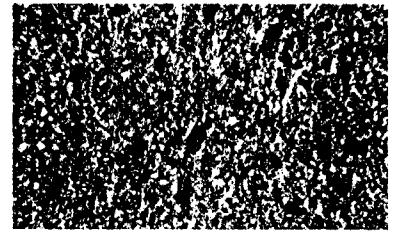


FIGURA 27. Muestra de EPDM procedente del embalse de Los Pozos (Lorca-Murcia) observada por su cara externa mediante microscopía electrónica de barrido a 900 aumentos, extraída a los cinco años de su puesta en obra.

este material procedente del embalse de Los Pozos, en la provincia de Murcia, al cabo de los cinco años de su puesta en obra. Las fotografías corresponden a un análisis por microscopía óptica de reflexión a 60 aumentos. Asimismo, y a efectos comparativos, la figura 26 muestra el estado de la lámina inicial en las mismas condiciones de ensayo. Si la prueba se realiza mediante «scanner» el resultado del ensayo a los cinco años por su cara externa es el que se refleja en la figura 27.

La lámina original presenta por técnicas microscópicas buen estado, donde únicamente aparecen algunas hendiduras superficiales que originan un microagrietamiento de escasa entidad. Por microscopía óptica se puede comprobar que al cabo de los cinco años, la cara en contacto con el geotextil sigue en buen estado de conservación, mientras que la cara en contacto con las radiaciones solares sufre ligeras alteraciones y se aprecian ciertas microfisuras. El «scanner» confirma lo anteriormente dicho, detectando una superficie homogénea con ciertos síntomas de envejecimiento en el material.

FIGURA 28. Muestra de EPDM procedente del embalse de Bullas (Murcia) observada por su cara externa mediante microscopía óptica de reflexión (MOR) a 60 aumentos, extraída a los cuatro años de su puesta en obra.

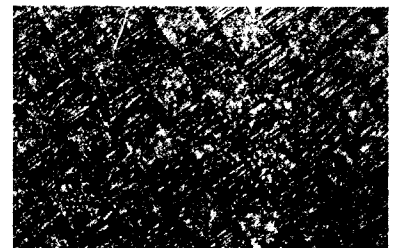


FIGURA 29. Muestra de EPDM procedente del embalse de Bullas (Murcia) observada por su cara externa mediante microscopía electrónica de barrido (MEB) a 90 aumentos, extraída a los seis años de su puesta en obra.

FIGURA 24. Muestra de EPDM procedente del embalse de Los Pozos (Lorca-Murcia) observada por su cara interna mediante microscopía óptica a 60 aumentos. La toma de material se ha realizado a los cinco años de puesta en servicio.

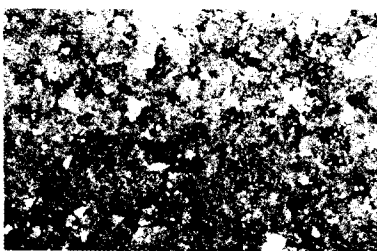
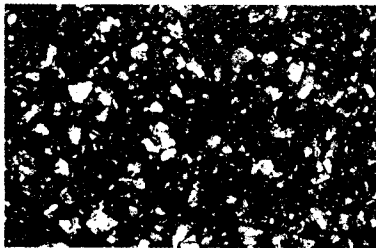


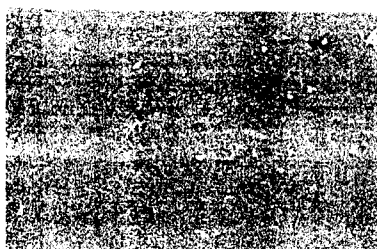
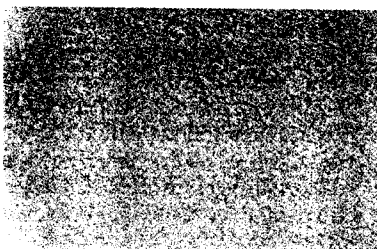
FIGURA 25. Muestra de EPDM procedente del embalse de Los Pozos (Lorca-Murcia) observada por su cara externa mediante microscopía óptica a 60 aumentos. La toma de material se ha realizado a los cinco años de puesta en servicio.

La técnica de vulcanización la realizan las distintas casas comerciales mediante procesos propios que, en algunas ocasiones, pueden dar lugar a confusiones a la hora de llevar a cabo un estudio microscópico del material o bien su evolución, una vez colocado en obra. Así, y a título de ejemplo, podemos observar en la figura 28 el aspecto que origina el análisis por microscopía óptica de reflexión. En apariencia es una geomembrana reforzada con un tejido, donde se aprecia perfectamente su trama y su urdimbre, que se ve confirmada al realizar la microscopía electrónica de barrido (fig. 29). Sin embargo, al realizar la totalidad de ensayos físicos y químico-físicos se comprobaba la ausencia de refuerzo o armadura en esta lámina elastomérica. El hecho se debe a que el proceso de reticulación o vulcanización, en el lenguaje de elastómeros, se realiza en presencia de un textil cuyas huellas quedan en la superficie del material y detecta la microscopía. Con el paso del tiempo, el envejecimiento natural va borrando poco a poco las mencionadas secuelas.

#### 4.5. POLI(CLORURO DE VINILO) PLASTIFICADO (PVC-P)

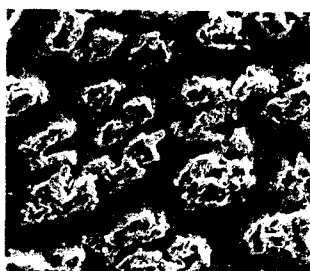
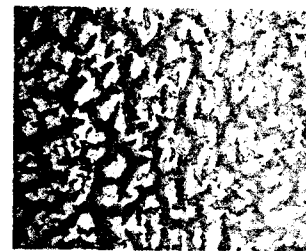
El poli(cloruro de vinilo) plastificado (PVC-P) es el polímero que más se ha empleado hasta el momento en el campo de la impermeabilización. Se ha utilizado como homogéneo y con refuerzo de hilos sintéticos; en los últimos años se ha hecho uso, también, del reforzado con una inserción de fibra de vidrio. En cualquier caso, el material original es un producto rígido que encuentra multitud de aplicaciones en Ingeniería y Arquitectura, pero para su uso en impermeabilización se necesita una flexibilidad que le confieren unos aditivos denominados plastificantes que, en general, son ésteres de elevado peso molecular. Existen otros procedimientos de plastificación pero más costosos. Precisamente en la mayoría de las veces, esos plastificantes son los responsables de su degradación, ya que tiene tendencia a la pérdida de los mismos; dicha pérdida puede ocurrir por migración fundamentalmente a causa de las radiaciones solares y demás fenómenos climatológicos o bien por extracción por el agua del embalse. El caso más común es el primero de los comentados, pero cuando los plastificantes son de buena calidad y la geomembrana está correctamente formulada puede predominar el segundo de los procesos mencionados.

**FIGURA 30.** Microfotografía de PVC-P con inserción de fibra de vidrio en la lámina original de la impermeabilización del embalse de Valle Molina, cuando se observó por la técnica MOR a 40 aumentos.



**FIGURA 31.** Microfotografía de PVC-P con inserción de fibra de vidrio en la lámina original de la impermeabilización del embalse de Valle Molina, cuando se observó por la técnica MEB a 90 aumentos.

**FIGURA 32.** Microfotografía de PVC-P con inserción de tejido de hilos sintéticos procedente del embalse de Los Machos (Lepe-Huelva). La observación por técnica MOR (40 aumentos) se llevó a cabo en la cara externa de una muestra tomada de la coronación del talud norte al cabo de los diez años de su instalación.



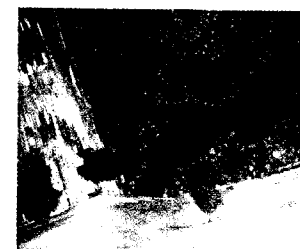
**FIGURA 33.** Microfotografía de PVC-P con inserción de tejido de hilos sintéticos procedente del embalse de Los Machos (Lepe-Huelva). La observación por técnica MEB (90 aumentos) se llevó a cabo en la cara externa de una muestra tomada de la coronación del talud norte al cabo de los diez años de su instalación.

Las figuras 30 y 31 muestran, respectivamente, por microscopía óptica y electrónica el aspecto de la lámina original de un poli(cloruro de vinilo) plastificado con inserción de fibra de vidrio utilizada en el sistema impermeabilizante del embalse de Valle Molina (Tegueste-Tenerife). Se puede apreciar, por ambas técnicas, el buen estado del producto macromolecular original, muy homogéneo y sin defectos superficiales.

La vida media aproximada de este material vinílico suele estar en torno a los diez años. En las figuras 32 y 33 se muestra el estado de una lámina procedente de la balsa de cabecera de la presa de Los Machos analizada microscópicamente; se puede comprobar el grado de deterioro que presenta el material como consecuencia de llevar colocada en obra diez años, es decir, la vida útil media del material.

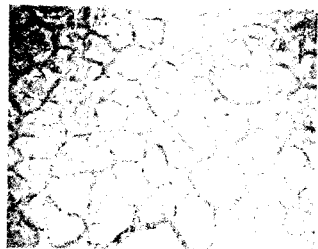
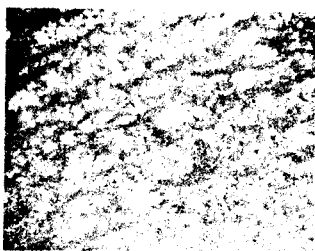
En algunos casos la degradación del material se hace tan patente que la fibra textil de la armadura queda al descu-

**FIGURA 34.** Microfotografía de PVC-P con inserción de tejido de hilos sintéticos procedente del embalse de San Antonio. La observación por técnica MOR (40 aumentos) se llevó a cabo en la cara externa de una muestra tomada de la coronación del talud norte al cabo de los diez años de su instalación.



**FIGURA 35.** Microfotografía de PVC-P con inserción de tejido de hilos sintéticos procedente del embalse de San Antonio. La observación por técnica MEB (90 aumentos) se llevó a cabo en la cara externa de una muestra tomada de la coronación del talud norte al cabo de los diez años de su instalación.

**FIGURA 36.** Microfotografía de PVC-P con inserción de tejido de hilos sintéticos procedente del embalse de Sa Rota (Ibiza). La observación por técnica MOR (40 aumentos) se llevó a cabo en la cara interna de una muestra tomada de la coronación del talud norte al cabo de los nueve años de su instalación.

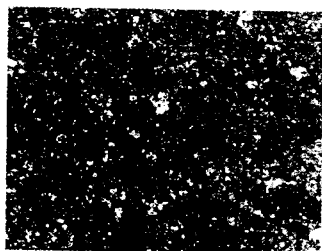


**FIGURA 37.** Microfotografía de PVC-P con inserción de tejido de hilos sintéticos procedente del embalse de Sa Rota (Ibiza). La observación por técnica MOR (40 aumentos) se llevó a cabo en la cara externa de una muestra tomada de la coronación del talud norte al cabo de los nueve años de su instalación.

bierto; es lo que sucede en las fotografías de microscopía óptica y electrónica de barrido de las figuras 34 y 35, respectivamente, relativas al embalse de San Antonio (La Matanza de Acentejo-Tenerife) que como en el caso citado de la balsa de cabecera de la presa de Los Machos, también la geomembrana lleva instalada diez años.

La cara externa situada a la intemperie está mucho más deteriorada que la que se encuentra en contacto con el soporte como lo demuestran los análisis por microscopía óptica de reflexión (figs. 36 y 37) y microscopía electrónica (figs. 38 y 39). Las muestras consideradas provienen del embalse de Sa Rota, ubicado en Santa Eulalia del Río (Ibiza). Como se puede colegir de las fotografías presentadas, la cara interna es bastante homogénea y presenta una degradación muy inferior a la externa, donde abundan las grietas, descamaciones y un deterioro superficial muy notable.

**FIGURA 38.** Microfotografía de PVC-P con inserción de tejido de hilos sintéticos procedente del embalse de Sa Rota (Ibiza). La observación por técnica MEB (90 aumentos) se llevó a cabo en la cara interna de una muestra tomada de la coronación del talud norte al cabo de los nueve años de su instalación.



**FIGURA 39.** Microfotografía de PVC-P con inserción de tejido de hilos sintéticos procedente del embalse de Sa Rota (Ibiza). La observación por técnica MEB (90 aumentos) se llevó a cabo en la cara externa de una muestra tomada de la coronación del talud norte al cabo de los nueve años de su instalación.

**FIGURA 40.** Microfotografía de PVC-P con inserción de tejido de hilos sintéticos procedente del embalse de Sa Rota (Ibiza). La observación por técnica MOR (40 aumentos) se llevó a cabo en la cara externa de una muestra tomada de la coronación del talud sur al cabo de los nueve años de su instalación.



**FIGURA 41.** Microfotografía de PVC-P con inserción de tejido de hilos sintéticos procedente del embalse de Sa Rota (Ibiza). La observación por técnica MEB (90 aumentos) se llevó a cabo en la cara externa de una muestra tomada de la coronación del talud sur al cabo de los nueve años de su instalación.

Otro fenómeno de gran relevancia que influye en la degradación es la orientación a que está sometido el material en el embalse. Para hacerse una idea basta comparar las figuras 37 y 39 procedentes de la coronación en la zona norte con las equivalentes extraídas del área sur (figs. 40 y 41).

## 5. COMENTARIOS

- 1.- La línea de investigación que viene llevando a cabo el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) en colaboración con los Cabildos Insulares de Tenerife y La Palma, a través del Organismo Autónomo Local Balsas de Tenerife (BALTEN) y de la Dirección General de Obras Hidráulicas y Calidad de las Aguas de la Secretaría de Estado de Aguas y Costas del Ministerio de Medio Ambiente se basa en el estudio de materiales macromoleculares que puedan ser susceptibles de empleo en la impermeabilización de embalses, canales, presas, depósitos, vertederos y otras aplicaciones de la Obra Hidráulica.
- 2.- En el caso particular de las balsas o en la terminología actual embalses o, incluso, grandes presas por estar englobados dentro del reglamento correspondiente (20,21) se están evaluando una gran variedad de materiales, tanto termoplásticos como elastómeros. Además el CEDEX en su intensa colaboración con BALTEN tienen un campo experimental situado en el sur de la isla de Tenerife donde se está siguiendo el comportamiento de nuevos materiales con vistas a su futura implantación en nuestro país, si los resultados son favorables.
- 3.- Todos los materiales implicados son analizados inicialmente según los ensayos recomendados en la vigente normativa y de otros importantes con vistas a un seguimiento periódico. En el tiempo, se van extrayendo muestras de los distintos materiales y se procede a su análisis para conocer su estado en cada momento. Dichos análisis implican la utilización de pequeñas cantidades de geosintéticos, ya que si se extrajera una gran cantidad las láminas de los probetarios se agotarían y si se tomaran de la propia impermeabilización del embalse se llegaría a un momento donde la discontinuidad de la impermeabilización superaría a la continuidad del sistema impermeable de la pantalla.



- 4.- Como consecuencia de esa escasez de material, además de los ensayos clásicos imprescindibles se están llevando a cabo otras pruebas que puedan detectar fallos en el polímero; entre estas nuevas pruebas figuran las de carácter microscópico.
- 5.- El análisis microscópico se ha efectuado por microscopía óptica de reflexión (MOR) y microscopía electrónica de barrido (MEB), a distintos aumentos. En este artículo, los materiales considerados han sido: polipropileno, copolímero de etileno-acetato de vinilo, polietileno, etileno-propileno-monómero diénico y poli(cloruro de vinilo) plastificado.
- 6.- Los resultados alcanzados a nivel microscópico confirman los datos obtenidos por los procedimientos tradicionales, observándose una degradación de los materiales a medida que avanza el tiempo de instalación, como consecuencia del envejecimiento que tiene lugar en todo producto de naturaleza orgánica.
- 7.- Una ventaja de esta analítica es la utilización de pequeñas cantidades de material que son suficientes para determinar el estado del arte del material en un momento concreto y poder tomar así las medidas necesarias como protección, reimpermeabilización o cualquier otra que conduzca a la eliminación de riesgos tanto económicos como personales.
- 8.- Los estudios microscópicos ya sea por vía óptica de reflexión, ya sea por «scanner» indican el mayor grado de deterioro de la cara externa sometida a las acciones de la intemperie con relación a la interna en contacto con el soporte. Asimismo, se pone de manifiesto la acción de la degradación mucho más patente en los materiales extraídos en el talud norte de los embalses.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- 1.- NAVARRO, A.; BLANCO, M. y RICO, G.- «*Materiales Ópticos Orgánicos*» AAEUO, Madrid (1989).
- 2.- RODRÍGUEZ DE SANCHO, I.; BLANCO, M.; MONTERO, L.; HERNÁNDEZ, D. y PARGADA, L.- «*Nuevos métodos analíticos avanzados para investigación y desarrollo de materiales en Ingeniería Civil*» An. J. Eng. Estruct. 5, 137-148 (1991).
- 3.- ORTEGA, J. J.; BLANCO, M. CUEVAS, A. y BARBA C.- «*Efecto de las radiaciones U.V. sobre el poli(cloruro de vinilo) plastificado*» Rev. Plast. Modernos 49 (346) 461-464 (1985).
- 4.- AGUIAR, E.; BLANCO, M.; LEIRO, A.; SOLERA, R. y SORIANO, J.- «*Comportamiento en obra de los materiales sintéticos utilizados como impermeabilizantes en embalses ubicados en la Comunidad Autónoma de Canarias*» XXIX Jornadas Sudamericanas de Ingeniería Estructural. Punta del Este (Uruguay), (Noviembre 2000).
- 5.- SORIANO, J., PEÑA, J. A. de la y MARFIL, R. «*Aplicación de la microscopía óptica y electrónica de barrido al estudio de los procesos de alteración diagenética de rocas volcánoclasticas*». Cuadernos de Investigación CEDEX, C-1. Madrid, (1981).
- 6.- SORIANO, J. y CAMPO, M. del «*El sistema microscopio electrónico de barrido -espectrómetro de dispersión de energía de rayos X. Aplicación al estudio del cemento*». Revista de Obras Públicas, 3205, 549-556. (1982).
- 7.- SORIANO, J.; BARBA, C. y CAMPO, M. del. «*Estudio morfológico de minerales de arcilla mediante tratamiento de imagen en microscopía de barrido*». Bol. Soc. Esp. Mineralogía, 8, 49-56. (1985).
- 8.- UNE 104 303.- *Materiales sintéticos. Láminas de poli(cloruro de vinilo) plastificado, PVC-P, con o sin armadura, no resistentes al betún, para la impermeabilización de embalses, depósitos, piscinas, presas y canales para agua. Características y métodos de ensayo.*
- 9.- UNE 104 300.- *Materiales sintéticos. Láminas de polietileno de alta densidad (PEAD) para la impermeabilización en obra civil. Características y métodos de ensayo.*
- 10.- UNE 104 308.- *Materiales sintéticos. Láminas de elastómeros, sin refuerzo ni armadura para la impermeabilización. Características y métodos de ensayo.*
- 11.- BLANCO, M.; CUEVAS, A. y ZARAGOZA, G.- «*Características de geomembranas sintéticas empleadas en la impermeabilización de embalses en el sur y sureste de la Península Ibérica*». Ing. Civil 111 85-95 (1998).
- 12.- BLANCO, M.; ZARAGOZA, G. y AGUIAR, E.- «*Características de las geomembranas sintéticas de uso común en España, utilizadas en la impermeabilización de embalses considerados grandes presas por la legislación vigente*». Proc. V Jornadas Españolas de Presas Vol. I, 465-474 Torremolinos (Málaga) (1999).
- 13.- BLANCO, M.; LEIRO, A.; AGUIAR, E. y ZARAGOZA, G.- «*Características de geomembranas sintéticas de distinta naturaleza utilizadas en la impermeabilización de embalses*» Proc. V Congreso de Patología de la Construcción y VII de Control de Calidad, 1, 1107-1114. Montevideo (Uruguay) (1999).
- 14.- BLANCO, M.; AGUIAR, E. y ZARAGOZA, G.- «*Características iniciales de geomembranas sintéticas de distinta naturaleza utilizadas en la impermeabilización de embalses*» Ing. Civil 120, 77-88 (2000).
- 15.- BLANCO, M. y AGUIAR, E.- «*Comportamiento de láminas de poli(cloruro de vinilo) plastificado, utilizadas en la impermeabilización de balsas en el Norte de Tenerife*» Ing. Civil 88 5-20 (1993).
- 16.- AGUIAR, E. and BLANCO, M.- «*Experience in Connection with the Performance of Plasticized poly(vinyl chloride) Sheeting in Tenerife Basin Sealing*». Proc. Symposium on «Research and Development in the Field of Dams», 361-375. Crans-Montana (Suiza), (septiembre 1995).
- 17.- BLANCO, M. y AGUIAR, E.- «*Geomembranas sintéticas a base de polietileno de alta densidad utilizadas en la impermeabilización de embalses. Seguimiento de obras en las islas Canarias*». Ing. Civil 109 49-59 (1998).
- 18.- BLANCO, M. y AGUIAR, E.- «*Aspectos más relevantes del comportamiento en obra de los materiales sintéticos utilizados como geomembranas impermeabilizantes de embalses ubicados en la Comunidad Autónoma de Canarias*» Ing. Civil 117 25-35 (2000).
- 19.- BLANCO, M.- «*Las geomembranas sintéticas en la impermeabilización de embalses. II. Seguimiento*» Curso de Técnicas y Utilidades de Aplicación de los Plásticos en el Sector Agropecuario. Santa Cruz de la Sierra (Bolivia) (1998).
- 20.- ZARAGOZA, G.- «*El reglamento técnico sobre seguridad de presas y embalses*» Jornadas sobre utilización de geosintéticos en impermeabilización de embalses. Murcia (1996).
- 21.- ZARAGOZA, G.- «*El reglamento técnico sobre seguridad de presas y embalses*» Jornadas sobre experiencias en la impermeabilización de embalses con materiales sintéticos. Alicante (2001).