

# Ventajas del uso de geomembranas LLDPE en cubiertas flotantes

JOSÉ MIGUEL MUÑOZ GÓMEZ (\*)

**RESUMEN** El uso de cubiertas flotantes en balsas de riego y residuos tiene numerosas ventajas. Siendo una inversión muy interesante para aquellos lugares donde el ratio de evaporación alto. Es un sistema que aparte de sencillo, mejora determinados aspectos de la irrigación y de los embalses de agua potable, como es el ahorro de agua y los trabajos de limpieza (tiempo y coste).

Se usa también para el control de malos olores en embalses de residuos.

Además del PVC y el TPO, ahora las láminas de LLDPE mejoran las propiedades para este tipo de aplicaciones, ahora con las láminas de LLDPE se mejoran las propiedades mecánicas, la durabilidad, y consta de una instalación más sencilla.

Este documento profundiza en este novedoso sistema e informará de los resultados de nuestra experiencia.

## ADVANTAGES OF FLOATING COVERS WITH LLDPE LINERS

**ABSTRACT** *Using floating covers in irrigation pounds and waste dam gives many advantages. It is a very interesting investment for those places with a high evaporation ratio. This is an easy system which improves several aspects in irrigation or drinkable water reservoirs, mainly it saves water and it saves clean-works (time and cost). It is also used in waste dam to deodorization. Time ago this application was developed with PVC liners and TPO liners, now the innovation is LLDPE liners which improve mechanical properties, durability and an easier installation. This paper develops the state of art of this design technology, and the back ground of our experience.*

**Palabras clave:** Evaporación, Cubierta flotante LLDPE, Flotadores, Contrapesos, Aireadores y arquetas.

**Keywords:** Evaporation, LLDPE Floating Cover, Floats, Balance weight, Air valve and chest.

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. EVAPORACIÓN

La evaporación es un proceso físico que consiste en el paso lento y gradual de un estado líquido hacia un estado gaseoso, tras haber adquirido suficiente energía para vencer la tensión superficial.

A diferencia de la ebullición, la evaporación se puede producir a cualquier temperatura, siendo más rápido cuanto más elevada es esta.

La evaporación depende principalmente de la temperatura y de la naturaleza del líquido.

### 1.2. FENÓMENO FÍSICO

El movimiento térmico de una molécula de líquido debe ser suficiente para vencer la tensión superficial y evaporar, esto es, su energía cinética debe exceder el trabajo de cohesión aplicado por la tensión superficial a la superficie del líquido.

Por eso la evaporación acontece más rápidamente a altas temperaturas, a altos caudales entre las fases líquidas y vapor, y en líquidos con bajas tensiones superficiales (con presión de vapor más elevadas).

## 2. ECUACIONES EMPÍRICAS

### 2.1. EVAPORACIONES DESDE SUPERFICIES LÍQUIDAS

Desde un punto de vista estadístico, para conocer la evaporación en un determinado lugar con una mínima exactitud, se debe medir la evaporación durante al menos 15 años.

En la mayoría de los casos esto conlleva cierta dificultad, por lo que ha llevado a numerosos investigadores a analizar fórmulas empíricas, que permitan rápidamente llegar a un resultado lo más aproximado posible.

Una de las ecuaciones matemáticas más simples para determinar la evaporación en un lago o embalse es la fórmula propuesta por Visentini. Esta se aplica para conocer aproximadamente este valor en una superficie líquida situada cerca del nivel del mar, a un máximo de 700m y considerando una presión atmosférica de 760mm de columna de mercurio.

Las fórmulas empíricas propuestas por Visentini son:

$E = 75 * t$  (para lagos o embalses con cota inferior a 200 m sobre el nivel del mar).

$E = 90 * t$  (para lagos o embalses con cota entre 200 – 500 m sobre el nivel del mar).

$E = 90 * t + 300$  (para lagos o embalses con cota superior a 500 m sobre el nivel del mar).

(\*) Ingeniero Industrial (Esp. Química). Product Manager Geosynthetics Division. Sotrafa, S.A. (Grupo Armando Álvarez), Almería, Spain.  
E-mail: jmm-construccion@sotrafa.com

Donde:

E: Evaporación anual en mm.

t: Temperatura media anual en grados celsius.

Nótese que, en un lugar con una temperatura media de 10°C, la evaporación será entre 750 mm y 1.200 por año, es decir de aproximadamente 2 a 3 mm por día.

Considerando que en la evaporación juegan otros roles importantes, como son la temperatura del agua, la temperatura del aire, el viento, la insolación, etc... otros investigadores han propuesto fórmulas empíricas más complejas y más difíciles de usar.

## 2.2. MODELOS MATEMÁTICOS

La evaporación (E) en grandes superficies de agua (lagos, embalses, canales,...) se ha estudiado bajo diferentes métodos.

Estos métodos se pueden agrupar en diversas categorías:

- Balance Hidráulico.
- Balance de la Energía.
- Método de transferencia de masa.
- Método combinado (hidráulico y de energía).
- Evaporación del tanque.

### 2.2.1. Modelo de balance de la energía

Este modelo se basa en el comportamiento isotérmico dentro del agua, considerando estos parámetros: geometría de la presa (superficie y altura); radiación solar global,  $S_t$ ; humedad relativa,  $HR$ ; temperatura del aire  $T_a$ ; y velocidad del viento,  $U$ .

La tasa de evaporación al día (mm/día)  $E$ , puede determinarse por la ecuación de Harbeck:

$$E = 2,909 A^{-0,05} U (e_s - e_a)$$

Donde:

$e_s$ : Presión de vapor de saturación a la temperatura del agua, en kPa.

$e_a$ : Presión de vapor del aire a 2m del nivel del mar, en kPa.

A: Área de la presa en metros cuadrados.

U: Velocidad del viento en m/seg.

## 3. PROBLEMAS Y SOLUCIONES DERIVADAS DE LA EVAPORACIÓN

### 3.1. AREAS MEDITERRÁNEAS

Las regiones áridas tienen un gran problema en relación a la evaporación del agua, debido a la escasez del agua apropiada para la irrigación, agua potable o aplicaciones industriales.

Hay numerosos países en el mundo con esta situación/problema, como Africa, Asia, algunas regiones de México y América del Sur.

Quizás España se puede usar como lugar representativo donde investigar el problema, y esta ponencia se va a centrar en este país.

En el área mediterránea la evaporación media anual es de 1.300 mm al año, pero hay muchas localidades con 1.800 mm.

La actividad agrícola es muy importante, por ejemplo en la zona del río Segura (en el sur-este de España) hay 13.000 embalses de riego, con 5.000 has de superficie de agua. Esto significa que el consumo de agua por evaporación es muy alto, alrededor de 60Hm<sup>3</sup> al año.

### 3.2. SOLUCIONES

Para evitar la evaporación, hay diversos desarrollos tecnológicos, como por ejemplo el uso de cubiertas de sombreo, piezas

sintéticas flotantes sobre la superficie del agua, aceite u otros líquidos añadidos al agua de los embalses, plantaciones de árboles que ayudan a cortar el viento, ...etc.

Entre estas soluciones quizás la mejor podría ser los revestimientos con cubiertas flotantes.

Las ventajas de esta técnica son:

- Evitar la evaporación al 100%.
- Mantener la calidad del agua almacenada.
- Mejor adaptación con los movimientos de la tierra.
- Durabilidad (más de 25 años).
- Coste e instalación más competitivo.
- Posibilidad de andar sobre la superficie.

Además, esta es una solución para un control total del olor (fermentación anaeróbica), en una instalación agrícola o en actividades industriales.

## 4. CUBIERTAS FLOTANTES CON LÁMINAS LLDPE

### 4.1. BASES

Después de instalar la lamina impermeabilizante en el fondo del embalse, habitualmente con Geomembrana PEAD de 1,5 mm o 2 mm de espesor, el segundo paso sería instalar la cubierta flotante, normalmente una lámina LLDPE Blanco / Negro de 1,5 mm de espesor.

Las ventajas de usar láminas LLDPE para cubiertas flotantes en vez de otra tipo de láminas sintéticas son:

- Muy buenas propiedades mecánicas.
- Excelente Resistencia al envejecimiento.
- Mayor ancho (7,5 m) sin soldaduras.
- Coste más competitivo (en producto e instalación).

### 4.2. DISEÑO DE UNA CUBIERTA FLOTANTE CON LLDPE

Para entender mejor el diseño de una cubierta flotante, este documento muestra nuestra experiencia de una instalación en un embalse de riego.

Las medidas del embalse son:

- Borde superior del embalse: 70 x 70 m.
- Altura: 8 m.
- Inclinación de la pendiente: 2H: 1V (26,6°).
- Capacidad: 20.500 m<sup>3</sup>.
- Impermeabilización: 6.400 m<sup>2</sup> de PEAD en 1,5 mm.
- Cubierta Flotante: 6.500 m<sup>2</sup> LLDPE en 1,5 mm

La cubierta flotante tiene la misma superficie en el fondo que la lámina de impermeabilización. Se fija al embalse con hormigón y tornillos (Figuras 1 y 2).

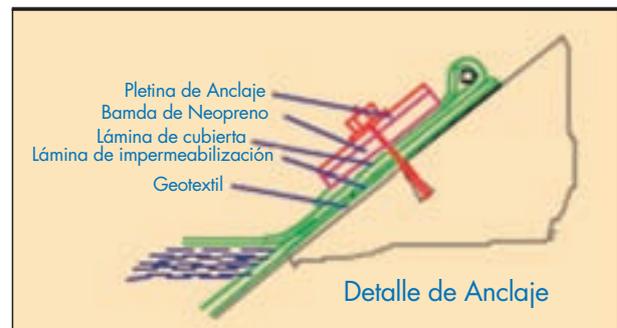


FIGURA 1. Detalle de Anclaje de la cubierta flotante.



FIGURA 2. Fijación de la cubierta flotante al embalse. Dos placas de acero de 80x5 mm y tornillos de 7x13 mm cada 200 mm.



FIGURA 5. Arqueta instalada en la cubierta flotante.

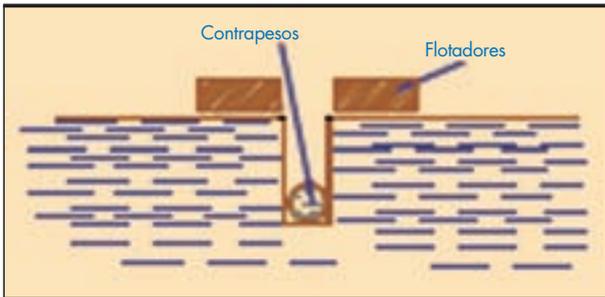


FIGURA 3. Diseño del plegado.



FIGURA 6. Aireador instalado en la cubierta flotante.

La cubierta flotante sube cuando el nivel del agua incrementa y baja cuando el nivel del agua baja (Figura 3).

¿Cómo ocurre esto? La cubierta flotante se debe fabricar con plegados situados en las esquinas y alrededor del fondo.

El plegado lleva dos piezas flotantes y entre estas se sitúa un contrapeso (Figura 3).

La distancia entre las piezas flotantes y el peso depende de la altura del embalse (1 m más o menos).

Una buena solución es un tubo de PEAD Pe100, con 60 mm de diámetro y 12 m de largo, la tapa soldada se haría del mismo material (Figura 4).



FIGURA 4. Detalle de la pieza flotante y el peso.

Es importante tener en cuenta también otras piezas:

Se deberían instalar varias arquetas, con tamaño suficiente para que un buzo pueda entrar en la balsa (Figura 5).

La arqueta está hecha de poliestireno expandido con LLDPE de 1,5 mm de espesor.

Las medidas externas son de 1.500 x 1.500 x 300 mm.

Se deben instalar también aireadores en las pendientes para equilibrar la presión (Figura 6).

El resultado final puede verse en la Figura 7; es una perspectiva global donde pueden verse las piezas flotantes, los contrapesos, arquetas y aireadores.



FIGURA 7. Cubierta flotante con LLDPE de 1,5 mm de espesor y de color Blanco/Negro.

Unidades Instaladas	Precio (€/unidad)	Total (€)
21,6 m <sup>3</sup> hormigón	110	2.376
280 ml placas acero	38,5	10.780
744 ml tubería	8,4	6.250
6500 m <sup>2</sup> lámina LLDPE B/N 1,5 mm	5,1	33.150
Arquetas y Aireadores	2 y 8	3.000
<b>Sub TOTAL</b>	<b>8,55</b>	<b>55.556</b>
Gastos generales y beneficio industrial	15%	9.804
<b>TOTAL OBRA</b>	<b>10,17</b>	<b>65.360</b>

**TABLA 1.** Gastos de una Cubierta Flotante con LLDPE, color Blanco/Negro y en 1,5 mm.

Beneficios	Valor	Beneficios (€)
Evitar la evaporación de 4.900m <sup>2</sup> , a una media de 1,5 m/año, y un coste de agua de 0,39€/m <sup>2</sup>	7350 m <sup>3</sup>	2.866,5
Evitar el mantenimiento de la limpieza de filtros	4.000 €/año	4.000
Calidad de agua sin algas	1.000 €/año	1.000
<b>TOTAL por año</b>		<b>7.866,50</b>

**TABLA 2.** Beneficios al año en un embalse con una superficie de 70 x 70 m.

## 5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVERSIÓN

El siguiente análisis económico, está basado en la geometría del embalse: 70 x 70 m en la parte superior, 8 m alto y una inclinación de 2H: 1V.

### 5.1. GASTOS

Los siguientes costes se basan en precios del 2011, incluyendo material e instalación (Tabla 1).

Estos datos dependerán del tamaño del depósito y del anclaje de la parte superior. El coste medio de la cubierta flotante está en 9 €/m<sup>2</sup>.

### 5.2. BENEFICIOS

Las cubiertas flotantes ofrecen diversos beneficios como: no producir evaporación, mantenimiento de agua de calidad y una superficie del embalse que puede ser usada para otra actividad.

La Tabla 2 muestra el beneficio económico por año del mismo embalse.

### 5.3. RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN

Considerando los gastos y beneficios anteriormente expuestos, la recuperación de la inversión estaría en torno a 8 años y la expectativa de vida de la cubierta flotante LLDPE 1.5 mm es superior a 25 años.

## 6. RESUMEN

- Las cubiertas flotantes son probablemente la mejor solución para evitar la evaporación y mantener la calidad del agua en las regiones áridas.
- Las cubiertas flotantes resuelven el problema de la emanación de gases en las balsas de purines de instalaciones ganaderas, y es parte de la solución para la revalorización del biogás.
- Las láminas de LLDPE mejoran las propiedades mecánicas, incrementan la expectativa de vida en comparación con otras láminas sintéticas y reduce el coste alrededor del 35%.
- La aplicación de cubiertas flotantes con lámina LLDPE 1.5 mm será cada vez más usual.

## 7. BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

- Desarrollo y Aplicación de producto: Dpto. Técnico de Talleres y Grúas Glez., S.L. y Dpto. Técnico de Sotrafa, S.A.
- Ingeniería del Agua, Vol. 13, n°3 sept 2006. Universidad Politécnica de Cartagena.
- Datos de Evaporación del Instituto Geográfico Nacional. Ministerio de Fomento de España.
- Artículo del Área de Ingeniería Agroforestal de la UPTC. Victoriano Martínez y Alain Baille.