

LA TECNOLOGÍA DE LA IMPERMEABILIZACIÓN DE EMBALSES O CONSTRUCCIÓN DE LA BARRERA ESTANCA DE GRANDES SUPERFICIES

DRAHEIM, Harro

Dipl. Ing.
CELESUR, *Sistemas de Impermeabilización, S.L.U.*
E – 03300 ORIHUELA – Alicante
Tel. + 34 966 740 344; +34 966 744 654
Fax + 34 966 740 376
Correo – e: celesur@celesur.com
Pag. web: www.celesur.com

1.- LA TÉCNICA DE LA INSTALACIÓN PARA CONSTRUIR BARRERAS GEOSINTÉTICAS ESTANCAS

Entendemos como barrera estanca, la cobertura interior de un vaso, que suele ser un recipiente excavado en el suelo, con o sin estructuras de hormigón, o el de una superficie plana o inclinada, preparada para el almacenamiento de agua residuos sólidos de cualquier naturaleza o efluentes líquidos contaminantes.

Dicha barrera estanca se construye hoy de geomembranas de polietileno de alta densidad (PEAD), una membrana en uso desde los años 1980, que se ha afianzado, como material por excelencia, donde se requiere *resistencia mecánica y larga duración* de servicio. No obstante de ello, el mercado ha experimentado láminas geosintéticas de diversa naturaleza (Mineral natural, arcilla compactada, hormigón, o láminas sintéticas de PEBD, PVC, EPDM).

Habiendo dicho '*resistencia mecánica de la membrana*' y '*larga vida*' de la misma, ambos son interrelacionados entre sí y constituyen dos conceptos, de los que nos vamos a ocupar en las próximas comunicaciones. Una problemática de gran interés para todo promotor o inversor.

1.1. PORQUE NOS PREOCUPA LA RESISTENCIA MECÁNICA DE UNA BARRERA ESTANCA

Toda barrera estanca, construida de láminas sintéticas es, ni más ni menos, una *película*, en su función impermeabilizante (generalmente de 1,5 a 2 mm de espesor), una capa muy resistente, pero vulnerable, si ese material es sometido a acciones que sobrepasan sus límites de resistencia.

Típicos ejemplos:

- la agresividad del propio medio, que tiene que contener el vaso o recipiente;
- la influencia del Medio Ambiente, rayos UV, cambios de temperatura exterior, o interior si el medio es un reactor;
- comportamiento del suelo o de la superficie (punzónamientos por cantos de piedras o rocas, desgaste por fricción en superficies ásperas (pe. hormigón), tensiones que originan suelos no homogéneos, etc.), que soporta la geomembrana de la barrera estanca;
- presiones externas, que origina el agua o gases terrestres, en caso de excavaciones;
- tensiones producidas por asentamientos diferenciales del suelo o soporte;
- tensiones, que se originan debido a los cambios de temperas, o producidas por fricciones que sufre la lámina en los procesos de carga o explotación;
- otros más.

1.2.-DETALLES DE INTERÉS EN LA FASE DE CONSTRUCCIÓN DE LA BARRERA ESTANCA

Son cuatro los procedimientos, relacionados entre si, de cuya relevancia y profesionalidad de ejecución, nos ocuparemos a continuación.

- I. SELECCIÓN DEL MATERIAL GEOSINTÉTICO PARA LA CAPA IMPERMEABILIZANTE;
- II. SELECCIÓN DE LAS CAPAS COMPLEMENTARIAS, PARA EFECTOS DRENANTES Y DE PROTECCIÓN MECÁNICA DE LA CAPA IMPERMEABILIZANTE;
- III. LA TÉCNICA DE LA INSTALACIÓN;
- IV. CONTROLES DE CALIDAD DURANTE EL PROCESO DE INSTALACIÓN.

I. SELECCIÓN DEL MATERIAL DE LA CAPA IMPERMEABILIZANTE:

En la construcción de embalses, es la geomembrana de polietileno de alta densidad (PEAD), de un $\delta \geq 0,94$, el geosintético por excelencia, demostrado a lo largo de su uso en los últimos 30 años.

Su resistencia química, es excelente, así como su comportamiento en coberturas no protegidas.

Es obvio que su calidad es el factor relevante, un detalle que es responsabilidad de cada fabricante y certificado por este, para cada panel de membrana suministrado.

Los parámetros y valores que determinan la calidad del producto se controlan con ensayos, definidas en las normas nacionales (UNE de AENOR) o internacionales (ASTM, DIN, otros).

La normativa más avanzada y quizás la mas completa, es la *Especificación para geomembranas de PEAD, 'GM 13'*, elaborada, por el Instituto de Investigación para Geosintéticos en Falsom, PA. EE.UU.

Extractos de los trabajos de investigación y sus conclusiones, relacionados con esta especificación, fueron presentados por Prof. Dr. Robert M. Koerner, director de dicho instituto, durante su conferencia en Oct. 2004, en la sede del CEDEX. (1)

Dr. Koerner agrupa las propiedades (12) de la membrana de PEAD en tres calidades y razona en sus ponencias el porque, de cada forma de ensayo.

Los ensayos son el referente del fabricante para controlar cada propiedad y el comportamiento del material de la membrana, es decir, si su formulación es adecuada.

Entendemos que todos los geosintéticos son formulaciones, siendo la resina apropiada y sus aditivos (antioxidantes en el caso del PEAD), los componentes que aseguran una alta calidad de producto y por lo tanto larga vida de servicio. (2), (3)

Cualidad física

- I. espesor
- II. densidad

Cualidad mecánica, resistencia

- III. - a la tracción
- IV. - al desgarro
- V. - al punzonamiento
- VI. - al cuarteamiento por tensiones en Medio Ambiente activo

Propiedades de duración

- VII. contenido en negro de carbono
- VIII. negro carbono, su dispersión
- IX. tiempo de inducción a la oxidación (OIT)
- X. envejecimiento térmico
- XI. resistencia UV.

II. SELECCIÓN DE LAS CAPAS COMPLEMENTARIAS, PARA EFECTOS DRENANTES Y DE PROTECCIÓN MECÁNICA DE LA CAPA IMPERMEABILIZANTE.

La barrera estanca requiere, para asegurar su función:

Ila) protección contra acciones mecánicas por ambas caras (una sola, al tratarse de líquidos);

Ilb) que no sufra tensiones, que pueden causar acciones externas, como pe. sub presiones por agua o gases o tensiones por carecer de lastre.

En proyectos de embales se instalan por debajo de la membrana:

- capas drenantes (de productos minerales o geosintéticos), su función es el desvío del agua y/o gases, procedentes del exterior y la de neutralización de la presión (no deseada para la membrana), que estos pueden originar;
- capas de geocompuestos sintéticos, que hacen la función drenante, anteriormente mencionada y la vez la protección de la membrana contra acciones mecánicas, así como de capa neutralizadora entre geomembrana y suelo; (4)
- capas de geotextil, como elemento antipunzonante entre el suelo y la geomembrana, así como de protección contra acciones mecánicas por parte de componentes rígidos inherentes al suelo.
- Red de sensores para el control y detección eléctrica de fugas.

En balsas que acumulan cantidades de fangos o residuos sólidas, se protege la cara superior de la membrana con capas de geocompuestos o combinaciones de estos en combinación con soleras de hormigón o capas minerales (grava).

III. LA TÉCNICA DE LA INSTALACIÓN

Sus fases son:

- III A. LA PREPARACIÓN DEL SUELO;
- III B. LA COLOCACIÓN DE SUBCAPAS;
- III C. EL DESPLIEGUE DE LAS GEOMEMBRANAS;
- III D. DETALLES CONSTRUCTIVOS EN RELACIÓN AL ANCLAJE DE LA MEMBRANA Y TUBERÍA DE UN VASO;
- III E. LA SOLDADURA TÉRMICA;
- III F. CONTROLES DE CALIDAD DURANTE EL PROCESO DE INSTALACIÓN;

III A. LA PREPARACIÓN DEL SUELO.

Primeramente tenemos la formación del vaso y el perfilado del fondo y los taludes interiores. Acto seguido se procede a la homogenización de la superficie, exenta de aristas o materiales gruesos, de blandones, o áreas con demasiada humedad.

Si la textura del fondo o paredes no es adecuada y puede producir punzónamientos, es necesario aportar una capa de homogeneización a base de materiales finos, que contengan algo de arcilla, y no sean arenas.

Es muy importante que la arista interior de la coronación, que soportará el anclaje de la lámina, esté perfectamente perfilada a fin de que, al impermeabilizar, las tracciones a que esté sometida la lámina se repartan uniformemente.



Fig. III 01. Talud con acabado deficiente



Fig. III 02. Superficie deficiente

III B. LA COLOCACIÓN DE SUBCAPAS.

Se colocan las subcapas (léase Ila y IIb) del tipo que marca el proyecto de la obra.

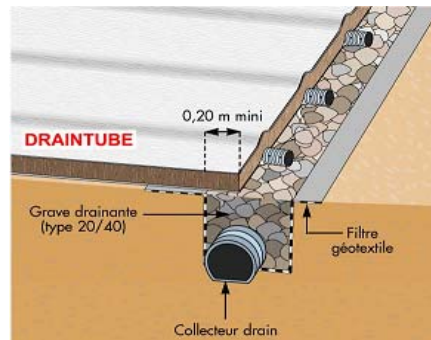
Advertencia:

Cuando un vaso esté, en parte o total, ubicado en la ladera de un monte y haya el riesgo de que, a consecuencia de las excavaciones, afloran aguas freáticas.

Dichas aguas, si no son desviadas propiamente mediante geocompuestos sintéticos, pueden provocar bolsas o crear presiones negativas que causan la rotura de la geomembrana.



Fig. III 03. Subcapa de geocompuesto drenante y de protección, colector de drenaje



III C. EL DESPLIEGUE DE LAS GEOMEMBRANAS.



Fig. III.1 Corte de la geomembrana

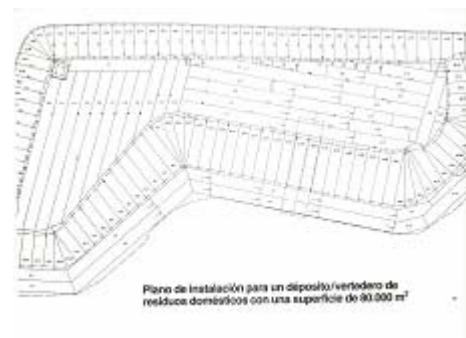


Fig. III 2 Reparto de los paneles

En esta fase se procede primeramente al corte de los paneles, procedentes de fábrica, adaptándolos a la geografía del terreno.

No se sitúan uniones transversales en taludes, y se evitan procediendo de forma profesional en el despliegue, zonas donde la geomembrana sufre tensiones.

La geomembrana sometida a tensiones constantemente, que es causante del efecto, arrastre de su micro estructura, pierde propiedades mecánicas, a lo largo del tiempo.

Una zona critica en este sentido, son los taludes, básicamente en cuanto su longitud y el ángulo de pendiente!

Otro aspecto crítico en evitación de tensiones no deseadas, es el comportamiento de la membrana geosintética en la época de calor.

Su elevado coeficiente de dilatación ($\alpha \pm 150 \times 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C}$), es el causante de fuerte cambios lineales

($\Delta l = L_2 - L_1 = \alpha L_1 (t_2 - t_1)$) (m) entre día y noche.

Un factor sensible, que dificulta las labores de unión de las secciones de paneles, que puede ser corregido aplicando un sistema adecuado de acopio y acondicionamiento de los mismos.

Un factor adicional con el que se enfrenta el instalador, pero que no incide directamente en la calidad de la instalación, es el viento reinante en la fase del despliegue, si no se produce algún accidente causado por el.

III D. DETALLES CONSTRUCTIVOS EN RELACIÓN CON EL ALANCLAJE DE LA MEMBRANA Y TUBERÍA DE UN VASO.

En principio el instalador de la barrera estanca respetará las formas constructivas, que marca el proyecto.

De todos ellos, son de particular interés:

- a) - la forma de anclaje de la membrana en la coronación del talud;
- b) - las conexiones tubería de salida con la barrera estanca.

La norma UNE 104425:2001 en su artículo 5.2.4 Anclajes, fija algunas formas de anclaje en la coronación del vaso y determina ejecuciones de traspasos de tubería, en cuanto a su unión con la geomembrana.

La salida por el fondo, tal como propone la citada norma, su fig. 6, es la forma constructiva, que contribuye, por diversas razones, a la buena calidad de una barrera estanca. Además habría que incidir en la conveniencia de hacer fijaciones perimetrales a las piezas especiales con materiales reforzados y unas fijaciones que hacen la transición entre estas y las propias piezas especiales con las tolerancias adecuadas.



Fig. III 3a Anclaje de la membrana en una balsa



Fig. III 3b Talud con zanja de anclaje

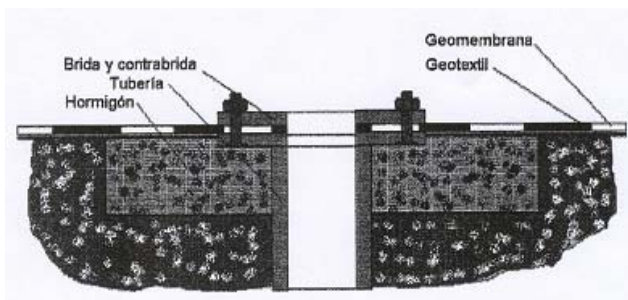


Fig. III 4. Unión con sistema de brida y contrabrida

III E. LA SOLDADURA TÉRMICA

Para su unión se solapan los paneles, en regla general, 10 cm y se procede a la soldadura doble, con canal de pruebas.

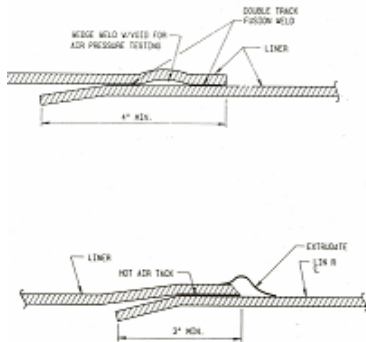


Fig. III 5 Uniones a) solape con canal de prueba, b) soldadura con aporte por extrusión

La fusión de las uniones solapadas (soldadura en un campo térmico, alrededor de 400 °C) se realiza:

- i) - con dispositivos de aire caliente,
- ii) - con cuña calentada eléctricamente,
- iii) - con el aporte de un cordón de PEAD en caliente, es el procedimiento 'soldadura por extrusión'.

i) **Fusión con dispositivo de aire caliente.**
eléctricamente.



Fig. III 6 Soldadura mediante máquina con dispositivo de fusión mediante aire caliente

ii) **Fusión con cuña calentada**

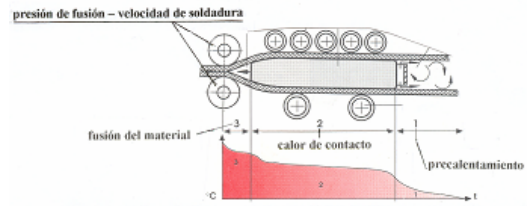


Fig. III 7 Gráfico, proceso de calentamiento y fusión

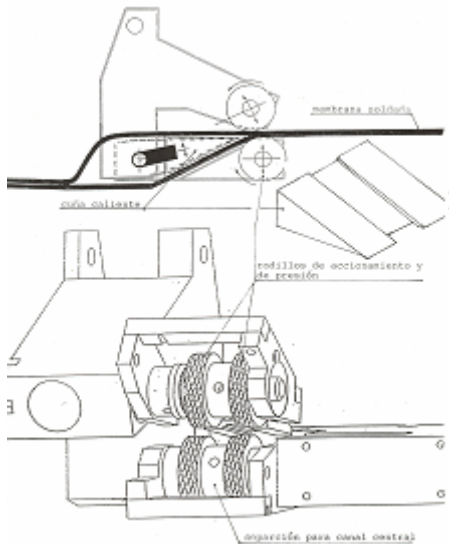


Fig. III 8 Dispositivo de cuña caliente

El objeto de la soldadura, tanto con calentamiento por aire como con cuña eléctrica es, conseguir una fusión de dos paneles eficaz, cuya resistencia sea igual o superior a la característica de la propia geomembrana y cuya estanqueidad puede ser verificada mediante aire a presión, sirviéndose del espacio libre entre dos soldaduras.

Para ello el sector dispone de máquinas portátiles de dispositivo de soplado de aire o de de cuña caliente, sobre la cual deslizan las dos membranas a fundir.

Un factor crítico son los parámetros de soldadura

- la temperatura del aire o de la cuña,
- la velocidad de avance,
- la presión de sus rodillos, que fusionan las superficies en contacto.

iii) **Fusión con aporte de un cordón de PEAD en caliente, soldadura por extrusión.**

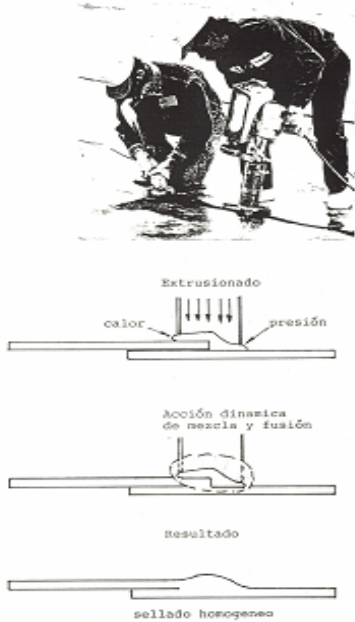


Fig. III 9 Soldadura por extrusión

IV. CONTROLES DE CALIDAD DURANTE EL PROCESO DE INSTALACIÓN.

En toda obra de ingeniería, el 'Control de Calidad extensivo', es una característica, que distingue al constructor o instalador cualificado y responsable, de una barrera estanca.

El Control de Calidad de la barrera estanca, es parte de cada fase del proceso de instalación (III A; III B; III C y III E):

III A: CONDICIÓN DE ACABADO DEL SUELO

1º paso de Control de Calidad:

- verificación de la homogeneidad y correcta adecuación para el despliegue de las subcapas y geomembrana.

III B y III C: DURANTE LA INSTALACIÓN

2º paso de Control de Calidad:

- registro de los paneles suministrados, su acumulación de los certificados de control del fabricante.

3º paso de Control de Calidad:

- después del despliegue de las membranas, anotación de la posición de los paneles en el terreno.

III E: DURANTE LA SOLDADURA

4º paso de Control de Calidad:

- control (cada inicio de jornada) de los 3 parámetros de la soldadura por fusión y su verificación en situ, mediante ensayos mecánicos de rotura de la respectivas probetas.
- Este procedimiento de ensayos de control cubre el 100% de las soldaduras.



Fig. IV 10 Ensayo in situ de muestras de soldadura, soldadura.

Tipo de rotura	Descripción de la rotura	Clasificación
 Dirección de cizalla ->	Fallo de adhesión.	Incorrecta
 Dirección de cizalla ->	Rotura en la geomembrana.	Correcta
 Dirección de cizalla ->	Rotura en el extremo exterior de la soldadura. La rotura puede ser en la geomembrana superior o inferior.	Correcta
 Dirección de cizalla ->	Rotura en el extremo interior de la soldadura.	Correcta
 Dirección de cizalla ->	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. IV 11 Clasificación de uniones de UNE 104421:1995

III E: AL FINAL DE LA SOLDADURA

5º paso de Control de Calidad:

- el instalador verificará las uniones soldadas visualmente y realizará pruebas de estanqueidad de las mismas, mediante aire a presión.



Fig. IV 12 Prueba de estanqueidad de una unión, con aire

3.- CONTROLES DE LA INTEGRIDAD DE LA BARRERA ESTANCA CONSTRUIDA CON GEOMEMBRANAS DE PEAD

La detección de fugas, de la barrera estanca, al final del proceso de instalación, con todas sus capas complementarias (geotextil de protección, capa de drenaje) y tubería de conexión y descarga, es un proceso esencial de un control de calidad riguroso!

Al ser esa barrera sintética el acumulador o conductor de los flujos, dicho control de calidad puede ser realizado mediante verificaciones en una cara, de la misma.

La experiencia nos ha enseñado, que el grosor de daños ocurre, cuando se cubre la geomembrana con grava drenante, otras fugas ocurren en rincones de un vaso o en conexiones de tubería.

Una publicación (5) referente a 150 verificaciones geoelectricas, en > de 1.5 millón de m², revela una media encontrada, de 17,4 perforaciones/ha.

3.1.- TÍPICAS PERFORACIONES ENCONTRADAS

- cortes o punzónamientos de la membrana, originados por cantos/aristas de piedras de la grava drenante, al recibir presión de las ruedas de una máquina o camión, o a la inversa, causadas por puntos fijos (piedras) o puntos blandos del subsuelo;
- como la geomembrana produce ondas de dilatación durante el calor del día, se observan daños causados por los dientes un máquina excavadora o giro de sus ruedas, en ella;
- en el geotextil de protección, procedente de un sistema de agujeteado, que a veces contiene agujas rotas, que pinchan;
- traspasos de tubería, pueden contener fugas en la unión con la geomembrana;
- otro grupo de perforaciones, son los que causan las personas relacionadas con las labores (fallos humanos), de la impermeabilización y sus capas complementarias;
- roturas producidas por contracciones a causa de temperaturas, una posible consecuencia de un exceso de tensiones que tiene que soportar la geomembrana, que se originan al soldar módulos dilatados, que al contraerse tienen un desarrollo inferior al de la base sobre la que se apoyan.



Fig. 13 Daño en la geomembrana, producido durante la instalación de la capa drenante



Fig. 14 Daño en la membrana, zona tubería de drenaje



Fig. 15 Perforaciones causadas por cortes de piedras

3.2.- TECNOLOGÍA ELÉCTRICA DE DETECCIÓN DE FUGAS.

Su tecnología de búsqueda de anomalías (fugas o daños de la membrana) se sirve de la analogía entre el flujo del agua y el de la corriente eléctrica. Ambos flujos, el del agua y el de la corriente se orientan en la dirección de la mínima resistencia.

El principio detrás de esta tecnología consiste, en crear en toda el área de la geomembrana un campo eléctrico y detectar, mediante medición de su diferencial entre dos puntos, por donde fluye o traspasa la barrera, corriente eléctrica, que a su vez es el lugar de alguna discontinuidad o anomalía.

Cuando se aplica un potencial eléctrico en toda la extensión de la geomembrana, que es la barrera entre al líquido a retener y el suelo, es esencial que la misma actúe de aislante de la corriente.

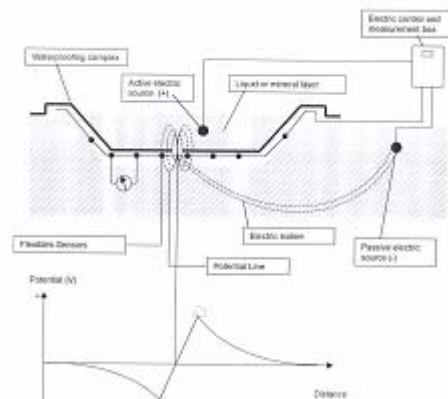


Fig. 16 Principio eléctrico de detección de fugas, variante, sistema fijo.

3.3.- LOS MÉTODOS ELÉCTRICOS DE DETECCIÓN DE FUGAS EN USO.

X. En barreras geosintéticas estancas de membranas no cubiertas:

- Tecnología de alto voltaje electromagnética.

XX. En barreras geosintéticas cubiertas de capas minerales o agua:

- Tecnología de detección de fugas, sistema móvil.

XXX. En barreras geosintéticas, cubiertas de capas minerales o agua:

- Tecnología de detección de fugas, sistema fijo.

X. Tecnología de alto voltaje electromagnética para la verificación de fugas en geomembranas no cubiertas.



Fig. 17a El verificador de fugas en acción, sobre geomembranas descubiertas



Fig. 17b El verificador detectando una perforación

XX. Tecnología de detección de fugas sobre geomembranas cubiertas, móvil.

El operario desplaza un conjunto de sensores a lo largo de unas coordenadas, artificialmente trazadas. La medición consiste en registrar diferencias del potencial eléctrico Ω , de punto en punto, cuyo dato se muestra alterado, cuando hay alguna anomalía.



Fig. 18 Esquema del dispositivo de detección, portátil



Fig. 19 Detectando fugas, con sensores móviles



Fig. 20 Detectando fugas con sensores móviles, en embalse

XXX. Tecnología de detección de fugas en barreras geosintéticas cubiertas, sistema fijo.

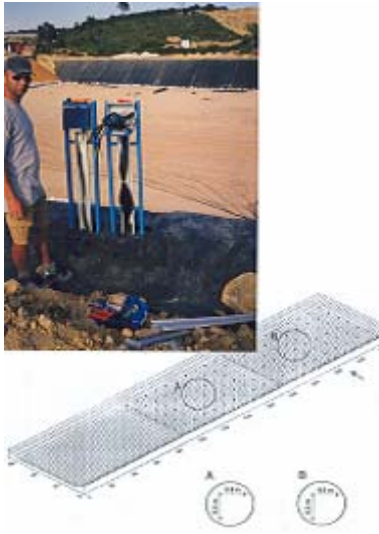


Fig. 21 Red de sensores, cuadros de conectores

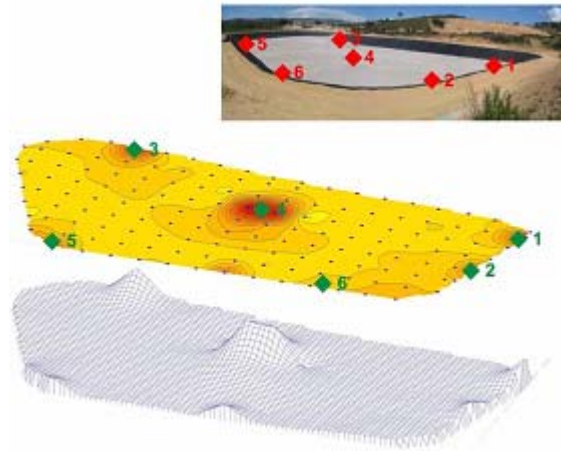


Fig. 22 Presentación (en 2 y 3 d) de la posición de anomalías o fugas en la geomembrana

En resumen, los sistemas eléctricos de detección de fugas han demostrado su validez. Toda barrera estanca, construida de geomembranas, que son vulnerables, en particular, a la instalación de capas de grava, deberá ser supervisada mediante esta tecnología.

Dicha tecnología de detección de fugas, aplicada a continuación de la instalación de las geomembranas, es un sustituto viable a los ensayos de control, no destructivo, de las juntas de unión.

4.- BIBLIOGRAFÍA

- 1.- KOERNER, ROBERT, M., Dr. *Conferencia sobre usos de geosintéticos en vertederos.* CEDEX, Madrid, 1.10. 2004
- 2.- KOERNER, ROBERT, M. Dr. *Video & Internet Conference on Geomembranas,* Geosynthetic Institute, EE.UU. 03. 2004
- (3.- DRAHEIM, HARRO, Dipl. Ing. *Serie,...con el agua no se juega ... parte II* Revista *Agua@Ambiente*, edición I, 2005
- 4.-ARAB, R. & DURKHEIM, Yves *Landfill Drainage Systems,* Geosynthetics - 7th ICG, Nice 2002, página 745
- 5.-ROLLIN, A. L. *Lessons learned from geo-electrical leak surveys.*Geosynthetics - 7th ICG, Nice 2002, página 572