

TÉCNICAS EMPLEADAS PARA DISMINUIR LA EVAPORACION EN LAS BALSAS.

Ramón de los Santos Alfonso.

Murcia. Enero 2.007

Estos días azules y este sol de la infancia,

Ultimo verso, hallado en el bolsillo de
Antonio Machado, tras su muerte en Colliure.

INDICE:

- 1. INTERES DE ESTUDIOS SOBRE LA EVAPORACIÓN.**
- 2. APLICACIÓN DE TÉCNICAS PARA REDUCIR LA EVAPORACIÓN.**
- 3. CONSTRUCCIÓN DE UN SOMBRAJE SOBRE LA BALSA.**
 - 3.1. Pantalla estática o fija.**
 - 3.1.1. Pantalla tipo carpa.
 - 3.1.2. Pantalla rafia simple.
 - 3.2. Pantalla dinámica.**
- 4. SOPORTE EN EL MURO PERIMETRAL.**
 - 4.1. Cálculo de esfuerzos sobre el muro.**
 - 4.1.1. Peso del muro.
 - 4.1.2. Comprobación de la resistencia de los cables de apoyos de la malla.
 - 4.1.3. Comprobación de la seguridad al vuelco.
 - 4.1.4. Comprobación de seguridad al deslizamiento.
 - 4.2. Armado del paramento vertical.**
 - 4.3. Armado del cimientto.**
 - 4.4. Comprobaciones de que no se alcanza el cortante de agotamiento.**
 - 4.5. Comprobación según Norma NBE, sobre la malla de sombreo del**
- 5. SISTEMA DE APOYOS EN POSTES.**
- 6. CONSTRUCCION Y COLOCACIÓN.**
 - 6.1. Instalación de alambres, sobretensiones y amarrados de soporte.**
 - 6.2. Tensiones de roturas.**
 - 6.3. Extendido y cosido de malla.**
 - 6.4. Cierre del sombreo.**
 - 6.5. Mantenimiento y conservación.**
- 7. VARIANTE DE MALLA DOBLE.**
- 8. ANÁLISIS ECONÓMICO.**
 - 8.1. Costos de instalación medio.**
 - 8.2. Rentabilidad.**

1. INTERES DE ESTUDIOS SOBRE LA EVAPORACION.

Al estudiar el número tan considerable de balsas existentes en Murcia, podrían cifrarse sin caer en un número exagerado la superficie de agua libre embalsada similar a unas dos mil hectáreas con tasa de pérdida por evaporación teórica en la Región de Murcia de 1.500 litros/m²/año (según datos del evaporímetro clase "A"), lo que supone una **pérdida de 30 Hm³ de agua**. Esta cantidad de pérdida de agua es muy importante si tenemos en cuenta que zonas como Aguilas, poseen una precipitación de media de 150 mm/año y si a esto añadimos que la mayoría de los sistemas de los acuíferos están agotados, esquilados y con graves entradas de agua de mar en aquellos cercanos a la costa, tendremos una situación de incertidumbre para el futuro por lo que exige el análisis sobre aplicación de nuevas tecnologías, para evitar tales pérdidas.

Ante la actual coyuntura de escasez pertinaz de recursos hídricos en el sureste español, es necesario incorporar nuevos avances tecnológicos para aumentar tanto la cantidad de recursos disponibles como la eficiencia en su uso. Respecto a la mejora en la eficiencia los esfuerzos se centran tanto en la gestión como en la implantación de técnicas de distribución y riego más eficientes. Dentro de los sistemas de distribución se encuentran las balsas de almacenamiento, donde se pueden llegar a producir pérdidas importantes por evaporación directa. En este sentido, Bengoechea y col. (1991) estimaron que el porcentaje de pérdidas por evaporación en balsas de riego en el Campo de Dalias (Almería), supone un 17% del total de pérdidas de agua en la actividad agrícola.

De acuerdo con Milla Riera los recursos de la cuenca del Segura se encontrarían en la tercera y última fase, donde la demanda dentro de la unidad geográfica resulta superior a las disponibilidades de recursos propios. En esta fase se comienza el desplazamiento urgente de las aplicaciones, sustituyéndose unos usos ya concedidos y en explotación, por otros que se consideran entonces prioritarios. Es necesario incorporar nuevas fuentes de recursos facilitados por los avances tecnológicos en depuración y reutilización de aguas residuales, desalaciones de aguas marinas, trasvases de otras cuencas y control de la evaporación de la lámina de agua de las balsas. Esta última constituye el objeto del presente Capítulo.

Las medidas que se adoptan en ésta fase son:

a) Mejor aprovechamiento de las técnicas de distribución, técnicas de riegos, etc. Nada nuevo se podría aportar al interés de controlar el uso del agua existente con sistemas operativos de telegestión, autómatas programables, etc.

b) Propuesta del PHN del Trasvase del Ebro: Posee el costo de inversión prevista de los 3 billones de pesetas para el abastecimiento de los 1.000 Hm³, aparte de los gastos de explotación pendiente de tramitar en el Parlamento y de su ejecución.

c) Desaladoras: Para producir 1.000 Hm³ de agua por el sistema de la desalación, es necesario el empleo de un consumo energético de 2.800 GW año (un GW igual a un millón de KW). En España se produce 166 TWh, de los cuales un 14 % es de origen hidroeléctrico, 53% de centrales térmicas clásicas y un 33 % de centrales termonucleares.

Al igual que el trasvase, necesita de una infraestructura de transporte, al ser producido en la costa y tener que llevarse hacia el interior. El costo vendría a ser (incluyendo amortización de la planta) entre 0,5 y 0,7 €/m³, más los derivados del transporte (> 1 €/m³).

d) la minimización de la evaporación en balsas empleando distintas técnicas investigadas (Brown, 1988) donde se encuentran los métodos estructurales, que hacen referencia al empleo de estructuras con el fin de minimizar la acción de la radiación solar y el viento sobre la superficie de agua de la balsa.

2. APLICACIONES TECNICAS PARA REDUCIR LA EVAPORACIÓN.

Las tecnologías aplicadas para evitar pérdidas por evaporación en los embalses de agua, coinciden con aquellos países que poseen un alto índice de evaporación, tales como EEUU (Arizona), Australia e Israel, pudiendo distinguirse cuatro grupos de técnicas, según Brown, en el Symposium celebrado en Canberra, en Febrero 1.988.

- a) Métodos químicos. Basados en la aplicación de sustancias que forman una película sobre la superficie libre de agua.
- b) Métodos físicos. Modifican las propiedades físicas del agua.
- c) Métodos estructurales. Consiste principalmente en la cobertura de la superficie libre de líquido mediante estructuras que interceptan la radiación solar.
- d) Otros métodos. Se refieren a técnicas de diseño y manejo en las balsas.

Desarrollaremos cada uno de estos grupos, con mayor detalle:

a) Métodos químicos: hace referencia a la aplicación de sustancias sintéticas menos densas que el agua, con el fin de conseguir una película de pequeño espesor que flote sobre el agua y disminuya las pérdidas por evaporación.

Los trabajos pioneros en esta materia fueron realizados por Manfield (1.956) en Australia, continuándose posteriormente en Estados Unidos e Israel. Los resultados obtenidos con la aplicación de estas sustancias suponen una disminución de la evaporación entre el 10 y el 20%. Estos bajos porcentajes, junto con los numerosos problemas que plantea su aplicación y mantenimiento, indican que estos métodos son de poca utilidad para los fines perseguidos. A partir de los años 70 apenas aparecen referencias sobre su utilización.

b) Los métodos físicos alteran las propiedades físicas del agua almacenada, como por ejemplo la temperatura superficial o el color, con el fin de disminuir la tasa de evaporación. Pueden clasificarse en tres grupos:

1. El primer grupo incluiría aquellos que se basan en la desestatificación térmica del agua en los embalses mediante un sistema de agitación. Estos métodos pretenden disminuir la temperatura superficial del agua y, consecuentemente, la evaporación.

Este método fue inicialmente experimentado por Koberg y Ford (1.965) en California, obteniendo disminuciones en la tasa de evaporación de hasta el 15%. Posteriores aplicaciones han sido desarrolladas, obteniéndose tasas de disminución de la evaporación siempre por debajo del 30%. La aplicación de esta técnica es más eficiente cuanto mayor diferencia de temperatura existe entre los estratos superficiales y profundos de la balsa. En caso de balsas de riego, de escasa profundidad, esta diferencia de temperaturas suele ser muy pequeña, por lo que la aplicación del método ofrece pocas posibilidades.

2. El segundo grupo de técnicas consiste en la aplicación de coberturas flotantes. En este caso se disminuye la superficie de contacto entre el agua y la atmósfera y, por lo tanto, la evaporación. Además, si se emplean materiales de colores claros, puede disminuir la cantidad del agua en la balsa. Cooley (1.983) experimentó diversas coberturas flotantes de elementos esféricos durante más de 10 años en Phoenix y Arizona (EEUU), obteniendo

reducciones en la evaporación entre el 78 y el 95%. El principal inconveniente de esta técnica son los daños producidos por el viento, que origina el desplazamiento de los elementos flotantes. Laing (1.981) estudia el empleo de placas de polietileno arriostradas mediante elementos flexibles, eliminando el problema anterior.

3. El tercer grupo hace referencia al empleo de tintes en el agua, con el objetivo de cambiar su color y por tanto su albedo de la superficie. Los escasos estudios sobre esta técnica (Cooley, 1.975) indican que la disminución de la tasa de evaporación es muy escasa, por lo que su uso no debe ser considerado. Además, los tintes empleados pueden suponer inconvenientes a la hora de emplear el agua en el riego.

c) Los métodos estructurales hacen referencia al empleo de estructuras con el fin de minimizar la acción de la radiación solar y el viento sobre la superficie de agua de la balsa. El primer grupo de técnicas dentro de esta clasificación consiste en la cobertura de la balsa mediante estructuras de sombreado. El empleo de coberturas de acero laminado ha sido ampliamente empleado en balsas y depósitos para el suministro a poblaciones en Australia, obteniendo tasas de disminución de la evaporación del 90 %. Sin embargo, el elevado precio de estas estructuras y las grandes dimensiones que llegan a alcanzar las balsas de riego hacen que esta solución no sea aconsejable. Cluff (1.975) experimenta el empleo de láminas de plásticos reforzados sobre una estructura de cable de acero, obteniendo tasas de disminución en la evaporación del 90%, pero también plantea los numerosos problemas ocasionados por el efecto del viento. En los últimos años son numerosas las publicaciones que mencionan el empleo de mallas de sombreado permeables a la lluvia, ligeras (principalmente el polipropileno) sobre estructuras de cables de acero, con más de diez años de antigüedad, dando posible solución al problema de la evaporación, aunque no existen índices de efectividad de esta técnica.

Otro tipo de técnica estructural consiste en el empleo de cortavientos formados por vegetación para disminuir la velocidad del viento sobre la superficie de agua, y por tanto disminuir la evaporación. Crow (1.963) y Cooley (1.975) han estudiado estas técnicas, obteniendo tasas de disminución de la evaporación en torno al 10%.

d) Por último, en otros métodos se incluyen estudios aislados sobre la influencia de diferentes aspectos de diseño y manejo de balsas de riego en la evaporación, entre los que podemos destacar:

- Los estudios relacionados con la influencia del diseño de la balsa (forma, profundidad, inclinación de los taludes) en la relación entre el volumen embalsado y la superficie de la lámina en contacto con la atmósfera.
- Empleo de "balsas de arena", donde no existe contacto entre el agua y la atmósfera, desapareciendo casi totalmente la evaporación. En el mismo sentido se encontraría en empleo de acuíferos subterráneos como embalses.
- Empleo de "balsas dobles". La operación conjunta de dos balsas nos permite minimizar la superficie de lámina libre en contacto con la atmósfera.
- Empleo de torres para la toma de agua de las balsas de riegos que permitan usar el agua superficial (más caliente) antes que la profunda.

En los seguimientos de varios embalses, llevados a acabo en distintas zonas, con mismos sistemas de estudios durante 1.965, figura EEUU sobre una superficie de lámina de agua de 2.400 has, analizadas con medias anuales, se obtuvieron reducciones del agua evaporada en un 9; 14 y un 8 %, Australia con 850 Has, la reducción fue de un 37 % (la más alta) durante las 14 semanas de observación, seguida de España (Almería) con el 35 % de reducción sobre una superficie de lámina de agua observada de 12 Has, en un test de 7 semanas de duración.

Sin embargo, la evolución de estudios sobre técnicas para minimizar las perdidas por evaporación en España son escasas. La primera referencia la encontramos en el año 1.994 y consiste sobre un estudio mecánico para realizar una estructura de sombreado en la balsa de almacenamiento de agua proveniente del último tratamiento de la planta de ozono, de 400.000 metros cúbicos de capacidad en la Comunidad de Regantes de las Cuatro Vega (Almería), al que haremos mención más adelante. En otro apartado tenemos el realizado por un alumno de Orihuela (1.999) en un Proyecto de Fin de Carrera sobre el empleo de bandejas de plantones hortícolas utilizadas como pantalla flotante protectora contra la evaporación, concluyéndose que la técnica no era satisfactoria como consecuencia del viento sobre la pantalla flotante. En 1.999 el Instituto del Agua de la Universidad de Granada redacta un Plan para la reducción de perdidas por evaporación en balsas de riego, en el que se analizan otros efectos negativos de la evaporación en las balsas entre los que, además de las pérdidas de agua destacan:

- La disminución de la calidad del agua embalsada.
- La disminución de los rendimientos que se producen en los cultivos debido al aumento de salinidad del agua embalsada.
- El aumento del consumo del agua en general durante el cultivo.
- Obstrucciones a los sistemas de riego por goteo.
- Riesgos de corrosión en elementos metálicos de los sistemas de riego.

Actualmente, la Universidad de Cartagena se encuentra en fase de realizar un estudio y desarrollo de técnicas para la reducción de la evaporación, mediante financiación de programas de investigación convocados por CICYT, Fundación Séneca, con un plazo de estos objetivos en un período de dos a tres años.

Sobre ventajas indirectas mencionadas anteriormente, añadiría algunas más de las relacionadas por la Universidad de Granada:

- Protección de la lámina de la geomembrana que está expuesta continuamente a la radiación solar, prolongado sin ser su objetivo, la vida útil de la misma.
- Menor temperatura del agua para ser utilizada en el riego.
- Condiciones de control de medidas volumétricas de salida, mas uniformes, al poseer temperatura constante.

Actualmente existen constancia de efectividad en la técnica de estructuras de sombreado con malla de rafia (reducción de evaporación, algas, polvo, etc) y su precio medio, estimando soportes, sobre los 6 €/m², siendo su limitación las luces (< 150 metros). Hay que considerar que el desarrollo de ésta técnica se empezó a realizar a la sombra de la técnica de construcción de invernaderos de tipo "parral", en balsas de

pequeñas dimensiones en Almería, de forma práctica, carente de cálculos técnicos, luego se realizaron balsas de mayor tamaño, de 220 x 100, donde las superaciones de ésta dio origen a roturas de los soportes del sombreo.

Transcurridos los años, se dotó con cálculos que permitiesen su optimización de forma satisfactoria, mediante fórmulas empíricas de las solicitaciones del viento y de la acumulación del agua de lluvia. Los cálculos teóricos, orientativos, reflejaron resultados correctos, aunque hubo que introducir algunas correcciones para su acercamiento con la realidad. Parece que lo más importante es evitar el peso del agua acumulado tras la lluvia sobre el sombreo, de forma que aligere el tiempo de permanencia (máximo 10 minutos), lo que se consigue disminuyendo la densidad de la malla, mayor número de huecos entre el hilado, menor sombraje y por tanto menor efecto sobre el resultado esperado de la evaporación (40 % del valor total evaporado al aire libre). Hablar de un 100% de eficacia sobre la evaporación de la lámina del agua libre, es hablar de otra técnica, no de un sombraje de malla.

3. CONSTRUCCION DE UN SOMBRAJE SOBRE LA BALSA.

El objetivo es cubrir la balsa, con una esterilla de rafia de sombreo sobre parte del área superior de la balsa, aislándolo del exterior para evitar la evaporación y de forma indirecta, evitar la formación de algas (problemas de filtros en los goteros), al no recibir la luz.

La forma de su estructura es réplica de la empleada en los invernaderos del sureste español. El sistema de sombreo se compone de tres elementos básicos: La estructura de alambres sustentadores, la propia malla de sombreo y los elementos de anclaje.

La esterilla del sombraje debe al mismo tiempo evitar formar bolsa de agua por lluvia, por lo que su impermeabilidad no debe de ser absoluta, filtrando en ésta cubierta en menos de 15 minutos, debiendo ser traspasada el agua caída en su totalidad.

Las experiencias de cubrir balsas en España, son recientes y se concentra en el Levante, exceptuando la de Iznájar (Córdoba) para agua potable. Son balsas reducidas (200 · 100) y destinadas a riegos. En Almería sobrepasan la decena, algunos con más de diez años de existencia. En cuanto a Murcia, existen pequeños recubrimientos de particulares (no podía ser de otro modo) como los realizados por la Empresa "El Ciruelo" de Alhama de Murcia, ubicado en el término de Totana, cuyas características técnicas son mínimas al reunir condiciones de abrigo natural a los vientos, según muestra la fotografía, adjunta.



Figura 1. Balsa cubierta en el término de Totana (E. Ciruelo).

La forma de proyectar el sombraje responde a dos cuestiones básicas:

- 1) Pantalla dinámica.
- 2) Pantalla estática o fija.
 - a) En balsa construida.
 - b) Nueva construcción.

3.1. PANTALLA ESTÁTICA O FIJA.

3.1.1 Pantalla carpa.

Consiste en apoyos intermedios en el interior de la balsa donde de forma cenital, como la carpa de un circo, mediante postes, se apoya los paños de lonas y transmiten de forma vertical las cargas al suelo, aliviando el problema que acompañan las grandes luces.

La práctica existente es de balsas con menos de 30 metros de longitud en sus extremos. No existe experiencia de construcción en grandes balsas, aunque sus defensores (comerciales), les propician un gran futuro.

La facilidad que poseen ante los impactos (no acumulan peso del agua de lluvia) es su mejor presentación.

El estado más comprometido que poseen las mallas de sombreado es el agua que proviene de lluvia y que sostiene durante minutos sin traspasar, esto se debe a la forma de la tupida que tenga la malla, lo que condiciona la eficacia para evitar la evaporación.

Si una densidad del 90 % de entramado, supongamos que retiene durante 10 minutos 30 litros de lluvia caída por metro cuadrado, esto supone 30 Kg de peso por metro cuadrado y si la superficie tiene 20.000 m², estaremos hablando de 600 toneladas. Esto es una realidad.

La disposición de apoyos intermedios en el interior de las balsas mejoraría notablemente el comportamiento estructural de la cubierta descrita, pues gran parte de las cargas que actualmente soporta el anclaje perimetral pasaría a ser soportado por los elementos de cimentación que transmitirían cargas verticales al terreno. Si realizamos una retícula de pilares de 100 · 100 m permitiría, desde un punto de vista teórico, aumentar luces de la superficie máxima de la cubierta. Dichos pilares, igual si fueran muros lineales de fábrica, no deben experimentar tensiones horizontales en su extremo superior, sólo tensiones verticales.

3.1.2. Pantalla estática de rafia simple.

Esta pantalla se forma en la técnica usada en invernaderos, conocidos como "parrales".

Las limitaciones de su instalación se deben a las siguientes consideraciones:

- Luz máxima entre el bordillo del perímetro más crítico, situación que no debe superar los 250 metros de línea.

- Consideración de vientos locales (pasillos, valles, ubicaciones altas, corrientes permanentes en lugares costeros, etc.)
- Zonas de riesgos frecuentes de pedriscos, granizos, etc.
- Diferencias de niveles acusados en los bordes (escalonadas).
- Riesgo de lluvias torrenciales.

Los requerimientos de solicitudes del soporte se deben justificar por las necesidades del viento y de lluvias fuertes, puesto que el peso de la rafia y alambres no son significativos. De todas las consideraciones la masa de agua de lluvia depositada y soportado por el sombrero el que más limita, seguido del aire.

En las consideraciones económicas se contemplan:

- Apoyos de los soportes (muros, vigas).
- Alambre.
- Malla.

Los costos referidos en metros cuadrados de recubrimiento, rondarían:

- 2/2,5 € Poste/soporte.
- 1/1,2 € alambrada.
- 0,6/0,9 € malla rafia colocada.
- 1,2/1,8 € Colocación.

4,8/6,4 € costo m² de sombrero tipo parral.

3.2.2.1. Descripción general de la estructura de sombrero.

- A) Malla: Normalmente se proyecta en rafia que es de PE, con un porcentaje de sombrero del 40 % mínimo, colocado en capas simples o dobles. En la simple puede tener un 80 % de sombrero. El interés que tiene el grado de porosidad de la malla está con relación al drenaje como hemos visto, puesto que la acumulación de agua genera tensiones indeseables en los apoyos, así como permeabilidad al viento.
- B) Disposición de alambres: Se ha optimizado un marco de 0,5 x 0,5 m. Se suelen alternar cada metro cordadas dobles y simples. Se disponen dos capas de estructuras de alambre, una por encima de la rafia y otra por debajo, a modo de "sándwich". La malla inferior es la que tiene la función predominante resistente, mientras que la malla superior se coloca para minimizar los daños que el viento podría ocasionar sobre la rafia. El alambre de la malla inferior es de un diámetro de 6 mm, mientras que en la superior es suficiente con un diámetro de 2,5 mm. Los cables se tensan con unos valores de 800 – 1.000 Kg, que son necesarios para que la flecha producida sea mínima, ofreciendo una superficie final muy horizontal, con una flecha inferior al resguardo de la balsa, que permita el montaje de la malla por especialistas y reparta las cargas de lluvia en toda la superficie.

Cabe señalar que los cálculos que rodean este tipo de estructuras y las hipótesis que consideran son ciertamente discutibles, y existen diversas opiniones sobre la veracidad y exactitud de los mismos. La descripción anterior hace referencia a la

justificación mecánica habitual de la solución adoptada, pero no significa que sea precisa ni óptima.

3.2.2. Tipos de apoyos.

Según apliquemos las tensiones sobre los apoyos, serán las dimensiones que pueden realizarse sobre dos sistemas:

- Muro.
- Pilotaje.

a) Muro: Las tensiones generadas en los apoyos se reparten en un muro perimetral de hormigón armado capaz de resistir dichos esfuerzos. Según croquis adjunto:

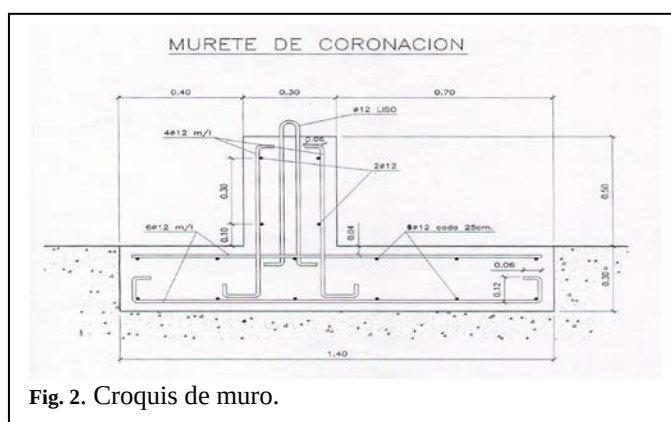


Fig. 2. Croquis de muro.

b) Pilotaje: La otra solución es anclar perfiles IPN hincados y enterrados en el terreno, donde tras varios ensayos (tipos de perfiles y profundidad), se optó por la solución de IPN – 120, hincados a 3 metros y dejando un sobresaliente de 17 cm.

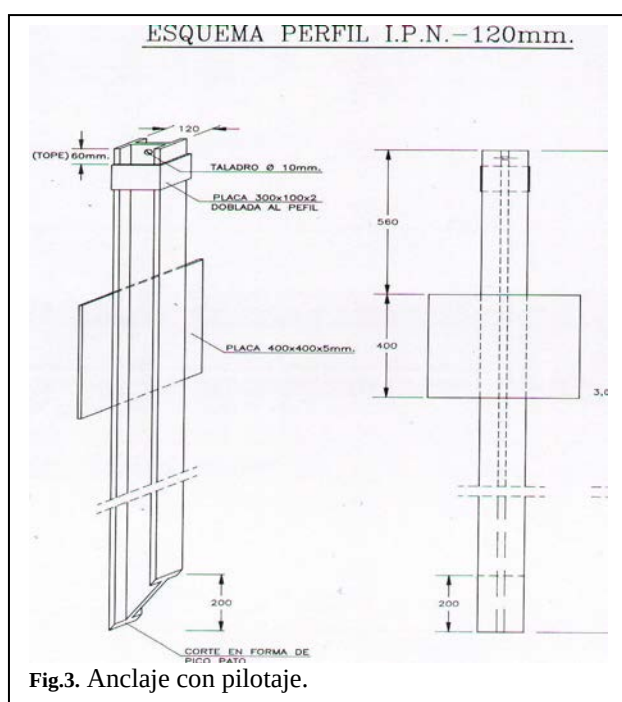
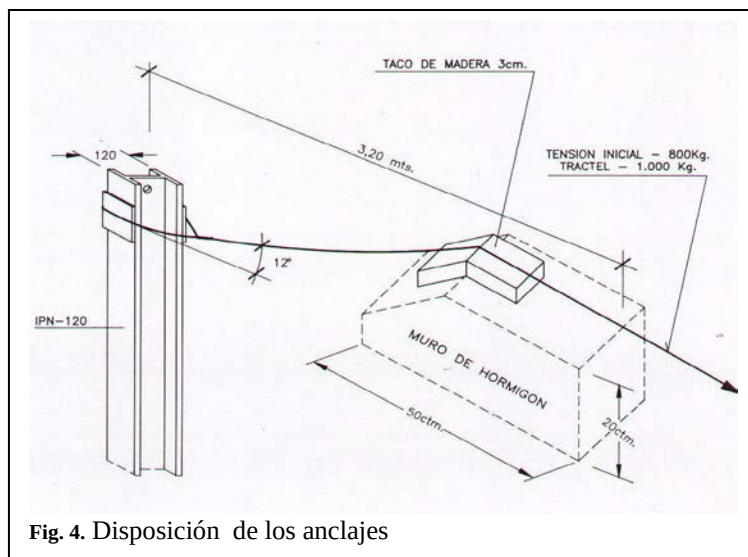
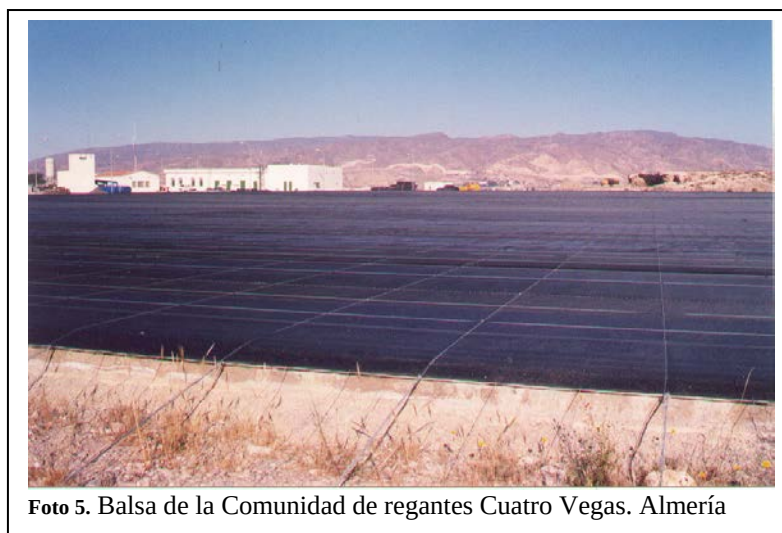


Fig.3. Anclaje con pilotaje.

Esta opción es la que ofrecía menores desplazamientos. El anclaje de los cables, se realiza sobre un refuerzo en la cabeza sobresaliente del perfil, para evitar deformaciones del alma de los perfiles. Esta solución se completa con la fijación de una placa de 40 x 40 cms sobre el perfil, para mejorar la resistencia del IPN a las tracciones de los cables. Se puede observar un diseño de éste sistema en el esquema adjunto. Los IPN se disponen perimetralmente con una separación aproximada de 2 metros entre perfiles y a unos 5 metros del borde de la balsa.



La solución de los IPN se ha mostrado como más eficaz, puesto que los muretes de hormigón han sufrido roturas y desplazamientos, ante la acción de cargas imprevistas. Su inconveniente es la anulación del paso sobre el pasillo de coronación.



3.2. PANTALLA DINÁMICA.

La cobertura se hace con una geomembrana de PVC de 1,5 milímetros de espesor, calandrada, reforzada y resistente a los rayos UV.

La pantalla se forma con flotadores donde se apoya la geomembrana normalmente de 2,0 m de ancho para facilitar los trabajos de soldadura en campo, formando un cierre total donde se recoge, a modo de “persiana” la geomembrana sobrante y ajustan la nueva superficie de geomembrana resultante, según la altura del agua.

La cobertura es total, independizando el contenido del embalse del exterior, por lo que se dejan canales para captar el agua de lluvia.



Figura 6. Comienzo



Figura 7. Final

4. SOPORTE EN EL MURO PERIMETRAL.

El soporte del sombraje puede variar, según distintas técnicas y modos de resolver la demanda de solicitud del peso. Ésta puede ejecutarse con postes, losas, muros, etc, dependiendo de la luz, del proyecto (muro o losas) o por el contrario, de sus circunstancias, como la de añadirse a la balsa después de su ejecución (postes).

4.1. Cálculo de esfuerzos sobre el muro.

La malla de rafia negra se apoya en una cuadrícula de 0,5*0,5 m de alambre acerado.

- Peso de los cables:

Tomaremos en un primer lugar la superficie de malla de sombreado total, dado en m².

Sustentación malla por m² es igual a 4 metros de cordada principal y 4 metros de cordada de llaneo.

Diámetro de la cordada principal (1*2*0) alambre acerado de 6 mm.

Diámetro de la cordada secundaria (1*1*0) alambre acerado de 2,5 mm.

Peso por m² de las cordadas: $3,141 \cdot (0,01^{2/4} + 0,0025^{2/4}) \cdot 7,85 \cdot 2 = 5,209 \cdot 10^{-4} \text{ Tn/m}^2$.

- Peso de la malla.

Consideramos como máximo un peso de 72 g/m².

- Peso del agua de lluvia.

La lámina la consideramos impermeable como máximo 15 minutos. La intensidad de lluvia a considerar es la de una lluvia torrencial de periodo de retorno de 5 años (daños producidos por rotura de la malla). Se considerará que la duración de la lluvia torrencial no superará los 15 minutos.

Se utiliza la siguiente fórmula: $I = 260 \cdot n^{0.62} \cdot t^{-0.52}$.

Donde n = periodo de retorno en años.

T = duración del aguacero en minutos.

I = intensidad de lluvia (l/s y ha).

$$I = 260 \cdot 50,62 \cdot 15^{-0.52} = 172.5 \text{ l/s y Ha.}$$

El peso del agua sobre la malla transcurridos 15 minutos desde el comienzo del aguacero

$$I = 172.5 \cdot 60 \cdot 15/10.000 = 15'525 \text{ Kg/m}^2 = 0.0155 \text{ Tn/m}^2.$$

Dado el perímetro del muro de la balsa = XXXX metros, la solicitud para un ml de muro es: $[0.0155 + 5.209 \cdot 10^{-4} + 7,2 \cdot 10^{-5}] = 0.0161 \cdot \text{Sup. Base mayor / Metros líneas del perímetro.}$

- Tensión de los cables.

En cada malla se va a realizar un pretensado de los cables de 800 Kg para minimizar la flecha.

$$800 \text{ Kg/cable} \cdot 2 \text{ cables/ml} = 1.600 \text{ Kg/ml} = 1,6 \text{ t/ml.}$$

Dado que colocaremos un trenzado formado por dos mallas la tensión total soportada por los cables será de: $1.6 \cdot 2 = 3,2 \text{ t/ml.}$

- Efecto del trenzado.

Los cables cada 0,5 metros se cruzan y se mejorará el apoyo de un cable sobre el otro mediante cocas, con lo que podemos considerar que se encuentran apoyados mediante múltiples apoyos elásticos. Por esta razón reduciremos en un 5 % la tensión de los cables.

- Efecto del viento.

Suele considerarse en tensión de los cables un 20 %: posteriormente comprobaremos la veracidad de ésta hipótesis.

De los dos apartados anteriores, deducimos que es necesario aumentar en un 20% la tensión de los cables para considerar la situación más desfavorable: $3,2 \cdot 1,2 = 3,84 \text{ t/ml.}$

- Empuje de los terrenos.

Consideramos que el ángulo de rozamiento interno del terreno es de 30° y una densidad de 1,65 Tn/m3.

$$\text{Coeficiente de empuje activo } K_a = \tan^2 (45-0/2) = 0,333$$

$$\text{Coeficiente de empuje pasivo: } K_p = 1/K_a = 3$$

$$\text{Empuje activo: } E_a = 1.65 \cdot 0,3^2 \cdot 0.333/2 = 0,025 \text{ t/ml.}$$

$$\text{Empuje pasivo: } E_p = 1.65 \cdot 0,3^2 \cdot 3/2 = 0,223 \text{ t/ml.}$$

$$\text{La resultante de empuje es } R = E_p - E_a = 0,198 \text{ t/ml.}$$

- Contracción de los cables por efecto térmico.

Debido a los cambios de temperatura los cables sufrirán tanto una dilatación como contracción, siendo favorable la dilatación (produce una fuerza que disminuye la tensión de los cables) por lo que **no** la tendremos en cuenta.

Variación de temperatura = proponemos una media de 15° C. Coeficiente de dilatación térmico = $10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$.

Longitud de los cables de la malla: pongamos por ejemplo 225 metros (longitud máxima).

$$\Delta l = \alpha \cdot L \cdot \Delta T = 0,03375 \text{ metros}$$

$$E = 2,1 \cdot 10^6 \text{ Tn/m}^2.$$

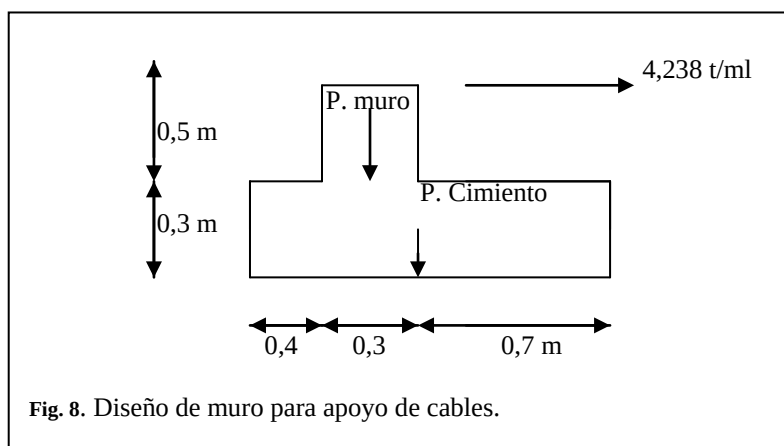
$$\varsigma = 3,1416 \cdot 0,003^2 \text{ m}^2.$$

$$N = E \cdot \Delta l \cdot \varsigma / L = 0.0089 \text{ t.}$$

Como existen dos cables por metro lineal el valor que toma el efecto de la contracción es de: $2 \cdot 0.0089 = 0.0178 \text{ t/ml.}$

La situación más desfavorable será aquella en la que todas las cargas están actuando a la vez.

$$\text{Solicitud total} = 0.574 + 3.84 + 0.0178 - 0.198 = \underline{4.2338 \text{ t/ml.}}$$



4.1.1 Peso del muro.

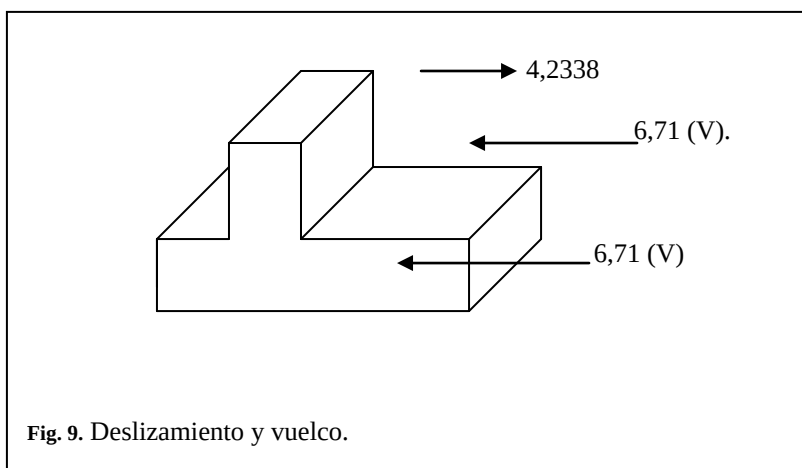
Tomamos una densidad para el hormigón armado de 2,5 Tn/m³.

$$\text{Peso del muro: } 2,5 \cdot 0,5 \cdot 0,3 = 0,375 \text{ t/ml.}$$

$$\text{Peso del cimiento: } 2,5 \cdot 1,4 \cdot 0,3 = 1,05 \text{ t/ml.}$$

$$\text{Peso total} = 1,425 \text{ t/ml.}$$

De este modo las fuerzas actuantes sobre el muro son:



4.1.2. Comprobación de la resistencia de los cables de apoyo de la malla.

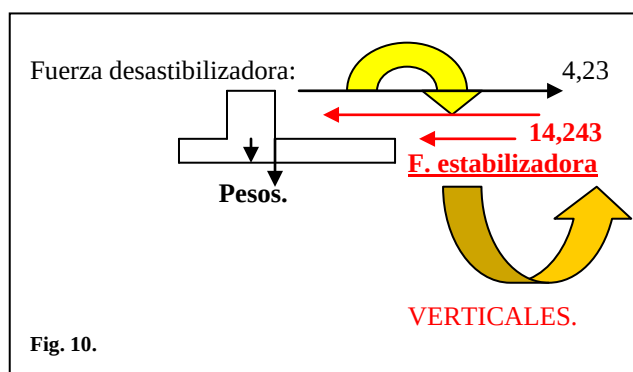
Los cables que soportarán toda la carga son los inferiores (cordada principal) que con una densidad de 2 cables por ml están solicitados a 2,119 t/cable en su punto de conexión con el muro.

La carga de rotura del cable acerado (1-2-0) de hilo = 3 mm y diámetro total de la cordada = 6 mm es de 4.523,89 Kg, que es superior a los 2117 Kg que deberá soportar en la peor de las circunstancias.

Coefficiente de seguridad = $4.523,89 / 2.117 = 2,14$.

4.1.3. Comprobación de la seguridad al vuelco.

Para tener en cuenta la continuidad del muro hemos determinado el cortante que desarrolla un metro lineal de muro, para ello imponemos un coeficiente de seguridad al vuelco de 1,5.



Momentos del vuelco: $4,2338 \cdot 0,8 = 3,387 \text{ t/ml}$.

Momentos estabilizadores = $2 \cdot V \cdot 0,30 + 0,375 \cdot 0,85 + 1,05 \cdot 0,7 = 0,6 \cdot V + 1,054 \text{ t/ml}$.

$C_v = \text{Mom. Estabilizadores} / \text{Mom. Volcadores} = 1,5$; $(0,6 \cdot V + 1,054) / 3,387 = 1,5$.

$V = 6,71 \text{ t}$. Que es la cortante desarrollada por el muro en cada una de sus secciones.

Posteriormente comprobaremos que no se alcanza el agotamiento de la sección.

4.1.4. Comprobación de seguridad al deslizamiento.

Las solicitaciones a la que está sometido un ml de muro son:

Fuerzas estabilizadoras = Fuerza de rozamiento + $2 V = N \cdot \operatorname{tg} \omega + 2 \cdot V$.

F. est = $(0,375 + 1,05) \cdot \operatorname{tag} 30 + 2 \cdot 6,71 = 14,243 \text{ ML/ml}$.

Fuerzas desestabilizadoras = 4,2338 t/ml.

Coeficiente de seguridad al deslizamiento = F. Estab / F. Desest.

$$Cd = 14.243 / 4.2338 = 3.36.$$

4.1.5. Armado.

- Hormigón.

Resistencia característica: $f_c = 200 \text{ Kg/cm}^2$.

Nivel de control: normal.

Coeficiente de seguridad: $\gamma_c = 1,5$.

- Acero de armado.

Límite elástico: $f_{yk} = 4100 \text{ kg/cm}^2$.

Nivel de control: normal.

Coeficiente de seguridad: $\gamma_s = 1,15$.

Coeficiente de mayoración de cargas.

Permanentes: 1,6.

Variables: 0,9.

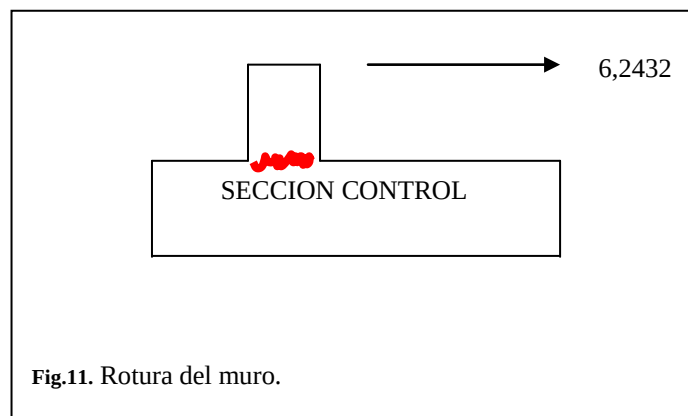
4.2. Armado del paramento vertical.

Solicitaciones = $1,6 \cdot (5,209 \cdot 10^{-4} + 7,2 \cdot 10^{-5} + 0,9 \cdot 0,0155) = 0,0149 \text{ Tn/m}^2$.

Carga horizontal por ml. de muro = $0,0149 \cdot 20230,56 / 567,41 = 0,5312 \text{ t/ml}$.

Otras solicitaciones = $1,6 \cdot 3,2 + 0,9 \cdot (0,0178 + 0,2 \cdot 3,2) = 5,712 \text{ t/ml}$.

Total carga por ml = 6,2432 t/ml.



a) Armado a flexión.

D = 26 cm.

B = 100 cm.

$$F_{ck} = 200 \text{ Kp/cm}^2.$$

$$F_{yk} = 4.100 \text{ Kp/cm}^2.$$

$$N_c = 0,85 \cdot 0,8 \cdot b \cdot f_{cd} \cdot 0,9 \cdot X = 8.160 \cdot X = Kp.$$

$$M_d = 8.160 \cdot x \cdot (26 - 0,4 \cdot x) = 3,12 \cdot 10^5 \text{ kp/ml.}$$

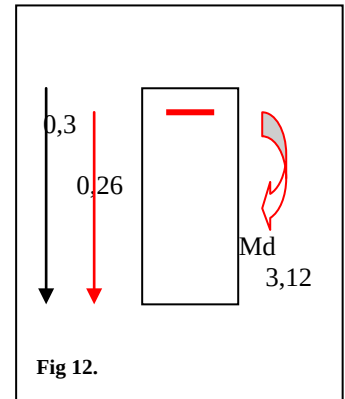
$$X = 1,505 \text{ cm.}$$

$$N_c = N_s = A_s \cdot f_{yd}.$$

$$A_s = 2,61 \text{ cm}^2. \quad (\text{Menor que la cuantía exigida por la norma}).$$

Cuantía mínima de acero exigida por la EH-99.

$$A_s = 0,04 \cdot f_{cd} \cdot A_c / f_{yd} = 4,487 \text{ cm}^2.$$



El armado que colocaremos será por tanto de cuatro corrugados de diámetro 12 mm. Cada metro supone $4,5 \text{ cm}^2$ que es mayor a la mínima que exige la norma para armadura vertical de muros.

Por simetría, en la cara opuesta se colocará idéntica armadura.

b) Armado a cortante.

El esfuerzo cortante que agota el hormigón es:

$$V_{u1} = 0,3 \cdot f_{cd} \cdot b \cdot d = 104 \text{ T.}$$

$$V_{u1} \gg V_d.$$

$$104 \gg 6,2432.$$

El esfuerzo cortante de agotamiento del hormigón por tracción es:

$$V_{u2} = V_{sn} + V_{cn}.$$

$$V_{cn} = 0,5 \cdot f_{cd}^{1/2} \cdot b_w \cdot d = 15 \text{ t.}$$

Como $V_{cn} \gg V_d$ no es necesaria armadura transversal de cortante y se colocará por ello la mínima que exige la norma: 2 por mil del área del hormigón = $4,04 \text{ cm}^2/\text{ml}$.

Se colocarán cuatro cercos de diámetro 8 mm por ml en vertical del muro.

4.3. Armado del cimiento.

Resistencia del terreno.

$$\sigma = N/\zeta + 6 \cdot M/a + b^2 = Tn/m^2.$$

$$N = 1,425 \text{ ML/ml.}$$

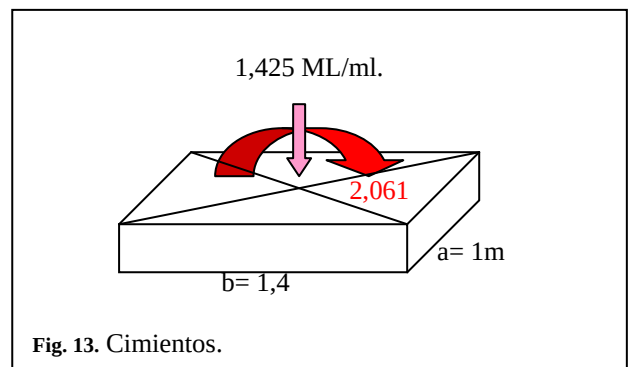
$$M = 2,061 \text{ Tm/ml}$$

$$B = 1,4 \text{ m.}$$

$$A = 1 \text{ m.}$$

$$\sigma_{\min} = -5,2091 \text{ Tn/m}^2.$$

$$\sigma_{\max} = 7,327 \text{ Tn/m}^2.$$



Considerando una resistencia admisible del terreno de 10 Tn/m^2 se aprecia que es muy superior a las $7,237 \text{ Tn/m}^2$ que soportará en las condiciones más desfavorables.

a) Armado a cortante.

Suponemos una carga con el valor medio de tensión que solicita al cemento de $1,018 \text{ Tn/m}^2$.

$$Vd_{\max} = 1,4 \cdot 1018 = 1,4252 \text{ t.}$$

El esfuerzo cortante de agotamiento del hormigón por compresión es:

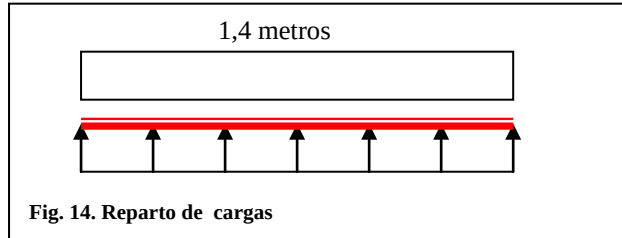
$$V = 0,3b \cdot fcd \cdot b \cdot d = 104 \text{ T.}$$

$$VN_2 = Vsn + Vcn.$$

$$Vcn = 0,5 \cdot fcd^{1/2} \cdot b \cdot d = 15 \text{ T.}$$

$$Vcn \gg Vd_{\max}.$$

$$15 \gg 1,4252 \text{ t.}$$



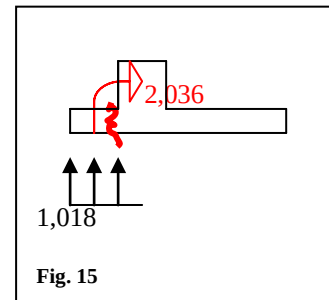
→ No necesita armadura de cortantes.

b) Armado a flexión.

$$Md = 1,018 \cdot 0,4^2 / 2 = 2,036 \text{ t/ml.}$$

$$2,036 \cdot 10^5 = 0,85 \cdot 0,8 \cdot fcd \cdot b \cdot x \cdot (26 - 0,4 \cdot x).$$

$$X = 0,88 \text{ cm.}$$

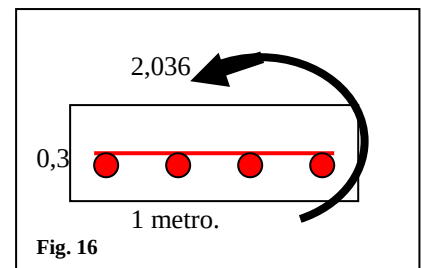


$$Nc = Ns = As \cdot fyd.$$

$$As = 1,69 \text{ cm}^2. \text{ (menor cuantía mínima exigida por la norma).}$$

Cuantía mínima de acero exigida por la EH-99.

$$As = 4,87 \text{ cm}^2.$$



Se dispondrán cuatro corrugados de diámetro 12 mm cada metro, lo que suponen $4,5 \text{ cm}^2$, cantidad mayor a la mínima exigida por la norma.

De esta forma ortogonal a ellas y siguiendo el perímetro de la balsa, se colocarán igualmente cuatro corrugados de 12 mm.

4.4. Comprobación de que no se alcanza el cortante de agotamiento.

Calculamos el esfuerzo de agotamiento último por cortante que es capaz de soportar el muro en su sección más desfavorable (la de menor ancho).

$$B = 0,3 \text{ m.}$$

$$D = 0,72 \text{ m.}$$

$$Vd = 0,5 \cdot fcd^{1/2} \cdot b \cdot d.$$

$$Vd = \text{Esfuerzo de agotamiento último por cortante} = 12,47 \text{ t.}$$

Queda demostrado que la fuerza estabilizadora (6,71 t) considerada en los cálculos del coeficiente de seguridad al deslizamiento y vuelco es admisible, ya que la sección del hormigón es capaz de desarrollar un cortante máximo de 12,47 t.

La fuerza de 6,71 t considerada, se ha obtenido por equilibrio de una rebanada de muro (de 1 metro de profundidad), teniendo en cuenta que el muro no está aislado, pero ésta, no es sólo una fuerza de equilibrio, sino que es el cortante que desarrolla el hormigón para ser estable. Sabemos que esto ocurre porque hay muros construidos con la misma forma elíptica, dimensiones, e incluso armado, y llevan varios años desde su puesta en servicio, sin haber ocasionado ningún tipo de problema, tanto al deslizamiento como al vuelco.

4.5. Comprobación según Norma NBE, sobre la malla de sombreado del viento en la zona media de Murcia.

Sobrecarga del viento sobre un elemento superficial: $p = c \cdot w$.

W = Presión dinámica (Kg/m^2).

C = Coeficiente eólico de sobrecarga.

Al encontrarnos en una zona media, influida en un radio de 35 Km.. cercana a la costa, podríamos desarrollar una media de presión dinámica en valor de 100 Kg/m^2 (tabla de datos de vientos de tabla nº 5.1 Capítulo V NBE-AE-88. Acciones en la edificación).

Para el valor del coeficiente eólico se asemeja la malla a un casquete esférico, si bien no es una buena aproximación, la creemos oportuna por no considerar una disminución del 25% del coeficiente eólico por huecos. De este modo tomamos un valor de $c = 0,2$ (tabla Nº 5.3. NBE-AE-88. Acciones en la edificación).

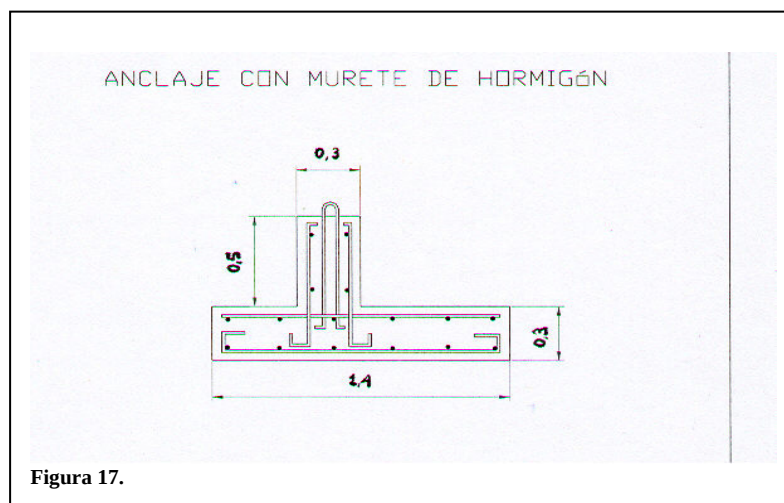
$$P = 0,2 \cdot 100 = 20 \text{ Kg/m}^2 = 0,02 \text{ Tn/m}^2.$$

$$0,02 \cdot 20.230,56 / 567,41 = 0,713 \text{ t/ml.}$$

Aumento de la tensión del cable por efecto de la acción del viento:

$$0,713 \cdot 100 / 3,2 = 22,28 \text{ \%}.$$

En los cálculos realizados para comprobar la estabilidad del muro y su armado, hemos considerado un incremento de la tensión de los cables por efecto del viento de un 25% que es mayor que el realmente producido, estando por tanto del lado de la seguridad.



5. SISTEMA DE APOYOS EN POSTES.

También podríamos realizar el atado a postes metálicos como se dan en la construcción de invernaderos y parrales y que suelen denominarse en Murcia como "muertos". Estos consisten en dos perfiles metálicos del tipo IPN, hincados en el terreno del borde perimetral de la balsa, donde uno de éstos perfiles (A) se entierra hasta 2 metros de longitud y el otro perfil (B), se clava en el suelo hasta una profundidad de 3 metros, quedando fuera en su parte aérea, un sobresaliente de 12 y 17 cm., respectivamente.

La zona enterrada debe de estar perfectamente protegida de posible oxidación, bien por tratamientos galvánicos o con esmaltados o recubrimientos de pinturas bituminosas, con total seguridad de estar protegidas de oxidación.

El tipo de perfil elegido es: 57/122/57, espesor 5 mm; practicando en el alma (122 mm) en su parte libre, superior, un orificio circular de 33 mm de diámetro, sirviendo de punto de anclaje de los tirantes de la cubierta de la balsa.

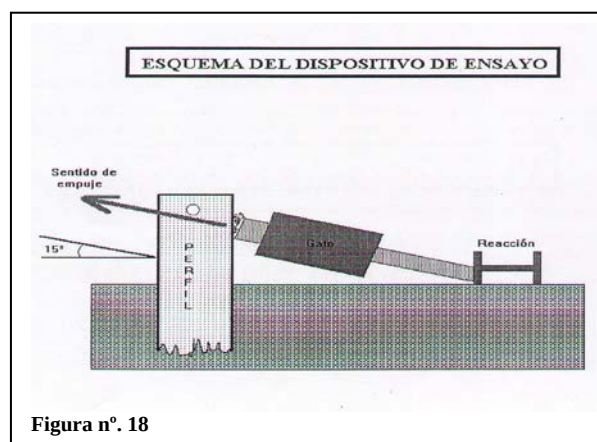
Los perfiles se disponen a unos 5 metros del borde perimetral de la balsa y separados entre sí una distancia de 2,08 metros.

En la experimentación de la balsa de la Comunidad de Regantes de las Cuatro Vegas de Almería, fueron realizadas pruebas de ensayos el 8 de Julio de 1.994 por el laboratorio de geología, comprobando el comportamiento ante el "tiro" teórico de resistir la tensión de 3.000 Kg, que se preveía como valor máximo teórico, a alcanzar por los tirantes de sujeción de la cubierta de la balsa, anclados a los perfiles, en función de los vientos máximos previstos en la zona.

La forma de "tiro" es perpendicular a los postes desde el embalse y se inclina luego al segundo poste con 12° respecto al plano horizontal del tapado del embalse.

Los ensayos realizados consistieron en la colocación de un gato hidráulico de 20 toneladas de capacidad máxima en el poste externo y con una inclinación de 15°, equipado con un manómetro de 9 t y precisión de 0,1 tonelada, apoyados en el otro extremo sobre un soporte de suficiente capacidad de aguante al previsto.

Al mismo tiempo y por el ala del perfil opuesta a la que se transmite el empuje, la instalación de un microcomprobador, de precisión 0,01 mm, para registrar las deformaciones horizontales que sufría la zona superior del perfil sometido a empuje, durante los distintos escalones de carga a los que se iría sometiendo.



Las pruebas se hicieron con escalones de carga de 1.000 Kg., mantenidos el tiempo suficiente para permitir la estabilización de las deformaciones horizontales que el "ala" opuesta del perfil sufría respecto a la vertical y al terreno.

Una vez alcanzado y mantenido el "máximo empuje", se descargaba, bruscamente, el dispositivo de ensayo, registrándose, mediante el microcomparador instalado, la "deformación residual" horizontal que persistía en la zona superior del perfil, una vez que cesaba el empuje ejercido.

El "máximo empuje" efectuado en cada ensayo fue de 5.000 Kg.

La prueba efectuada sobre el perfil empotrado hasta 2 metros de profundidad, ha sido denominada "prueba A", mientras que la realizada sobre el empotrado hasta 3 metros, se ha llamado "prueba B". Los resultados obtenidos en cada uno de los ensayos, fueron los siguientes:

Prueba a). Profundidad de empotramiento: 2 metros.

Carga (Tonelada)	Deformación (mms).
1	2.34
2	3.98
3	5.82
4	7.85
5	9.6
0	2.32 (deformidad residual).

Ensayo b). Profundidad de empotramiento de 3 metros.

Carga (Tonelada)	Deformación (mms).
1	0.74
2	1.54
3	2.27
4	3.16
5	3.92
0	1.17 (deformidad residual).

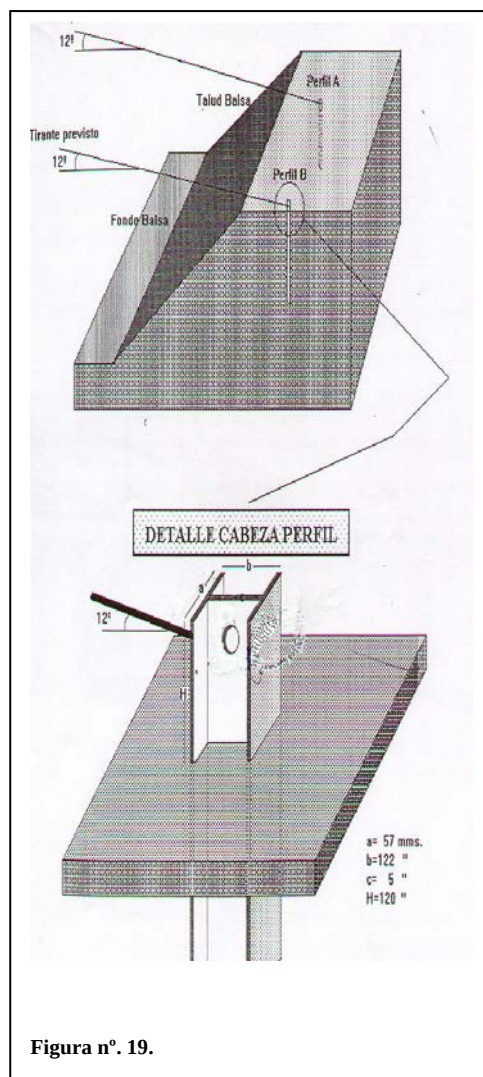


Figura n°. 19.

A continuación se representa un gráfico con las curvas EMPUJE/DEFORMACION, obtenidas en cada ensayo.

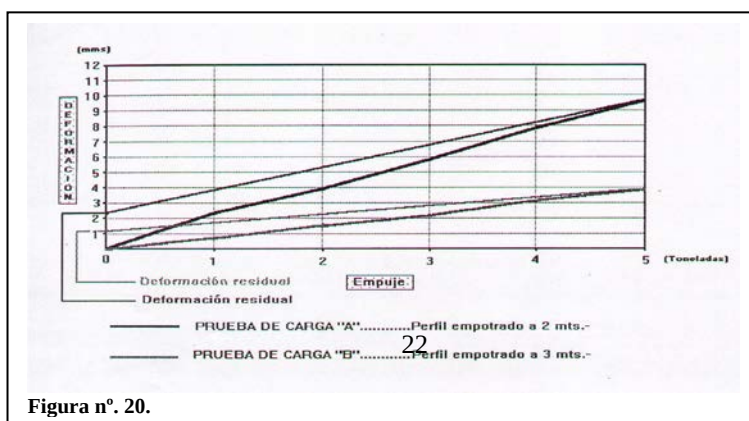


Figura n°. 20.

ESTADOS A MEJORAR:

Durante la realización de las pruebas de cargas efectuadas, se observaron una cierta deformación del "alma" de los perfiles metálicos, debida a los empujes soportados. Por tanto, se vio necesario realizar un refuerzo de dicha "alma", al menos en los 5º cm finales de la zona superior del perfil en donde se va anclar el tirante correspondiente, al mismo tiempo, dicho refuerzo, servirá para evitar daños importantes en la cabeza del perfil, durante su fase de hincado.

También se vio recomendable variar la posición del hincado de los perfiles, en vez de realizarlo en posición vertical, darle un cierto grado de inclinación en sentido contrario al del "tiro" previsto, aumentándose de esta forma su seguridad frente al arrancamiento", así como una mayor estabilidad general del perfil frente a los esfuerzos a los que se verá sometido por el tirante anclado en él.

6. CONSTRUCCION Y COLOCACIÓN.

6.1. Instalación de alambres, sobretensiones y amarrados de soporte.

Dependiendo del tipo de soporte, una vez contruidos, pasaremos los cables del apoyo inferior por el correspondiente sistema del amarre, dando la forma y apriete requerido.

6.2. Tensiones de roturas.

Los cables se llevarán a apriete mediante medidas de tensómetros, asegurando la corrección del mismo.

6.3. Extendido y cosido de malla.

Una vez obtenida y afianzada la base, procede el extendido de la rafia y cosido. La balsa se encontrará con agua y se adoptarán medidas para caso de caída de persona, mientras se constituye el extendido y cosido de la malla sombrero.

6.4. Cierre del sombrero.

Al mismo tiempo que se extiende y cose, se va procediendo a colocar los distintos cables del cierre, para evitar que vuele y modifiquen su posición.

6.5. Mantenimiento y conservación.

En general no necesitan de cuidados especiales y la experiencia existente en Almería es de una duración mayor de diez años. En el caso de roturas o desgarros, bastará solamente con volver de nuevo a incorporar parte del material deteriorado.

7. VARIANTE DE MALLA DE RAFIA DOBLE.

La malla de sombreado de doble capa tiene la siguiente configuración: una capa superior con bandas de alto porcentaje de sombreado (sin huecos) contiguas a otras bandas de alta permeabilidad al agua de lluvia (con mayor índice de huecos), y otra capa inferior con bandas superpuestas de forma inversa a las de la capa superior. Ambas capas están firmemente unidas para mantener la integridad del conjunto, lo que es imposible conseguir con los sistemas tradicionales por superposición de dos capas de rafia. De esta forma se consigue en toda la superficie una alta permeabilidad al agua de lluvia ($> 10 \text{ litros/m}^2/\text{min}$) a la vez que un elevado porcentaje de sombreado ($> 98\%$), permitiendo además enhebrar hilos de sustentación entre las dos capas, lo cual mejora el comportamiento del conjunto.

Otro factor clave a observar es el peso unitario, porque conseguir una terminación lo más plana posible es importante no sólo desde el punto de vista estético sino también funcional. En los diseños de doble capa el peso unitario se ha conseguido reducir hasta valores inferiores a $0'18 \text{ kg/m}^2$.

7.1.- HILOS DE SUSTENTACIÓN

Aunque se han utilizado hilos de sustentación de diferentes tipos, los más utilizados en la actualidad son los **hilos sintéticos** de altas prestaciones, principalmente los basados en poliamida o en poliéster de alta tenacidad.

Los alambres de acero, que en ocasiones se han utilizado en balsas de tamaño pequeño e incluso mediano, tienden a ser desechados a favor de los hilos de materiales sintéticos, ya que éstos presentan las siguientes ventajas:

- Mayor durabilidad a largo plazo, frente a fenómenos de oxidación en acero.
- Mayor flexibilidad, por lo que evita tensiones indeseables en los nudos.
- Mejor compatibilidad con la malla de sombreado, porque el rozamiento del cable de acero produce más daños en la malla al moverse con el viento.
- Mejor compatibilidad con los anclajes, porque los hilos sintéticos se adaptan mejor a la geometría y evitan problemas de abrasión
- Peso reducido (del orden de 6'5 veces menor que el cable de acero)
- No afectan a la calidad del agua.
- Manipulación más sencilla y segura.
- Muy buen aislante, por lo que no absorbe ni conduce calor fácilmente (bajo coeficiente de dilatación térmica)

Existe una gama muy amplia de hilos de sustentación, con resistencias de cálculo incluso superiores a 1.000 kg , aunque se recomienda que la fuerza de tensado no supere un cierto porcentaje de la resistencia de cálculo, para poder obtener un mejor comportamiento a largo plazo. También hay disponibles hilos con secciones múltiples, mediante trenzado o por yuxtaposición, que ofrecen resistencias mucho mayores, y están especialmente indicados para los casos en los que las luces a salvar son más largas.

7.2.- ANCLAJE PERIMETRAL

El anclaje perimetral se suele resolver mediante un tubo perimetral al que se atan los hilos de sustentación. Este tubo perimetral se apoya sobre angulares soldados a un ala de perfiles IPN colocados regularmente en todo el perímetro. La cimentación puede resolverse mediante pozos de hormigón en masa para balsas pequeñas, o con zapatas superficiales corridas de hormigón armado para balsas mayores. El tipo de cimentación y el dimensionamiento de todos los elementos deben ser calculados para

cada balsa en concreto, ya que depende de muchos factores tales como tipo de terreno y grado de compactación, distancia entre perfiles, etc.

7.3.- CIERRE PERIMETRAL

Lo ideal es que la superficie de la malla de sombreado quede a la misma cota que la coronación de talud de la balsa, pero por razones constructivas o de diseño a veces no se puede conseguir (p. ej., debido a la presencia de remates de hormigón en el perímetro de la balsa).

El cierre perimetral es un apartado muy importante para asegurar el buen funcionamiento del sistema. Su objetivo es cerrar lateralmente la franja que exista entre el plano de la malla y el camino perimetral de la balsa, con el fin de que el viento lateral no arrastre los vapores que puedan quedar acumulados en las partes altas del volumen cerrado por el sistema de sombreado y evitar a la vez efectos indeseables del viento.

7.4.- OTRAS CARACTERÍSTICAS

El sistema de cubierta fija mediante malla de sombreado permite además:

- Implantar un registro para inspección, formado generalmente por un marco de acero inoxidable, cuya apertura permite la inspección del interior de la balsa.
- Controlar la tensión aplicada, mediante un manómetro u otros sistemas
- Adaptarse a una amplia gama de posibilidades en cuanto a la configuración en planta y/o salvando algún bordillo o remate perimetral ya existente.

7.5.- COMPARATIVA CON OTRAS SOLUCIONES EXISTENTES

El diseño especial del sistema de sombreado basado en la malla de doble capa que describimos en la presente comunicación, permite un gran número de ventajas frente a otros sistemas de cubiertas fijas existentes:

Es un sistema en el que los hilos de sustentación se pueden enhebrar dentro de la propia malla, trabajando solidariamente con ella. La sustentación, por tanto, está optimizada a la estrictamente necesaria y su instalación se realiza desde el perímetro de la balsa.

Los sistemas alternativos de doble rafia superpuesta obligan a crear dos planos de sustentación formados por sendas cuadrículas de hilos entre los que se intercalan las rafias, y además a fijar éstas a las intersecciones de la cuadrícula por costosos sistemas, intensivos en cuanto a mano de obra, que generalmente obligan a desplazar a personas por encima de las mallas, con el consiguiente riesgo personal y de rotura de la misma.

En estos últimos, la sustentación es superior a la necesaria y tan solidaria entre sí que la rotura de uno o varios cables puede llegar a arruinar el conjunto.

Por el contrario, el sistema descrito es modular, de tal modo que cada panel se solapa con el contiguo, y la rotura fortuita de algún hilo sólo puede afectar al panel correspondiente, situación que puede ser fácilmente reparada.

Frente a situación de fuertes lluvias, el diseño de la malla permite grandes tasas de permeabilidad que no se consiguen con otros sistemas.

Finalmente, la disposición basada en paneles modulares permite una mejor respuesta frente a situaciones de acumulación de nieve, ya que los solapes entre paneles ofrecen un espacio a través del cual la nieve encuentra una fácil vía de evacuación.

7.6.- INSTALACIÓN

7.6.1.- FASES DE LA INSTALACIÓN

7.6.1.1.- Fase 1. Instalación de la red de soporte

La primera fase consiste en formar una red con hilos sintéticos de sustentación, que sirva de apoyo a la malla de sombreo. Esta red soporte facilita el extendido posterior de la malla de sombreo, al proporcionar un apoyo para la misma, y además disminuye las deformaciones de la malla por peso propio, mejorando así la planeidad del sistema.



Figura 21. Red soporte de hilos de sustentación.

El número de hilos a utilizar para formar la red depende del tamaño de la balsa, y se suelen colocar a distancias que oscilan entre los 0'5m y 1'5m. El diseño de esta red soporte puede ser una cuadrícula de hilos para balsas de forma cuadrangular. Para balsas de forma sensiblemente alargada, es conveniente reforzar el número de hilos en la dirección corta, utilizando los hilos en la dirección larga de forma auxiliar.

7.6.1.2.- Fase 2. Extendido del conjunto de malla de sombreo e hilos de sustentación

Una vez preparada la red soporte, se procede a extender los paños de malla de sombreo. En cuanto a sus dimensiones, conviene que tengan el mayor ancho posible, para disminuir el número de solapes. El largo en general no suele representar un problema, ya que puede fabricarse con largos a medida para cada balsa.

El proceso de extendido es sencillo y rápido. Una vez extendido el paño, las mallas de sombreo de doble capa permiten introducir hilos de sustentación enhebrados dentro de la propia malla. De esta forma, se consigue que malla e hilos trabajen de forma conjunta, mejorando el comportamiento final.



Figura 22. Hilo de sustentación dentro de la malla de sombreo

Una vez extendido el paño de malla de sombreo, y tensados los hilos que se han introducido en su interior, se fija el paño al perímetro de la balsa, que ya ha sido preparado previamente para recibir la malla de sombreo. El resto de los paños se instalan de igual forma hasta cubrir completamente la balsa, por lo que se pueden conseguir elevados rendimientos de instalación.

7.6.1.3.- Fase 3. Instalación de la red superior contra viento.

Para reducir al máximo los movimientos indeseables en la malla de sombreo generados por el viento, se coloca una última red bastante liviana de hilos sintéticos por encima de la malla. El diseño de esta red se optimiza de forma que los hilos pasen por encima de los puntos que puedan sufrir una mayor deformación vertical por la acción del viento. Con esta última red de hilos contra viento, se completan los tres niveles de hilos de sustentación (soporte, dentro de la malla y superior) con los que la malla queda fijada al perímetro, minimizando tanto la deformación vertical por peso propio, como los movimientos debidos a la acción del viento.

7.6.1.4.- Fase 4. Cierre perimetral y terminación final.

Finalmente, se remata el cerramiento de la balsa en el perímetro para evitar que el viento pueda entrar lateralmente. Este cerramiento consiste básicamente en una cortina vertical del mismo material que la malla de sombreo, fijada tanto superior como inferiormente.

7.6.2.- ASPECTOS A TENER EN CUENTA EN LA INSTALACIÓN

7.6.2.1.- Nudos

Los nudos con los que se fijan al perímetro los hilos de sustentación son uno de los aspectos clave del sistema, ya que son los que transmiten los esfuerzos del sistema a la cimentación.

Aunque el tipo de nudo puede variar de unas balsas a otras, hay una serie de condiciones que en cualquier caso deben ser exigidas:

- El reparto de tensiones debe realizarse en la mayor longitud posible
- Debe impedir el “retroceso” del hilo, de forma el nudo permanecerá en las mismas condiciones incluso teniendo en cuenta la relajación del hilo con el paso del tiempo
- Debe ser sencillo de ejecutar, ya que afecta directamente al rendimiento de la instalación
- Se deben respetar las recomendaciones del fabricante en cuanto diseño, radios mínimos, etc.

7.6.2.2.- Herramientas a utilizar

Una de las principales ventajas del sistema de cubiertas por malla de sombreo es que su instalación es sencilla, rápida y económica. La principal herramienta a utilizar es el tensionador de los hilos, que puede ser del tipo que aparece en la fotografía o incluso un tráctel. Cualquiera de ellos debe ser capaz de poner a la tensión adecuada los hilos de sustentación. De forma opcional, se pueden utilizar dispositivos que miden la tensión real aplicada a los hilos de sustentación, con objeto de comprobar que la tensión aplicada está dentro del rango inicialmente proyectado.



Figura 23. Herramientas a utilizar

7.6.2.3.- Otros factores a tener en cuenta en la instalación

En cuanto a la forma de realizar la instalación, es conveniente que la ejecución sea independiente de si la balsa se encuentra llena o vacía, de forma que no sea necesario que ningún operario tenga que caminar sobre la malla para ejecutar la instalación, lo que repercute en la seguridad de los instaladores y en el propio sistema al no introducir solicitaciones innecesarias.

Antes de proceder a la instalación, es recomendable comprobar los siguientes aspectos:

- Dirección y sentido de los vientos dominantes
- Meteorología, ya que la ausencia de viento y precipitaciones facilita la instalación
- Comprobación del estado de la cimentación y elementos metálicos de anclaje
- Disponibilidad de espacio al lado de la balsa para poder extender y manejar los rollos
- Buen acceso a la zona de trabajo



Fig 24

8. ANÁLISIS ECONÓMICO.

8.1. Costos de instalación medio.

Supongamos que el mercado es capaz de competir con cubrir una balsa, independiente del soporte utilizado y dando una referencia para ser contrastada con la realidad, con números redondos, de 3,75 €/m² (1,2 € de alambre, 0,9 de rafia, 1,65 colocación mano de obra).

8.2. Rentabilidad.

Supongamos que la balsa posee una cierta entidad, por ejemplo 30.000 m² de superficie máxima de lámina de agua libre con 12 metros de altura. Su capacidad en volumen máximo de agua, de 235.000 m³. Se ha practicado un estudio de las pérdidas anuales de evaporación en un periodo amplio de tiempo y se ha estimado en 45.000 m³ de agua que se pierde. Esta Comunidad realiza una explotación de un sondeo y llevar el agua le supone un costo real de 0,25 €/m³. Las perdidas anuales en el año de comienzo son de 10.818 €.

La Comunidad de Regantes ha pedido oferta para realizar el sombraje de la balsa y los resultados de la inversión son favorables de construirse por tener la balsa una configuración alargada. El presupuesto del sombraje es de una inversión de 108.182 €, que piensa en financiar con un banco de la localidad.

El proyecto se subvenciona en una cantidad determinada en el porcentaje invertido (32.455 €) y los prestamos son del tipo normal (8/10), devueltos en 10 anualidades. La duración mínima de la utilidad de la inversión, se considera sobre 15 años.

Esta evaluación económica, puede cifrarse en una T.I.R. de más del 40 %.



Figura 25. Sistema de sombreeo anclado en murete perimetral (Cieza, Murcia).

Bibliografía

Bengoechea, J.M.; Pérez de los Cobos, J.; Pérez Parra, J. y López Segura, J.G. (1991). Evaluación de las pérdidas de agua de Riego en el Campo de Dalías, Almería. Symposium sobre el agua en Andalucía. Córdoba.

Brown, J.A. (1988). The potential for reducing open water evaporation losses: a review. Hydrology and Water Resources Symposium 1988. Camberra, Australia. pp 108-115.

De los Santos Alfonso, R. 2001. Análisis técnico del proyecto y construcción de balsas para regulación de riegos. U. P. Cartagena. 2.001.

Dal Ré. R., y otros. 2.003. Pequeños embalses de uso agrícola.

Machado DO VALE, José L., SCUERO, Alberto M., VASCHETTI, Gabriella L., *"Capping the lagoon for the toxic sludge of E.T.A.R.I. in Alcanena with a floating cover"*. Proceedings of the Third International Congress on Environmental Geotechnics, Lisboa, pag. 151-156, September 1998. Edited by A.A. Balkema.

KOERNER, Roberto M. (1994) *"Designing with Geosynthetics"*. Edited by Prentice-Hall, Englewood Cliffs, E.U.A.

MACHADO DO VALE, José L. y SCUERO, Alberto M. *"Coberturas flexíveis flutuantes para proteção de reservatórios de água"*. Procedimentos, 6º Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa, Lisboa, Abril 1994.

Donoso Sanz, Juan Luis. 2.005. Sistema de cubrición fija mediante malla de sombreado para evitar pérdidas por evaporación en balsas de agua. Symposium sobre balsas en Sevilla.