

**Guías para el proyecto, construcción, explotación,
mantenimiento, vigilancia y planes de emergencia
de las balsas de riego con vistas a la seguridad**

Guías para el proyecto, construcción, explotación, mantenimiento, vigilancia y planes de emergencia de las balsas de riego con vistas a la seguridad



GENERALITAT
VALENCIANA

CONSELLERIA DE MEDI AMBIENT, AIGUA, URBANISME I HABITATGE

© Generalitat Valenciana, 2009

Edita: Generalitat Valenciana
Conselleria de Medi Ambient, Aigua, Urbanisme i Habitatge

Elaboración:

Coordinación

- Emilio Pons Castelló, Jefe del Servicio de Planificación y Proyectos (1)
- Francisco A. Zapata Raboso, Jefe de la Sección de Planificación Hidráulica de Alicante (1) (2)

Redacción

- José Luis Adalid Elorza, Catedrático Emérito de Universidad (2)
- Carlos M. Ferrer Ferrer, Catedrático de Universidad (2)
- J. Batiste Torregrosa Soler, Profesor Titular de Universidad (2)

Equipo de trabajo

- Francisco Colomer Mendoza, Profesor Ayudante Doctor (3)
- José Javier Ferrán Gozávez, Profesor Titular de Universidad (2)
- Andrés Ferrer Gisbert, Profesor Titular de Escuela Universitaria (2)
- Carlos M. Ferrer Gisbert, Profesor Titular de Universidad (2)
- Miguel Redón Santafé, Profesor Colaborador (2)
- Francisco J. Sánchez Romero, Profesor Colaborador (2)
- Alicia Vicente Sanz (1)

Diseño gráfico

- Cristina Fenollosa Antolín
- Ana Terrón Benages
- Mesfin Gebremichael Werkelul

- (1) Dirección General del Agua de la Conselleria de Medi Ambient, Aigua, Urbanisme i Habitatge
- (2) Universidad Politécnica de Valencia
- (3) Universidad Jaume I de Castellón

Diseño y maquetación: Área de Publicaciones
Conselleria d'Indústria, Comerç i Innovació

1ª edición: octubre, 2009

ISBN: 978-84-482-5322-6

Depósito legal:

Imprime: Addo impresores, sal (addo@addoimpresores.com)

GUÍA 1

Guía para el proyecto y construcción de balsas de tierra

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Objeto y alcance de la guía

En la normativa técnica de seguridad sobre balsas de riego que la Conselleria de Medio Ambiente, Agua, Urbanismo y Vivienda está elaborando, se fijarán las condiciones y requisitos que deben cumplir las balsas y su explotación para que queden satisfechas las actuales exigencias de seguridad de la sociedad y en la medida de lo previsible, las futuras, al menos a medio plazo. Pero siguiendo las tendencias actuales no precisa como hacerlo, dejando a la profesionalidad del proyectista la elección, dimensionamiento y justificación de las soluciones que adopte.

Facilitar esta labor y en cierta medida, homogeneizar indirectamente los criterios, es la finalidad de la presente guía, que en ningún caso ha de tomarse como «normativa» sino como «recopiladora y orientadora», poniendo a disposición, en un solo documento, una selección de procedimientos y soluciones que en el momento presente se estiman más adecuados. Con el paso del tiempo, quizá no mucho, parte de lo que aquí se proponga habrá quedado obsoleto por la evolución de la técnica y en algunos casos por la práctica imposibilidad de utilizar buenas soluciones pero que comportan una proporción de ejecución «artesanal» no disponible, ni viable económicamente.

Este modo de hacer es el que ha seguido el Ministerio de Medio Ambiente, con el Reglamento Técnico sobre Seguridad de Presas y Embalses (Orden de 12 de marzo de 1996) y las guías que lo han seguido. Dichas guías están orientadas a presas y embalses y de ellas puede obtenerse buen partido para las balsas. Pero las balsas, como se verá más adelante, son —salvo alguna excepción— sustancialmente diferentes de las presas. Por este motivo es aconsejable disponer de una guía específica para ellas.

21

1.2. Breve reseña histórica de las balsas y su evolución

Las actuales balsas tienen sus humildes antecedentes en las «albercas» de los huertos familiares, pequeños depósitos de 20-100 m³, cuya misión básica era adaptar el ritmo de caudales entrantes generalmente unas decenas de litros por minuto, al ritmo adecuado para regar el huerto, unas decenas de litros por segundo, así como poder elegir el momento adecuado para hacerlo. Hay otro tipo de balsas, las «naturales», mejoradas o no, que se forman en extensas zonas impermeables, generalmente granitos o mioceno y que sirven de abrevadero para el ganado criado en libertad.

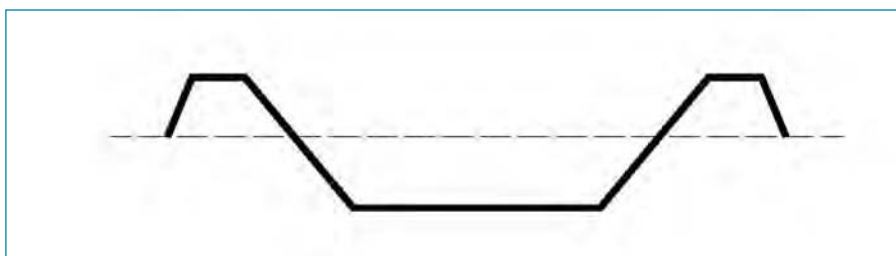
Aparece ya aquí una diferencia funcional importante de las balsas respecto a los embalses: las balsas almacenan y regulan pero no captan; el embalse, que intercepta un curso de agua, además capta. Como consecuencia la balsa no tiene avenidas, el embalse sí.

► En algunas ocasiones, puede convenir situar una balsa en un cauce; en ese caso el curso de agua no conviene introducirlo directamente en la balsa; de algún modo hay que evitar que los arrastres la colmaten. De las avenidas sólo puede captarse una parte exigua.

► Una característica esencial de las balsas es que se construyen en el punto en que se necesitan, sean las que sean las condiciones geotécnicas del lugar.

Hasta la aparición de las láminas plásticas impermeables, allá por los años 60, los procedimientos disponibles eran los muros de mampostería y las tierras arcillosas. Los muros de mampostería eran una limitación obvia por su coste y dieron lugar a las citadas «albercas». La solución arcillosa limitaba los lugares en los que era viable utilizarla, que podían o no ser los necesarios.

Por otra parte la extensión del regadío exigía mayores volúmenes regulados y los nuevos métodos de riego, el riego localizado especialmente, mayor garantía diaria de suministro. La impermeabilización con lámina permitió resolver estas cuestiones. La balsa pasó a ser una excavación en cualquier terreno cuya capacidad se aumentaba con diques construidos con el material excavado, compensando volúmenes y se impermeabilizaba con una lámina plástica a veces de sólo unas décimas de milímetro de espesor.



▲ *Figura 1.1.*

Se construyeron así decenas de miles de balsas con un resultado global francamente bueno; muy pocas fallaron y las que lo hicieron no dieron lugar a daños graves. Una explicación plausible de este buen comportamiento se encuentra, básicamente, en la impermeabilidad de las láminas y en su enorme deformación en rotura. La primera mantiene seco el entorno del vaso y los diques, y la segunda impide la rotura de la lámina aún con deformaciones importantes y asentamientos diferenciales notables.

Por otra parte, el reducido volumen de casi todas ellas dio lugar a que las pocas que fallaron no ocasionaran accidentes graves. Desde hace ya algunos años, se va sintiendo con intensidad creciente la necesidad no sólo de regular los caudales afluentes en una

o dos semanas en el momento de regar, sino de almacenar el agua necesaria para los meses de final de la primavera y de verano. Esto lleva a construir balsas cada vez de más capacidad, (varios hm³) y con calados de 15 o más metros, con lo que las circunstancias cambian respecto a las de las balsas de un par de decenios atrás. Los aspectos de mayor relevancia de estos cambios respecto a la seguridad son el aumento de los daños potenciales en caso de rotura y la disminución relativa del efecto estabilizador de la cohesión al aumentar considerablemente la altura de los diques.

Otra cuestión que cobra importancia en estas balsas de mayor capacidad, es la posibilidad de conseguir el descenso del nivel de agua con suficiente rapidez en el caso de una avería preocupante.

1.3. Estructura de la *Guía*

La *Guía* no se plantea como un «tratado de balsas» sino realmente como una guía para una mejor y más sencilla utilización para las balsas, del ingente volumen de conocimientos existentes al alcance del proyectista, referidos básicamente a presas y embalses, adaptándolos a las condiciones específicas de las balsas. Básicamente estas diferencias son:

- ▶ Las balsas se construyen donde se necesitan, sean favorables o desfavorables las condiciones geológicas y geotécnicas.
- ▶ Los diques se construyen con los materiales excavados para crear parte del vaso, procurando compensar los volúmenes.
- ▶ Las balsas, salvo las construidas en cauces no tienen avenidas.

Consecuentemente, no se incluyen en detalle cálculos hidrológicos, hidráulicos o de estabilidad que están al alcance en excelentes tratados y monografías pero, sí se recomienda cómo y en qué medida, utilizarlos en sus aplicaciones a las balsas y análogamente se procede en los aspectos geológicos, geofísicos y de materiales.

En la *Guía para la explotación, mantenimiento, vigilancia y planes de emergencia de las balsas de riego con vistas a la seguridad*, se incluyen suficientes casos reales de incidencias, averías y ruinas, analizando sus causas y el modo en que podrían haberse evitado, o mitigado, pues se estima que estos análisis contribuyen eficazmente a profundizar en el conocimiento del comportamiento de las balsas, de sus puntos y zonas débiles o sensibles y de las posibilidades reales de actuación.

2. TIPOS DE BALSAS

2.1. Consideraciones generales

Las diferentes condiciones locales y los distintos modos de lograr la impermeabilización del vaso dan lugar a una gran diversidad de soluciones. Sin embargo la gran diversidad proviene de las condiciones locales. Con referencia al procedimiento de impermeabilización prácticamente la totalidad de las posibilidades quedan integradas diferenciadamente en uno de los grupos siguientes:

- ▶ Balsas impermeabilizadas con arcillas
- ▶ Balsas impermeabilizadas con láminas
- ▶ Balsas impermeabilizadas con asfalto
- ▶ Balsas impermeabilizadas con hormigón

Hoy por hoy, el grupo más numeroso de las existentes y de las proyectadas a corto plazo lo constituyen las impermeabilizadas con láminas. Sin embargo, hay que tener presente que al aumentar su capacidad por encima del hectómetro cúbico se aprecia una tendencia, si la cimentación lo permite, al asfalto por motivos de seguridad (vandalismo) y de durabilidad. En cuanto a las condiciones locales los aspectos más influyentes son la situación y variación del nivel freático, la disposición en llano o en media ladera y la pretensión o no de medir y localizar eventuales filtraciones.

Un grupo diferente, poco frecuente hoy, pero con porvenir es el de las balsas en cursos de agua que en realidad son embalses que básicamente se llenan con aportación exterior. Generalmente es preciso impermeabilizar el vaso e impedir que los arrastres y sedimentos de la cuenca propia penetren en él y lo colmaten.

En los apartados siguientes describiremos los distintos tipos y las disposiciones adecuadas según las condiciones locales. En particular, en el capítulo 5 se tratan concretamente los sistemas de impermeabilización y su problemática específica.

2.2. Balsas Impermeabilizadas con arcillas

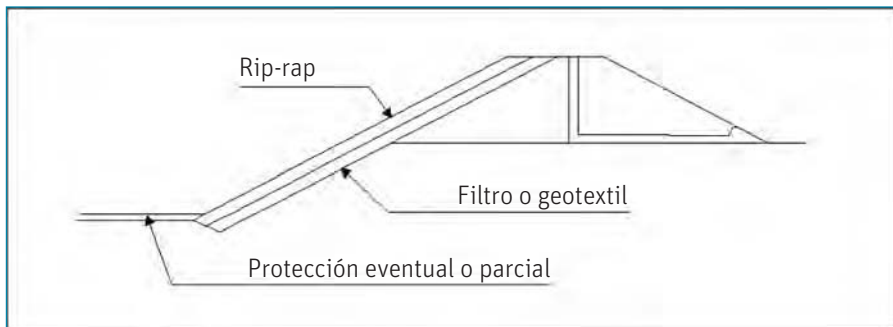
Como se ha señalado anteriormente, las balsas se sitúan donde se necesitan independientemente de la mejor o peor calidad del terreno. Por ello, es poco frecuente que el emplazamiento sea impermeable y que el material que se excave sea, a su vez, adecuado para construir con él un dique impermeable. Tampoco es frecuente que se encuentre en las inmediaciones un material arcilloso adecuado. Pero si se dan ambas o alguna de estas circunstancias conviene, en principio, aprovecharlas para obtener una obra más duradera.

2.2.1. Emplazamiento impermeable y material de excavación adecuado

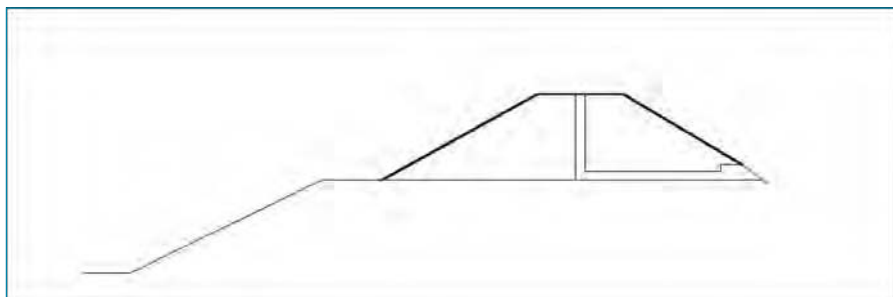
La impermeabilidad de la parte excavada está asegurada. En cuanto a la estabilidad y durabilidad conviene distinguir entre la estabilidad al deslizamiento y ante la erosión y degradación. La primera se comprueba de un modo clásico preferentemente mediante el método de Bishop a vaciado rápido, partiendo de terreno saturado.

La protección más eficaz ante la erosión, sea por oleaje u otras causas y ante la degradación es un *rip-rap* sobre una capa de filtro, para evitar que el material arcilloso emigre por los huecos del *rip-rap*. Esta capa de filtro puede sustituirse, sobre todo si la obra no es muy grande, por un geotextil no tejido de 400 gr/m², cuya duración al estar protegido de la luz es muy larga. El fondo puede protegerse o no, o hacerlo parcialmente si se quiere un acceso firme a los órganos de desagüe.

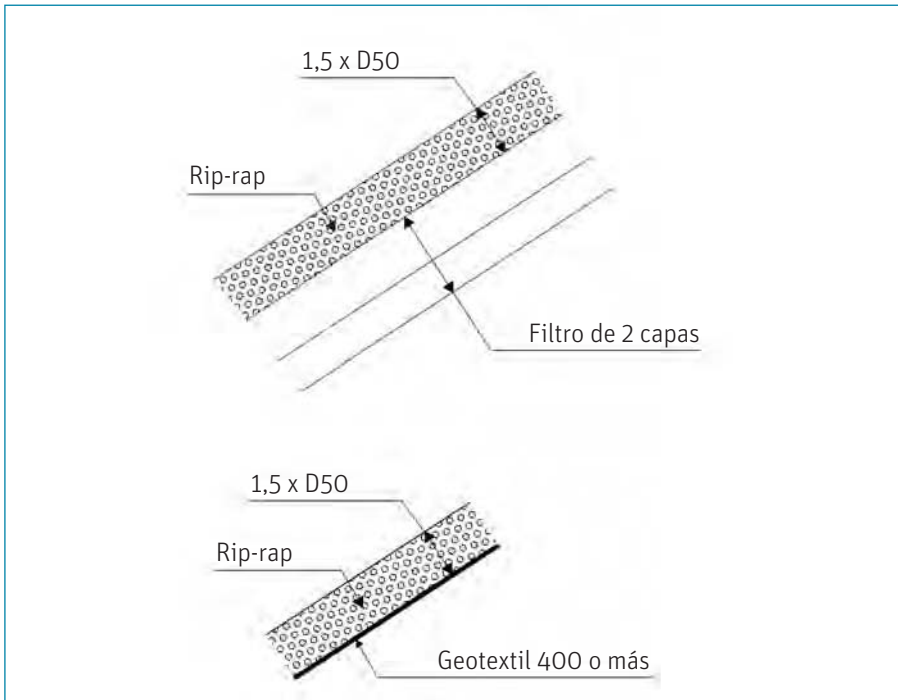
El talud de la parte excavada generalmente continuará en el dique (Figura 2.1.), pero no necesariamente (Figura 2.2.), sobre todo si la balsa es muy profunda



▲ Figura 2.1.



▲ Figura 2.2.



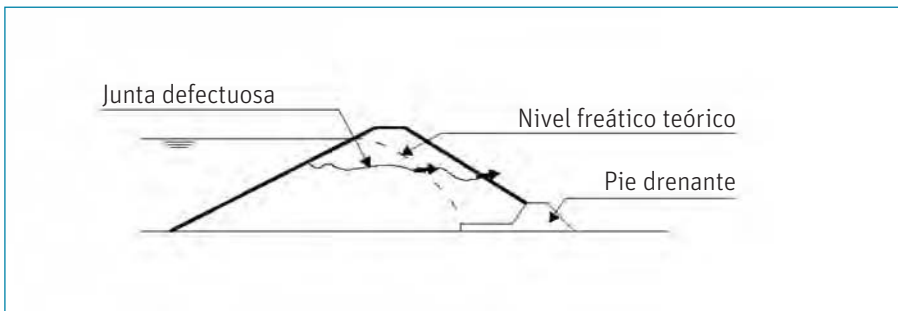
▲ *Figura 2.3.*

26

La práctica usual es compensar los volúmenes excavados y los utilizados en el dique, una vez retirada la capa vegetal y eventualmente alguna otra parte.

El volumen a utilizar en el dique dependerá, por una parte de las características del material (ϕ y c) y por otra del tipo de sección que se adopte.

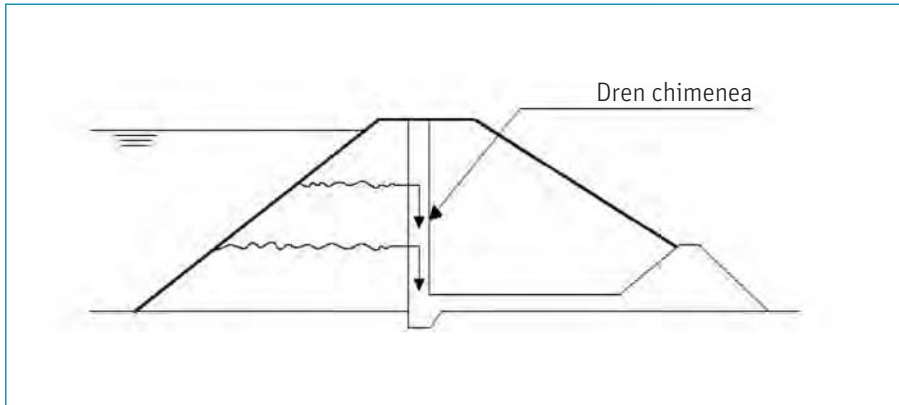
La sección de la Figura 2.4. rebaja, teóricamente, la línea de saturación según indica la figura pero no impide que el agua circule por una junta defectuosa y arruine la obra por arrastre de material.



▲ *Figura 2.4.*

Esta circunstancia es especialmente importante en las balsas, pues las distancias son cortas y el control de ejecución puede tener dificultades.

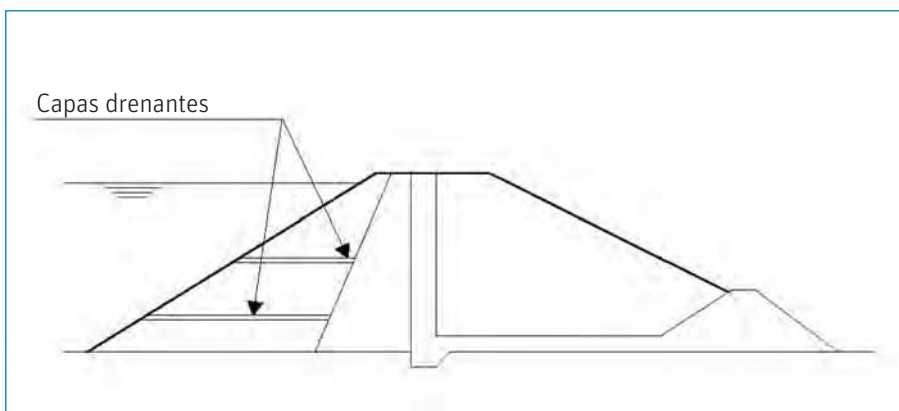
En la sección de la Figura 2.5., la incidencia mencionada resulta imposible, pues las eventuales filtraciones quedan cortadas por el dren chimenea.



▲ Figura 2.5.

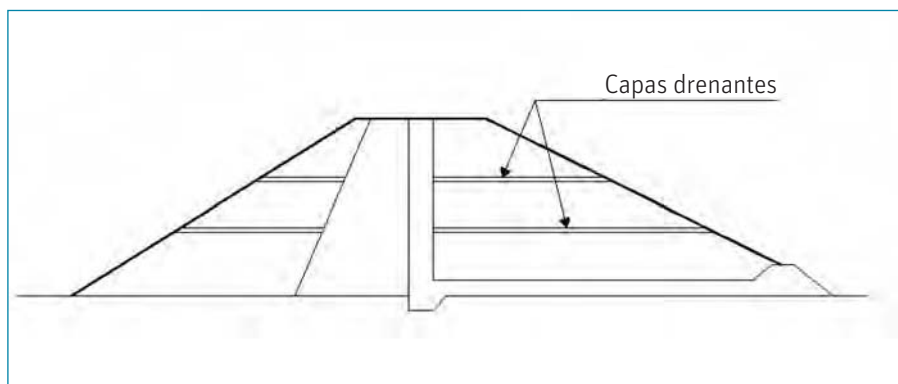
Además, toda la zona de dique de aguas abajo del dren chimenea está siempre seca lo que conduce a que sea muy segura y pueda tener un volumen menor.

En la sección de la Figura 2.6., las capas drenantes del espaldón de aguas arriba reducen drásticamente las presiones intersticiales en vaciado rápido, con lo que el volumen del espaldón puede ser sustancialmente menor para la misma seguridad.



▲ Figura 2.6.

Finalmente, las capas drenantes aguas abajo permiten una ejecución rápida con materiales muy impermeables, sin provocar presiones intersticiales importantes durante la construcción.



▲Figura 2.7.

Como las dimensiones de los diques de las balsas son reducidas esta disposición raramente será de interés para ellas.

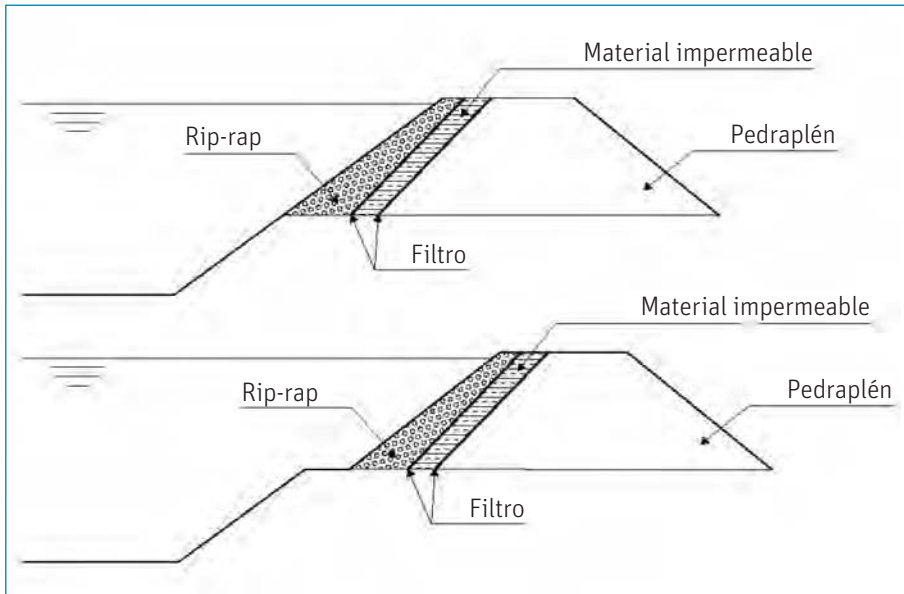
Resumiendo, las disposiciones de interés, son las de las Figura 2.5. y Figura 2.6., tanto por seguridad como por ahorro de materiales.

2.2.2. Emplazamiento impermeable y material de excavación permeable

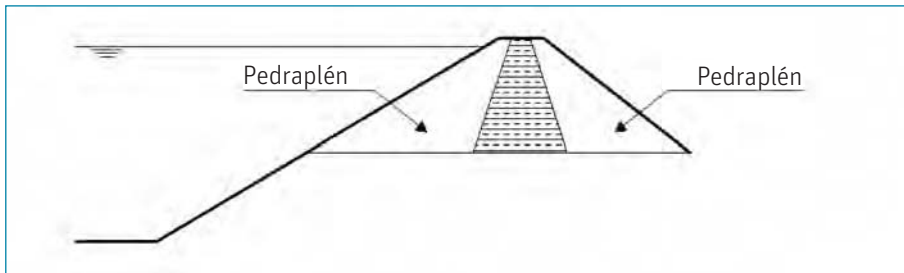
Este puede ser el caso de una balsa excavada en pizarras. El cuenco excavado es impermeable, pero con los materiales excavados no se puede construir un dique impermeable, aunque sí un dique soporte de una impermeabilización que puede ser con material arcilloso si existe a distancia adecuada.

Puede ocurrir que los taludes del cuenco sean impermeables en toda su altura o que presenten permeabilidad horizontal en parte o en toda ella.

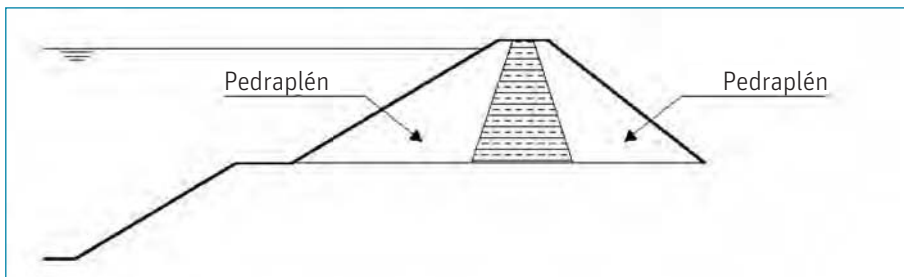
Como se aprecia en las figuras se trata de construir un dique de núcleo impermeable aguas arriba (Figura 2.8.), o centrado (Figura 2.9.), y en ambos casos dejando o no una berma por otras consideraciones, ya que la berma es impermeable.



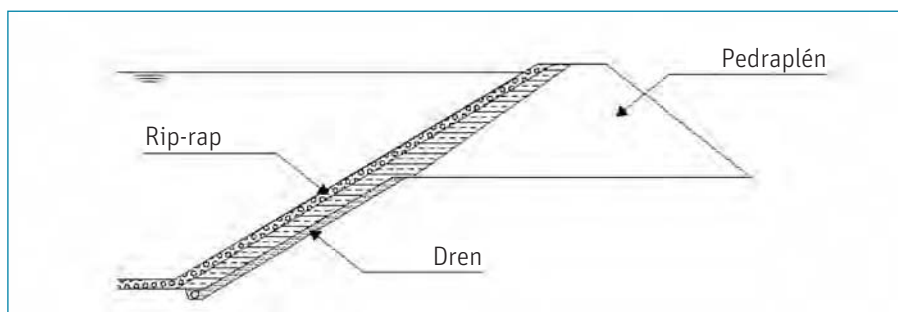
▲ *Figura 2.8.*



▲ *Figura 2.9.*



▲ *Figura 2.10.*



▲ Figura 2.11.

En vaciado rápido el núcleo aguas arriba no presenta teóricamente presiones intersticiales (Cedergreen, Sherard) mientras drene en vertical. Sin embargo, en obras en explotación se han medido presiones en el centro del orden de $1/3$ de la carga de agua y nula en los bordes.

Aunque se han atribuido a la liberación de aire disuelto es prudente tenerlas en cuenta y así se ha hecho en La Bujeda en la cabecera del trasvase Tajo-Segura. De todos modos, en las cuantías indicadas resultan prácticamente irrelevantes. El núcleo centrado sí presenta presiones intersticiales, y se deben tener en cuenta, aunque su efecto resulta prácticamente nulo ante los espaldones de pedraplén. (Figura 2.9. y Figura 2.10.)

30

Los que sí son importantes son los filtros para evitar migraciones, aunque como en el caso anterior, pueden sustituirse por geotextil no tejido, en las dimensiones usuales en las balsas. Si los taludes interiores son permeables será preciso disponer un drenaje (Figura 2.11.) para que con la balsa vacía el agua exterior no levante la impermeabilización. Este drenaje resulta además muy beneficioso en el caso del desembalse rápido.

2.2.3. Emplazamiento permeable y material de excavación permeable.

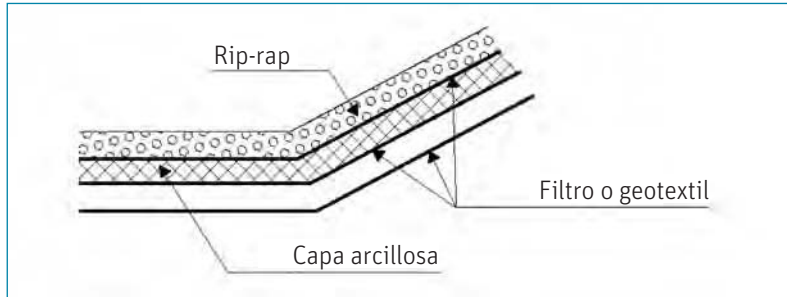
En este caso es necesario impermeabilizar también el fondo. Una circunstancia de especial importancia es si el nivel freático exterior está siempre, o no, por debajo del fondo (consideremos por ejemplo el caso de una balsa en un aluvial) y la permeabilidad del emplazamiento.

Otro aspecto de interés es si se quiere sectorizar para detectar y localizar las eventuales fugas.

2.2.3.1. Nivel freático siempre bajo el fondo sin detección de fugas.

En el fondo (Figura 2.12.), basta con evitar la migración con un filtro o un geotextil. En los taludes habrá que añadir un rip-rap de protección sobre otro filtro o geotextil. Si

se quiere circular por el fondo a embalse vacío, convendrá disponer un firme de zahorra en todo o en parte de él.

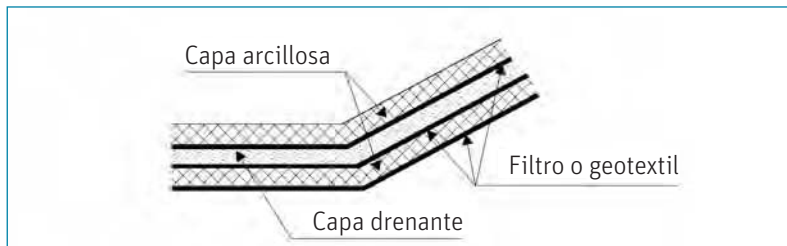


► *Figura 2.12.*

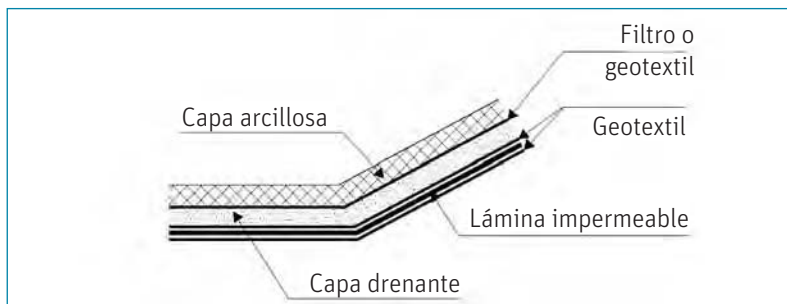
2.2.3.2. Nivel freático siempre bajo el fondo con detección de fugas.

Si se quiere tener una detección y localización de fugas no queda más remedio que disponer una doble impermeabilización, la de la balsa y la de las fugas hacia el terreno para poder detectarlas y medirlas.

Esta segunda impermeabilización puede hacerse también con material arcilloso (Figura 2.13.) o con una lámina plástica o bituminosa (Figura 2.14.). Dado el coste que esta doble impermeabilización conlleva, parece aconsejable sólo en balsas de gran superficie sectorizada.



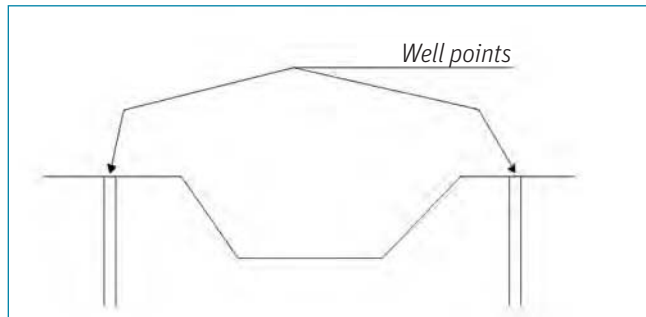
► *Figura 2.13.*



► *Figura 2.14.*

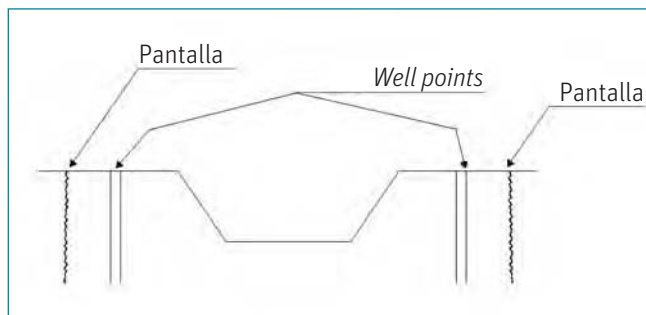
2.2.3.3. Nivel freático sobre el fondo

En este caso, resulta necesario rebajar el nivel freático en todo el contorno de la balsa hasta una cota inferior a la del fondo para evitar el colapso en el vaciado. El procedimiento que se emplee para ello depende, básicamente, de la permeabilidad del terreno y de la procedencia del agua. Si el agua puede ser desviada resultaría el procedimiento más seguro y permanente. Si el terreno no es muy permeable puede recurrirse a los *well points* (Figura 2.15.) lo que conlleva un bombeo permanente.



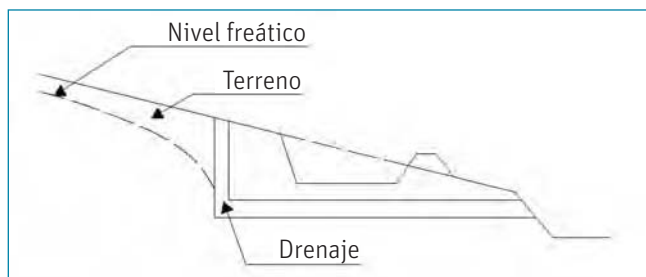
► Figura 2.15.

Si es demasiado permeable se puede intentar impermeabilizar lo suficiente en el contorno para que el bombeo sea tolerable (Figura 2.16.).



► Figura 2.16.

Finalmente puede en algún caso darse la circunstancia de que el contorno pueda drenarse por gravedad (Figura 2.17.).



► Figura 2.17.

2.3. Balsas impermeabilizadas con láminas

La situación «habitual» es que el emplazamiento sea permeable, y que con los materiales excavados no se pueda construir un espaldón impermeable, ni estable internamente ante una circulación de agua a su través de una cierta intensidad. Tampoco la estabilidad de forma de los espaldones que se construyan es muy fiable y, en cualquier caso, no es de esperar que su deformación sea homogénea.

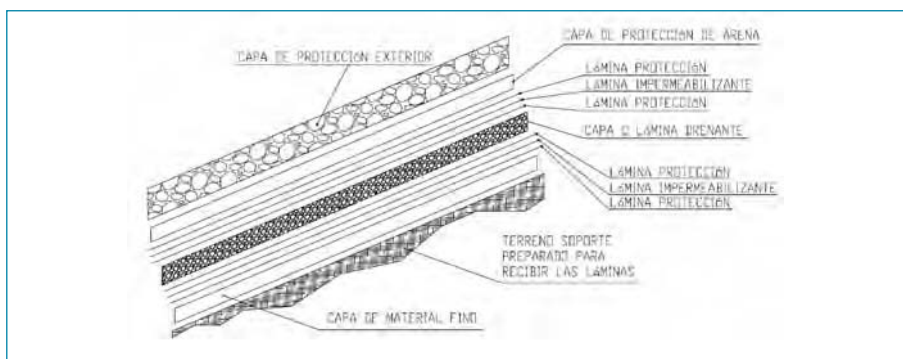
Estas circunstancias llevan, por una parte, a disponer de una impermeabilización capaz de soportar deformaciones acusadas sin deterioro apreciable, y por otra, a tomar disposiciones que eviten, en el caso de que una avería en la impermeabilización ocasione una filtración de cierta importancia, que ni los espaldones ni el terreno sean destruidos por erosión interna.

La impermeabilización flexible se logra con eficacia mediante las geomembranas, láminas sintéticas de diversas composiciones, pero todas con una elevada deformación en rotura, del orden del 200% y más, que además de impedir la rotura, aún con asientos diferenciales importantes, delatan la situación mucho antes de que pueda ser peligrosa.

En cuanto a la erosión interna, la solución es siempre de filtro que impida la migración, asociado al drenaje para dejar sin presión ni fuerza de arrastre al agua que atraviesa el filtro.

Las láminas se adaptan a las más variadas condiciones locales, y tanto su impermeabilidad, como sus propiedades mecánicas, son independientes de ellas ya que se trata de productos elaborados en fábrica. Debido a ello, la impermeabilización con láminas ha sido, y sigue siendo, la utilizada hasta volúmenes del orden del hm^3 , en que ya se tienen superficies expuestas que presentan dificultades de mantenimiento debido a sus dimensiones.

La estructura completa de este tipo de impermeabilización es la representada en la Figura 2.18.



▲ Figura 2.18.

El terreno soporte debe presentar un paramento lo más liso posible, exento de material granular grueso al que se suele aplicar una capa de material fino cohesivo. Esta capa sirve para nivelar, uniformizar y crear una base con una granulometría fina para recibir las láminas sintéticas, y evitar su punzonamiento. Además de esta función de apoyo adecuado, hace también el papel de segunda línea impermeable, que ante un desgarro de la lámina limita el caudal.

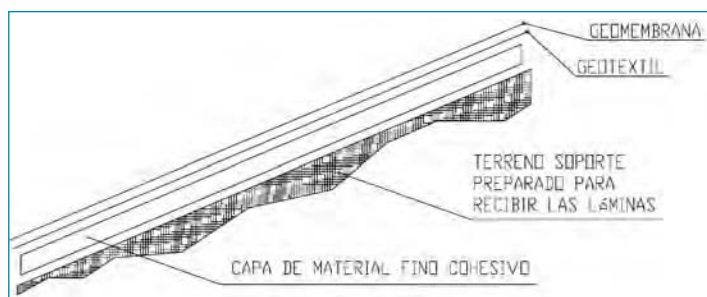
Las láminas de protección son los denominados geotextiles. Las láminas impermeabilizantes, son las denominadas geomembranas. La capa drenante en el caso de ser ejecutada con zahorra o gravilla, limita la pendiente del talud, respecto a la que pudiera realizarse, si se sustituye dicha capa por geosintéticos. Los geosintéticos no tienen mucha capacidad de evacuación por lo que su efecto resulta una combinación de segunda lámina y aviso. La gravilla tiene mucha capacidad y se estabiliza eficazmente con un 2-3% en peso de betún perdiendo menos del 5% de capacidad (Cedergren: *Seepage, Drainage, and Flow Nets*, 3ª Ed. Wiley).

La capa de protección exterior, de material grueso, protege la lámina de impactos exteriores, y lo que es más importante de la radiación solar, lo que supone en la práctica el no envejecimiento de la geomembrana; las pendientes a utilizar son del orden $1V/4H$. Esta capa presenta dos problemas que son:

- ▶ Uno de tipo constructivo, que es su colocación sin dañar la geomembrana.
- ▶ La detección y reparación de fugas.

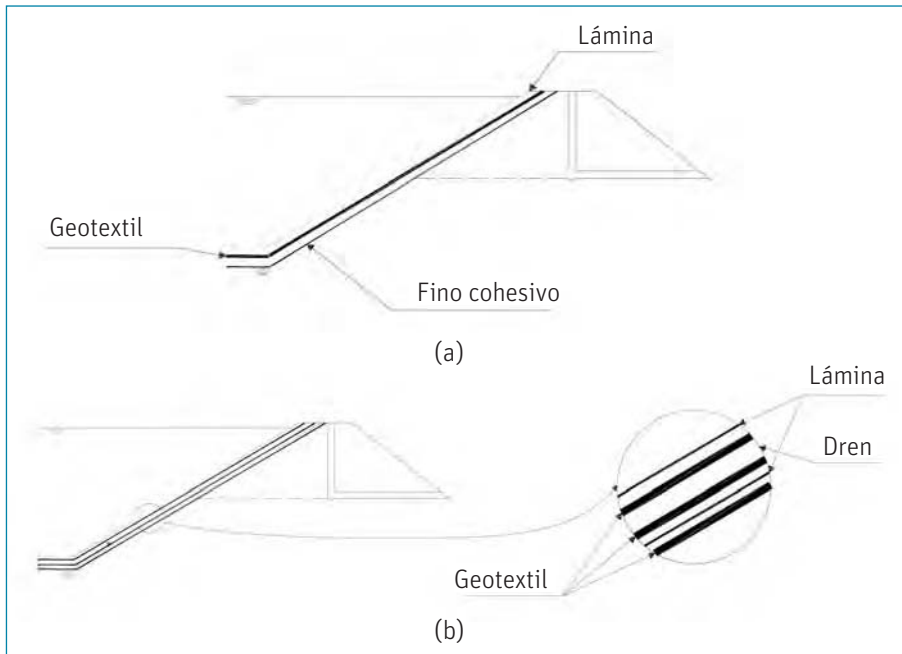
Este tipo de protección exterior con extendido en dos capas una inferior de arena, y una superior de material grueso de unos 50 mm, estuvo muy extendida en el pasado, asociado a geomembranas de polietileno de baja densidad, y sólo unas décimas de milímetro de espesor que era ineludible proteger, presentando un resultado excelente, sin apenas envejecimiento de la geomembrana. En la actualidad, debido fundamentalmente a las dificultades arriba mencionadas no se ejecuta. La estructura completa, representada en la Figura 2.18. sólo se ejecuta cuando se quieren localizar y medir las eventuales filtraciones, y aún entonces sin la protección exterior, por los inconvenientes a que da lugar, y con el dren de material geosintético. En la práctica la solución más extendida es la siguiente (Figura 2.19).

▶ Figura 2.19.



2.3.1. Aspectos específicos de las balsas impermeabilizadas con láminas

Sin perjuicio de que en el capítulo 5 se analice con detalle el sistema de impermeabilización en sus diversas facetas, conviene señalar ya aquí los aspectos más relevantes. Dado que se trata de balsas impermeabilizadas, se da por sentado que el terreno es permeable, así como los diques que se construyan con los materiales excavados.



▲ Figura 2.20.

Análogamente a las balsas impermeabilizadas con arcilla, se tiene la influencia del nivel freático exterior y la necesidad o no, de medir los caudales filtrados en su caso.

La lámina «no pesa» prácticamente, y ya se ha indicado que por otros motivos se renuncia, en general, a lastrarla con un rip-rap, que a su vez la protegería de la luz ultravioleta y del oleaje. Esto conduce a un aspecto específico de este tipo de impermeabilización que es la acción del viento, directamente por succión e indirectamente por el oleaje.

La lámina es sensible al punzonamiento sobre todo «diferido» por puntos duros, piedras o gravas en general, para lo que se dispone la capa de material fino y el geotextil.

El terreno puede ser arrastable o soluble por las eventuales filtraciones, lo que lleva a disponer una doble impermeabilización (Figura 2.20. b).

Se tienen así las siguientes situaciones de especial interés:

1. Emplazamiento permeable no erosionable ni soluble.
2. Emplazamiento permeable erosionable y/o soluble.
3. Nivel freático siempre bajo el fondo.
4. Nivel freático por encima del fondo siempre u ocasionalmente.
5. Punzonamiento.
6. Radiación Solar.
7. Compatibilidad química.
8. Anclaje.
9. Succión.
10. Oleaje.
11. Enlace con obras de hormigón.

2.3.2. Emplazamiento permeable no erosionable ni soluble

La disposición de la figura Figura 2.20.a) que se encuentra en numerosas balsas puede ser suficiente si no hay interés en medir los caudales de eventuales filtraciones.

2.3.3. Emplazamiento erosionable y/o soluble

Una rotura en la lámina, especialmente en el fondo, puede dar lugar, como por ejemplo ha ocurrido en la balsa de La Marga en Agost (Alicante), construida parcialmente en yesos kársticos, a que se produzca un conducto que desagüe incluso a más de un centenar de metros. La zona del fondo de la balsa es más peligrosa en este caso, porque la subsidencia inicial es más difícil de percibir. Hemos mencionado una rotura de la lámina, pero el daño puede provenir de aguas freáticas exteriores, como ocurrió en la balsa de La Rosa en Callosa d'En Sarria (Alicante), y que provocó el vaciado total de la balsa, a través de los conductos que se formaron en el Karts de yesos sobre el que estaba construida, sin más incidencias.

Si no hay agua freática la disposición de la Figura 2.20. b) puede ser suficiente, al detectar el agua que atraviesa la primera lámina e impedir al mismo tiempo que llegue al terreno.

Si hay aguas freáticas, habrá que cuidar el drenaje del terreno, de modo que ponga de manifiesto si se producen arrastres y vigilar las eventuales subsidencias de la lámina.

2.3.4. Nivel freático siempre bajo el fondo

Si no se quieren detectar las fugas, vale la disposición de la Figura 2.20.a). Si se quieren detectar hay que recurrir a la de la figura Figura 2.20. b).

2.3.5. Nivel freático por encima del fondo, siempre u ocasionalmente

Es preciso rebajar el nivel freático análogamente a lo indicado en el apartado 2.2.3.3. para la impermeabilización arcillosa, con la ventaja, en este caso, de que un moderado levantamiento de la lámina no destruye la impermeabilización.

Los aspectos de especial interés reseñados en el apartado 2.3.1., a partir del punto 5, se tratarán en el capítulo 5 de esta guía.

2.4. Balsas impermeabilizadas con asfalto

Al ir aumentando el volumen de las balsas previstas, aumenta su superficie expuesta y, consecuentemente, su fragilidad ante las acciones externas naturales y vandálicas, lo que resulta especialmente preocupante en el caso de impermeabilización con láminas.

Bien es verdad que la superficie puede intentarse proteger, ya sea principalmente mediante rip-rap, o mediante losas de hormigón armado, asfalto, etc. Pero ese remedio puede ser peor, pues por una parte al aplicarlo puede dañarse la lámina, o bien sufrir averías posteriormente muy difíciles de localizar, con el riesgo de causar nuevos daños al tratar de repararlas. Esto lleva a contar cada vez más con una impermeabilización asfáltica, que ya de por sí es muy resistente a las acciones externas y de fácil reparación, en caso de producirse algún desperfecto.

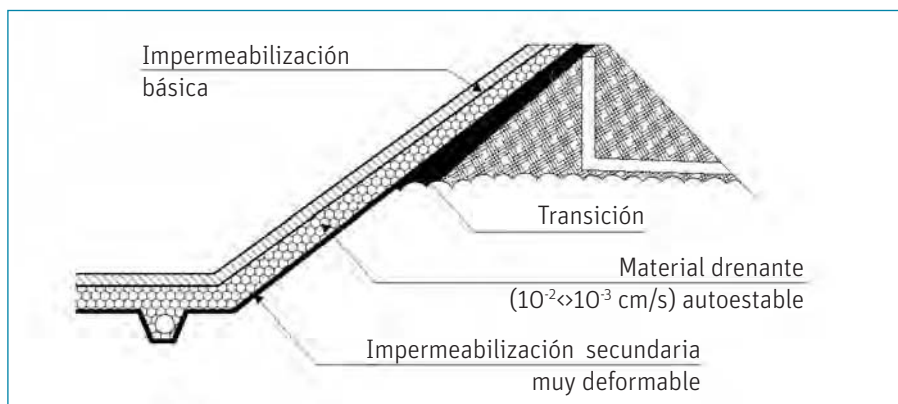
Pero el revestimiento asfáltico, aunque flexible, lo es menos que el arcilloso y sustancialmente menos que el de las geomembranas. Esto lleva a que, por una parte los espaldones, y las transiciones entre las zonas excavadas y los terraplenes, no den lugar a asientos diferenciales que lo agrieten, y por otra a que en caso de producirse la fisura exista un segundo escalón que impida que el agua filtrada pueda degradar el espaldón.

En la Figura 2.21. se esquematiza una disposición eficaz.

La capa de material drenante autoestable, junto con la impermeabilización secundaria, garantiza que en el caso de rotura de la impermeabilización básica el caudal filtrado no sea excesivo y no produzca arrastres ni presiones intersticiales.

Un modo práctico de construir la impermeabilización secundaria es mediante dos capas de geotextil impermeabilizado mediante un riego asfáltico *in situ*. Si el espaldón fuese de pedraplén sobre roca el dren chimenea resulta innecesario. Las situaciones

debidas al nivel freático exterior son análogas al caso de impermeabilización arcillosa, aunque de solución más simple al no ser, en este caso, erosionables los materiales.



▲ *Figura 2.21.*

2.5. Balsas en cursos de agua

Se presenta a veces la ocasión de construir una balsa en un curso de agua con aportación escasa e irregular, por lo que su alimentación proviene de otra fuente. Matizaremos en qué medida hemos de considerarlas balsas o embalses y quizá la denominación que mejor les cuadra sea la de embalses-balsas, embalses por estar en un cauce y balsas porque su alimentación básica no proviene de los cursos de agua en que se sitúan.

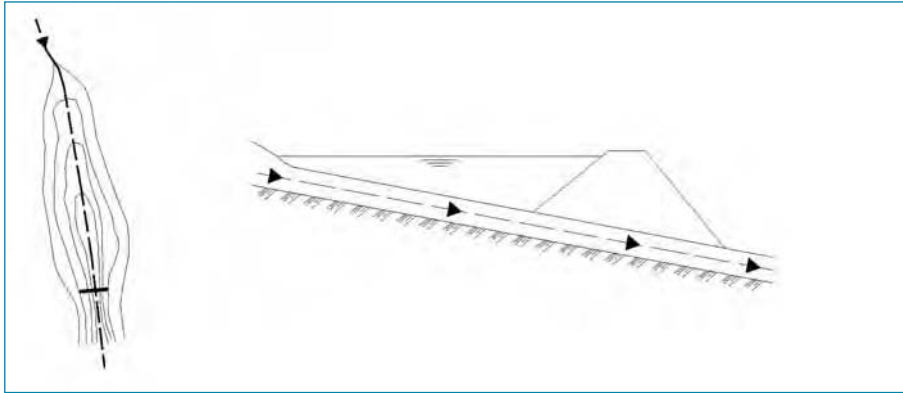
Se diferencian de los embalses colinares que son pequeños embalses situados en arroyos o torrentes que sí se nutren de ellos, aunque a veces reciban además aguas externas. Esta situación también se da con embalses de centenares o incluso algún millar de hectómetros cúbicos.

Citemos, a modo de ejemplo el embalse de Gonzalez Lacasa en la Rioja y el conjunto de Entrepeñas-Buendia en Castilla - La Mancha.

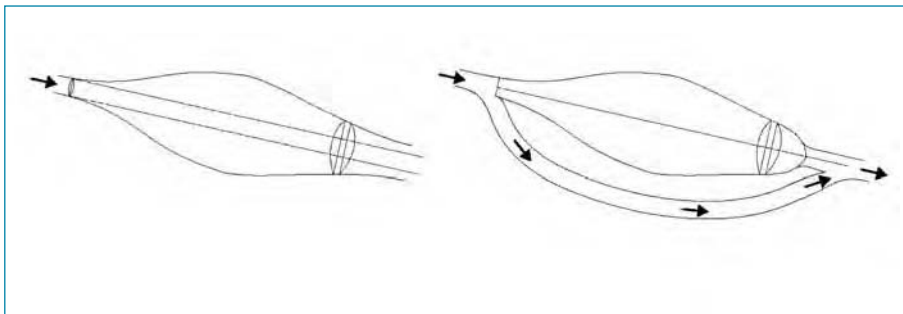
El embalse de Gonzalez Lacasa está en el río Albercos, afluente del Iregua, se alimenta de éste mediante un azud de derivación y un túnel y tiene 33 hm³ de capacidad. El río Albercos apenas tiene aportación pero sí avenidas por lo que el embalse de González Lacasa dispone de un aliviadero de 210 m³/s. También aporta sedimentos por lo que se prevé un embalse muerto, que no afecta prácticamente a su volumen útil.

El conjunto de Entrepeñas-Buendía tiene una capacidad conjunta de 2.441 hm³, 803 hm³ en Entrepeñas en el Tajo y 1638 hm³ en Buendía en su afluente el Guadiela. Ambos están

conectados por un túnel. El Tajo proporciona el grueso del agua y el Guadiela el grueso del vaso. Ambos embalses tienen sus aliviaderos y los embalses muertos son una reducida fracción de su capacidad.



▲ Figura 2.22.



▲ Figura 2.23.

Los embalses colinares presentan una relación aceptable entre su volumen útil y el de aportes sólidos en 20 ó 30 años; conviene tener en cuenta que son obras de ayuda y no básicas. De no ser así, habría que desviar las avenidas para que no entrasen en ellos y evitar de este modo su aterramiento precoz. Esta práctica también se utiliza en embalses, un ejemplo de ello es el de Cubillas en Granada, que dispone de un túnel de derivación a su entrada por el que se desvían las avenidas y sus arrastres.

Los embalses colinares necesitan que el vaso sea impermeable aunque en algún caso se hayan impermeabilizado. Las balsas en cauces no es así, pues lo que realmente aprovechan es el vaso y se cuenta con que si no es impermeable, se impermeabilizará artificialmente, lo que permite esperar que exista un cauce aprovechable cercano al emplazamiento ideal de la balsa que se necesita.

Las avenidas y sus arrastres hay que desviarlos en cualquier caso, y esto puede hacerse de dos modos: contorneando la balsa o pasando bajo ella en galería. Un ejemplo del primero es la balsa de Francisco Mira en Hondón de las Nieves (Alicante) de $1,0 \text{ hm}^3$ de capacidad con un desvío para $27 \text{ m}^3/\text{s}$.

Del segundo tipo es la balsa La Mericana en Jarandilla (Toledo) en la que el arroyo en el que está situada, pasa bajo ella por una galería de acero corrugado de $3,20 \text{ m}$ de diámetro capaz para $25 \text{ m}^3/\text{s}$. En las soluciones de este tipo, hay que asegurarse de que el conducto no se obstruya por la vegetación conducida por la avenida, por lo que es prudente que el diámetro no sea inferior a tres metros. Nos hemos extendido en la descripción de este tipo de balsas porque estimamos que según vayan aumentando las dimensiones resultarán más y más atractivas pues el vaso «está hecho».

Por otra parte, el dique de cierre se asemejará más a una presa pues los materiales para su construcción no serán necesariamente los procedentes de la creación del vaso sino que serán aportados y por consiguiente elegidos.

Si las condiciones mecánicas de la cerrada son favorables puede tener interés considerar para ella una presa de fábrica.

3. ESTUDIOS PREVIOS

3.1. Consideraciones generales

Hay que tener muy presente que se trata de balsas, lo que de un modo general conlleva. Salvo excepciones puntuales, que:

- ▶ El servicio que han de prestar viene fijado por otras consideraciones y por consiguiente su capacidad y la de los órganos de entrada y salida de agua.
- ▶ También el emplazamiento viene fijado por otras consideraciones, ciertas limitaciones, para obtener las mejores condiciones.
- ▶ Aun tratándose de balsas, hay una diferencia esencial entre las propiamente tales y las construidas en un curso de agua. En las primeras la excavación crea parte de la capacidad y proporciona los materiales para la construcción de los diques. En las segundas la capacidad se obtiene mediante la construcción del dique-presa y los materiales hay que aportarlos, aunque ocasionalmente puedan obtenerse total o parcialmente de excavación en el vaso creando capacidad.
- ▶ Estas circunstancias que se señalan tienen una marcada influencia en la orientación y el alcance de los estudios hidrológicos, geológicos y geotécnicos que sea adecuado llevar a cabo como se apreciará en los apartados siguientes.

3.2. Estudios hidrológicos

Raramente será de interés llevar a cabo estudios relacionados con las aportaciones de la cuenca afluente a la balsa, pues como se ha indicado las que pretenden almacenar y gestionar tendrán otro origen. En cambio sí son de interés, por razón de seguridad, los relativos a avenidas, tormentas, pedrisco y nieve. Como la cuenca afluente al emplazamiento de la balsa será en general reducida el método más aconsejable es el de Témez, recogido en la Instrucción de Carreteras. Puede ocurrir que debido a su capacidad o a su situación respecto a puntos potencialmente afectables, cobre importancia, aunque no es propiamente un estudio hidrológico, el análisis de los cauces a los que poder evacuar caudales de vaciado de varios m³ por segundo. A modo de ejemplo el desagüe de emergencia de la balsa de Cabezos en Villena (Alicante) de sólo 640.000 m³, tiene 5,0 m³/s de capacidad y hubo que conducirlo a un cauce, la acequia del Rey, situado a 3 km de distancia.

3.3. Estudios geológicos

Los estudios geológicos deberán estar orientados a caracterizar de un modo suficiente la estructura geológica de la zona del emplazamiento en los aspectos relativos a:

- ▶ Terrenos geológicos presentes
- ▶ Permeabilidad
- ▶ Tectónica
- ▶ Sismicidad

Deberán conducir a disponer de los planos y cortes geológicos suficientes, para que unidos a los estudios geotécnicos posibiliten tomar decisiones acertadas sobre:

- ▶ Necesidad o no de impermeabilizar
- ▶ Tipo de impermeabilización más adecuada en su caso.
- ▶ Materiales disponibles *in situ* o a distancia asequible.

Son aspectos de especial interés las fallas y los deslizamientos y su actividad actual o potencial, por su repercusión en la elección del emplazamiento y la actividad sísmica natural o inducida, por su influencia en el análisis de la estabilidad.

3.4. Estudios geotécnicos

Los objetivos básicos que se pretende lograr con ellos son determinar el comportamiento esperable del terreno de cimentación y las características de los materiales que se vayan a utilizar en la construcción de los diques.

Del terreno, son de especial interés su deformabilidad instantánea y diferida, los asentamientos diferenciales esperables y su solubilidad y erosionabilidad por eventuales filtraciones de la balsa y por aguas freáticas en circulación. En cuanto a los materiales, hay una diferencia clara según se trate de balsas clásicas o de balsas en cursos de agua.

En las primeras el material a utilizar es el que se ha excavado para crear parte del volumen a obtener. Este material puede utilizarse según los casos como «todo uno», o con un procesamiento previo más o menos intenso, que puede conllevar el prescindir de parte de él. Habitualmente se tiende a compensar la excavación con el terraplenado por dos motivos: optimizar la operación y evitar tener que encontrar un vertedero. Si el volumen a desechar es reducido puede almacenarse como inerte en el talud de aguas abajo.

En la segunda, balsas en cursos de agua, se trata en realidad de una presa clásica y el material hay que aportarlo del exterior, aunque en ocasiones ese exterior pueda ser el propio vaso, tanto para la totalidad como para parte del volumen necesario.

Las características mecánicas básicas de los materiales son su ángulo de rozamiento y su cohesión, ambos secos y saturados, y su granulometría total. Ésta última es fundamental: un balasto con un 15% de limo o arcilla se comporta como un balasto pues esa proporción está lejos de rellenar su 30% de huecos. El mismo balasto con un 40% de limo o arcilla se comporta como un limo o una arcilla pues las piedras quedan flotando en la masa limosa o arcillosa.

Lo que sí ocurre es que el conjunto es menos deformable, cualidad que se ha utilizado, por ejemplo en el núcleo de la presa de Assuan y ya había sido utilizado en la española de La Sotonera.

Los ensayos básicos son: corte directo, triaxial y edométrico. Para que sean realmente representativos de un terreno, las probetas han de tener unas dimensiones acordes con la granulometría total de él. Cuando se trata de arcillas, limos o arenas no hay problema pues las dimensiones standard de las probetas de ensayo son adecuadas. Pero para un terreno de grano grueso, por ejemplo, las probetas tendrían que ser de un tamaño no disponible habitualmente, ni resulta proporcionado hacerlo para una balsa. Esos ensayos se han hecho por millares en el mundo a cuenta de las presas y sus resultados están publicados al alcance de todos. De esas publicaciones la más asequible es la que figura en el conocido tratado *Design of small dams* del Bureau of Reclamation.

En el Anexo núm. 1 (Tabla de propiedades mecánicas de los suelos compactados del Bureau of Reclamation), se reproduce la tabla del Bureau en la que se dan los límites de la c' y ϕ (cohesión y ángulo de rozamiento efectivos) en función de la clasificación del terreno. Para el terreno anteriormente mencionado esos límites serían secos y saturados.

Otro aspecto de gran importancia, es que con las disposiciones que se deben adoptar, los terraplenes de las balsas nunca están saturados, aunque la impermeabilización falle localmente, salvo el núcleo y el espaldón aguas arriba de las de impermeabilización arcillosa. Tampoco están absolutamente secos sino con un pequeño grado de humedad (semisaturados es el término que se les aplica) que da lugar a una succión que les dota de una importante cohesión aparente, es el caso de los «flanes de arena» que hacen los niños en la playa.

Esto explica (Jiménez Salas, *Geotecnia y Cimientos*) la estabilidad de miles de km de terraplenes de carreteras y ferrocarriles, y de decenas de miles de balsas con el talud standard 1,5/1,0 que con terrenos saturados no los mantendrían (Zapata Raboso, *Tesis Doctoral*, Universidad Politécnica de Valencia, 2004).

Los ensayos hay que hacerlos, pero teniendo bien presente cuál es realmente su representatividad en cada caso concreto. En la pequeña presa de Gargallo (Teruel) de 11 metros de altura, y 31.000 m³ de capacidad de embalse, al proceder a su puesta en carga, el agua manaba suavemente por todo el talud aguas abajo desde una cota sólo pocos centímetros inferior a la del agua. Todos los ensayos que se habían hecho daban una material de buenas características resistentes y de permeabilidad.

Afortunadamente se disponía de una retro en coronación con la que se hizo una calicata de 1,00 metro de profundidad que puso de manifiesto que el material de la presa era un balasto con un relleno insuficiente de material arcilloso. Este material era el que se había ensayado: la fracción inferior a 1 pulgada.

Un aspecto de especial relevancia en el caso de las balsas es la importancia de la cohesión, debido a que en la gran mayoría la altura de los diques no llega a 20 metros y que al no estar saturados, se está en el caso de secos o semisaturados.

En el Anexo núm. 6 (Tablas para la obtención del coeficiente de seguridad al deslizamiento) se incluyen unos ábacos con distintos valores de ϕ' y c' y alturas de 15 y de 20 metros, en que se aprecia la influencia decisiva del valor de c' , con sismo y sin sismo. Así mismo, se indica cómo llevar a cabo los ensayos para que sean lo más representativos posible, y en qué grado lo son en cada caso concreto. La orientación de partida será siempre la clasificación del material total.

4. ANALISIS DE LA ESTABILIDAD

4.1. Consideraciones generales

Al abordar el análisis de la estabilidad de las balsas, es preciso tener muy presente sus riesgos específicos de ruina, para evitarlos en el proyecto de las secciones tipo. Además, deberá hacerse la comprobación de taludes clásica incluyendo el cimientto.

No está de más señalar que los taludes, sobre todo el interior, vienen casi siempre fijados por otras consideraciones y resultan en general holgados. Por otra parte, en las balsas clásicas el material para diques no tiene coste, es más, resulta productivo, pues su obtención crea un volumen de embalse de valor superior al del coste de extracción. Otra cuestión es cuál será la excavación que para una capacidad determinada de la balsa consiga el coste económico mínimo. En este aspecto, las balsas en cauces son en realidad presas clásicas y sus materiales no generan, en general, capacidad al extraerlos, salvo que sirvan los del vaso.

El riesgo específico de ruina de una balsa es la erosión interna, sea de los diques o del terreno. El modo eficaz de evitarlo es el filtro-dren chimenea, que por una parte retenga los materiales eventualmente erosionados, y por otra reduzca hasta prácticamente cero el gradiente de agua que eventualmente lo atraviesa, con lo que queda sin capacidad de arrastre y sin presión intersticial el espaldón de aguas abajo. Vale la pena reseñar aquí, que son millares las balsas pequeñas de 4 a 6 metros de calado y 10.000 a 40.000 m³ que sin dren chimenea han soportado sin problemas roturas de lámina que han llegado a dar pequeñas filtraciones aguas abajo y por su drenaje interior han alertado con tiempo suficiente. La explicación estriba en que bajo la lámina y para facilitar su colocación, se ha dispuesto una capa de unos centímetros de espesor de un material cohesivo e impermeabilizante, que aún fisurado, reduce drásticamente el caudal con lo que éste se difunde en el espaldón sin llegar a producir presión intersticial apreciable y sin tener capacidad de erosión y arrastre. Además, el dren perimetral que habitualmente se dispone al pie del talud interior, reduce el caudal que circula por el espaldón y avisa. Al aumentar la altura y el volumen, como es la tendencia, la eficacia de esta protección disminuye y el daño potencial aumenta y de ahí la conveniencia del dren chimenea. Con dren chimenea las situaciones difieren algo según se trate de balsas impermeabilizadas con arcillas, con láminas o con asfalto, por lo que se analizan a continuación.

4.1.1. Balsas impermeabilizadas con arcillas

El espaldón aguas arriba y el núcleo o tapiz impermeable, resultan saturados lo que habrá de tenerse en cuenta en desembalse rápido. El espaldón de aguas abajo está seco

en condiciones normales y también aunque se produzca una grieta en el núcleo que de lugar a una filtración de unas decenas de litros por segundo, para lo cual hay que prever adecuadamente el drenaje. Esto es importante pues al estar constituido el espaldón con los heterogéneos materiales locales se ha de evitar el riesgo de erosión. El dren chimenea conviene que esté adosado al núcleo. Si no lo está, pero tiene capacidad adecuada, estará seca la parte de espaldón comprendida entre el núcleo y el dren.

4.1.2. Balsas impermeabilizadas con láminas

Ambos espaldones están secos, tanto en situación normal, como en el caso de una rotura de lámina que diera lugar a una filtración de unas decenas de litros por segundo, si el dren-chimenea se ha dimensionado adecuadamente para ello. Para reducir drásticamente el caudal de filtración y difundirlo conviene disponer bajo el geotextil de protección 8-10 cm de material cohesivo deformable y poco permeable o una arena gruesa ligada con un 2% de betún. En este sentido, el geotextil ya ejerce cierta función de difusión.

4.1.3. Balsas impermeabilizadas con asfalto

Las condiciones son análogas a las de las impermeabilizadas con láminas. Sin embargo, como son mucho más sensibles a los asientos diferenciales, conviene que el dren chimenea esté adosado a la impermeabilización para evitar que la humectación local del espaldón y una ligera erosión interna hasta el filtro-dren aumente la grieta. Esto obliga a una impermeabilización secundaria somera pero deformable de la cara inferior del dren chimenea.

4.2. Comprobación de diques y taludes

4.2.1. Consideraciones generales

Sin perjuicio de que se tengan en cuenta las observaciones señaladas en los apartados anteriores, se deberá llevar a cabo la comprobación clásica de los diques y de los taludes con las condiciones de carga, características de los materiales y presiones intersticiales que correspondan, incluyendo el cimientado.

Miles de balsas se han comprobado por medio del Círculo de Rozamiento o mediante los Ábacos de Taylor. La ausencia de subpresiones suficientes y la aceptable homogeneidad de características del material al ser su volumen reducido, hacían posible su aplicación. Al aumentar las dimensiones, el material no se dispone de forma homogénea en la sección y ya no resultan aplicables, fuera de algún tanteo inicial.

En la actualidad se dispone de numerosos programas de cálculo. La cuestión básica es que el que se escoja represente, aceptablemente, el comportamiento en rotura. Si la superficie de rotura es sensiblemente circular, el más indicado es el método de Bishop. Pero su validez exige que ϕ' no supere los 35° e incluso menos si se trata de superficies profundas pues con valores superiores sobre estima la resistencia pasiva.

Si las superficies de rotura se alejan de la forma circular como es el caso con escolleras y pedraplenes habrá que recurrir al Método de Janbu o más simplemente al original de Fellenius, más premiosos de aplicar pues no generan automáticamente las superficies de rotura.

Muy importantes son los casos en que la superficie de rotura viene impuesta físicamente, por ejemplo por planos débiles, en cuyo caso el método indicado puede ser el de bloques deslizantes. Hay que tener muy presente que se trata de estructuras pequeñas, con materiales heterogéneos para los que hay que adoptar características resistentes que tengan en cuenta estas circunstancias. Resulta de ello, que lo esencial es que el método represente el comportamiento, pasando a segundo o tercer término su refinamiento.

En concreto, resulta irrelevante que un método de fajas tenga en cuenta o no la interacción entre ellas frente a que la forma de las superficies de rotura que contemple sean adecuadas o no lo sean.

5. SISTEMAS DE IMPERMEABILIZACIÓN

5.1. Consideraciones generales

En los capítulos anteriores, con ocasión de la descripción de los tipos de balsas y del análisis de su estabilidad, se han ido mencionado los sistemas de impermeabilización usualmente utilizados. Parece no obstante adecuado dedicar un capítulo a tratar específicamente el tema.

Los sistemas de impermeabilización básicamente utilizados son:

- ▶ Materiales arcillosos
- ▶ Láminas plásticas
- ▶ Pantallas asfálticas
- ▶ Pantallas de hormigón hidráulico
- ▶ Mantos compuestos con bentonita y geotextiles.

La mayoría de las balsas están impermeabilizadas con láminas, algunas con materiales arcillosos aprovechando su existencia en el lugar, unas pocas con asfalto y aún menos con hormigón. Existen también aplicaciones puntuales de mantos compuestos con bentonita y geotextiles.

Las perspectivas son de continuidad de empleo de las láminas hasta volúmenes inferiores al hm^3 , en que la gran superficie expuesta las hace excesivamente vulnerables a agresiones externas. Generalización de la impermeabilización asfáltica para dimensiones mayores y la utilización puntual de los materiales arcillosos y del hormigón en los emplazamientos que resulten favorables.

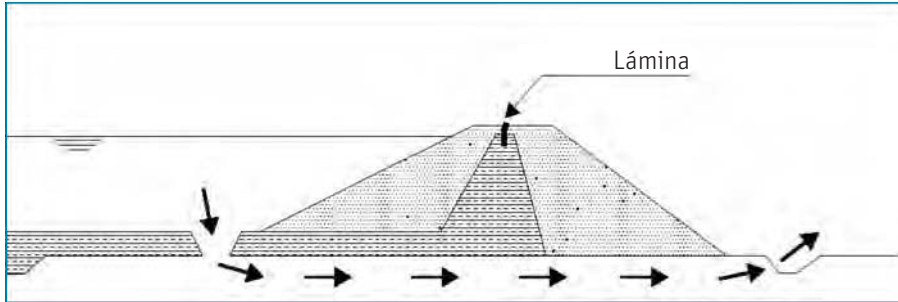
Los mantos compuestos están en sus comienzos, y no hay que descartar que puedan evolucionar a ser un sucedáneo de la impermeabilización arcillosa.

5.2. Impermeabilización con materiales arcillosos

La técnica del tapizado con arcilla se utiliza con frecuencia en presas y embalses, sea prolongando un núcleo hacia aguas arriba para alargar las vías de filtración y reducir gradientes, sea para sellar zonas del vaso permeables, con frecuencia por ser cársticas.

Estos tapices con frecuencia se perforan (Figura 5.1.), unas centenas de veces en Tabela y unas decenas en Benínar (Granada), en algunos puntos en la balsa de las Águilas en Monforte del Cid (Alicante) lo que, según sea el sustrato, puede resultar una simple incidencia o un accidente grave.

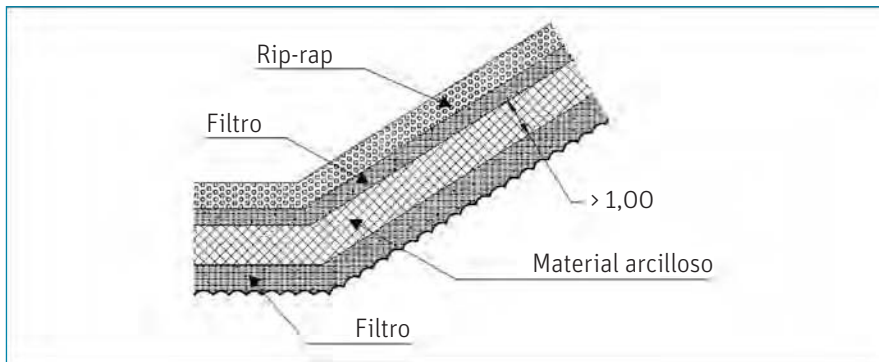
Si el sustrato es un Karst calizo, es una incidencia ya que la fuga de agua no lo desestabiliza; si es un Karst en yeso el tema es preocupante; si se trata de un aluvial estable a erosión interna, puede ser un accidente o una incidencia según que en el punto final de salida se dé lugar a una erosión regresiva (*renard*) o no.



▲ Figura 5.1.

En cuanto al material arcilloso utilizado, no debe ser dispersivo ni cuarteable por desecación por razones obvias en ambos casos, aunque existen algunos núcleos de presa dispersivos pero cautivos entre filtros especialmente eficaces.

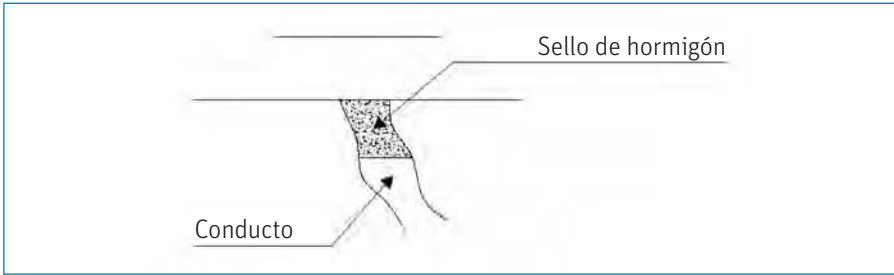
La disposición general de la impermeabilización es la indicada en la Figura 5.2.:



▲ Figura 5.2.

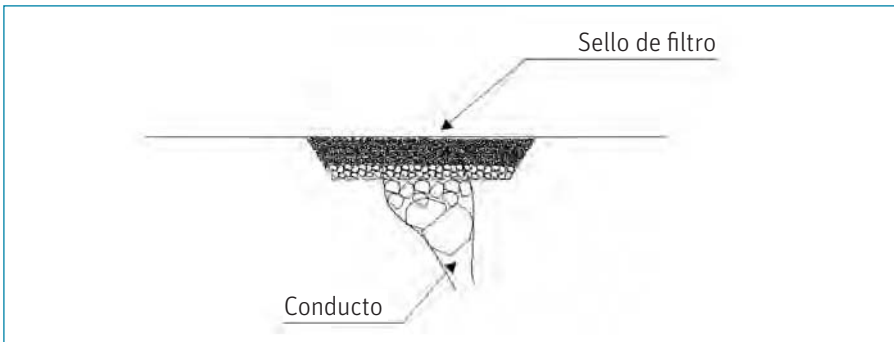
Previamente hay que sellar los conductos y grietas que aparezcan, poniendo especial empeño en que ninguno pase desapercibido.

Si se trata de un Karst calizo o de una roca fracturada, el sello puede ser de hormigón.



▲ *Figura 5.3.*

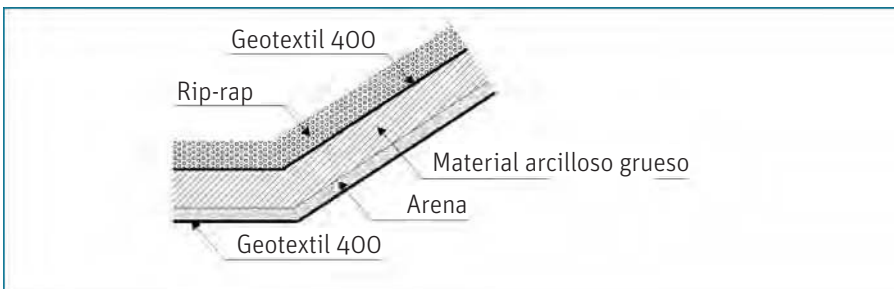
Si es un karst en yeso u otro terreno erosionable habrá que sanear la zona y organizar un sello con un Filtro (Figura 5.4.)



▲ *Figura 5.4.*

Volviendo a la disposición general (Figura 5.2.) los filtros son protecciones de la capa impermeable frente al rip-rap y frente al terreno.

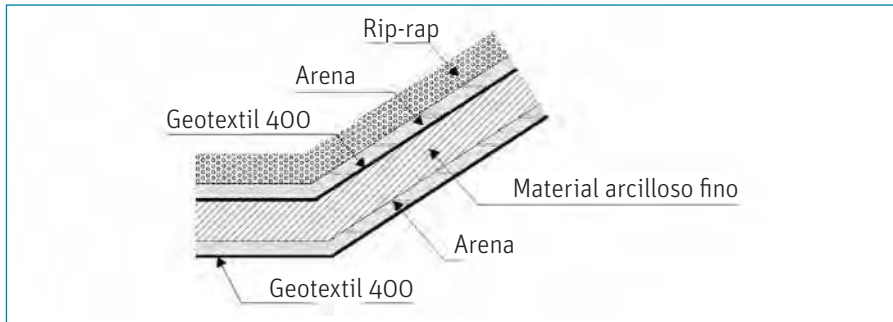
Si las dimensiones de la balsa lo permiten conviene que los filtros sean clásicos de dos capas. Si la balsa es menor, puede sustituirse una capa o las dos por geotextil de un gramaje de 400 gr/m² o superior.



▲ *Figura 5.5.*

Si el material arcilloso es grueso, es decir, es un limo-arcilla con poco contenido de partículas de pocas micras, es suficiente el geotextil.

Si es muy fino, es conveniente colocar entre él y el geotextil una capa de arena con un D₁₅ de 0,1 o 0,2 mm. (Figura 5.6.)

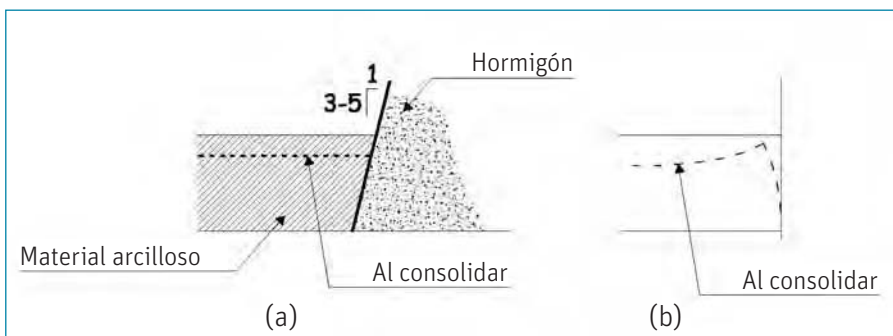


▲ Figura 5.6.

En el tema de los filtros hay que tener muy en cuenta que si la balsa no tiene unas dimensiones suficientes, es ilusorio contar con una construcción adecuada de un filtro clásico de dos capas, y es preferible valerse de un producto industrial, un geotextil en este caso, por garantía de comportamiento suficiente.

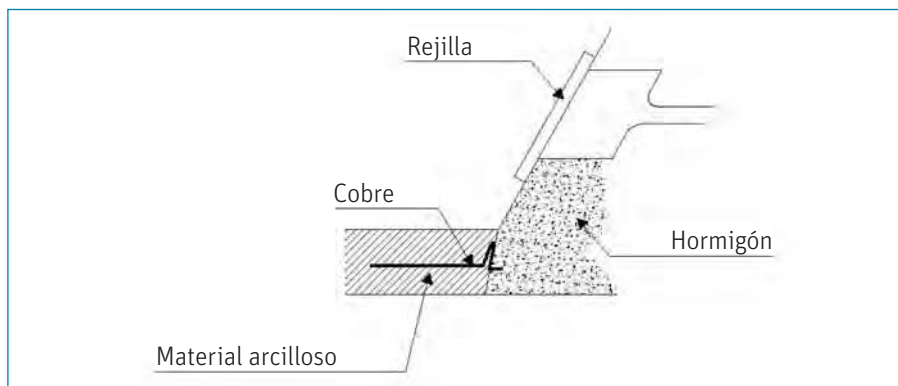
5.2.1. Enlace con las obras de hormigón

El enlace de los materiales arcillosos se hace de modo que la consolidación posterior de la arcilla no ocasione su despegue del hormigón. (Figura 5.7. b) Esto se logra dando al contacto una pendiente 1:3 - 1:5 de modo que al consolidar la arcilla se «apriete» contra el hormigón.



▲ Figura 5.7.

No se debe hormigonar contra la arcilla, sino apisonar contra el hormigón. Si el espesor es reducido, puede ser conveniente agregar una junta de cobre que penetre en la arcilla, (Figura 5.8.) para reducir el gradiente en el contacto y salvaguardar un defecto local.



▲ Figura 5.8.

5.3. Impermeabilización con láminas

52

5.3.1. Consideraciones generales

La impermeabilización con láminas es el procedimiento más difundido y el que además, ha permitido la proliferación de balsas en toda clase de terrenos debido a su sencillez y rapidez de colocación. Desde el punto de vista de la seguridad, gracias a su elevada deformación en rotura del orden del 200% o más según los materiales, ha permitido utilizar con garantía los materiales de excavación para construir los espaldones, sin perjuicio de que éstos resulten, en bastantes casos, un tanto anárquicamente deformables.

Hubo una época en que se utilizaron equivocadamente láminas armadas, sea con fibra de vidrio u otras, lo que les quitaba alargamiento, por lo que fueron prontamente desechadas. Hoy existe una gran variedad de geomembranas, de cuyas propiedades dan buena cuenta los respectivos fabricantes y comerciales, así como numerosas normas y recomendaciones oficiales y paraoficiales para su ensayo y utilización que conviene consultar en su momento.

Pero aquí queremos destacar unos pocos aspectos a tener en cuenta al seleccionar una u otra para una balsa concreta:

- ▶ Procedimiento de unión; soldadura o pegado

- ▶ Procedimiento de comprobación de las uniones
- ▶ Sensibilidad a agentes exteriores especialmente al asfalto y a los derivados del petróleo
- ▶ Dilatación térmica.
- ▶ Dado que la calidad de las geomembranas es muy sensible a su proceso de fabricación y de colocación, conviene observar, cómo se han comportado las geomembranas instaladas en la zona, a la hora de seleccionar el material

El procedimiento de unión va unido a la garantía de calidad y a la sensibilidad de ésta a las condiciones meteorológicas en el momento de la ejecución. En general la soldadura resulta más fiable.

El procedimiento de comprobación de las uniones va ligado al tipo de unión; es conocido el sistema en que la unión consta de dos soldaduras paralelas y la comprobación se lleva a cabo insuflando aire entre ellas. Con otros sistemas esta comprobación directa una vez ejecutada no es posible.

La sensibilidad al asfalto la encontramos de especial interés por un motivo concreto como es la estabilización con un 1-2% de betún de una arena o una gravilla con la que se refine la superficie de apoyo de la lámina. Esta estabilización usualmente se lleva a cabo con una capa de 10-15 cm, de material cohesivo, pero si no se dispone de él, o por otros motivos el talud interior tiene mucha pendiente, siempre puede hacerse con betún.

La dilatación térmica produce un despegue – acercamiento diario de la lámina al talud, lo que exige una más eficaz estabilización superficial de éste, con independencia de la lámina para que el oleaje no lo vaya disgregando. Trataremos aquí con algún detalle los apartados 5 a 11 mencionados en el punto 2.3.1., sin perjuicio de que alguno sea ampliado en los «Complementos a la Guía de proyecto y construcción de balsas de tierra». Para facilitar el seguimiento se relacionan a continuación:

5. Punzonamiento
6. Radiación solar
7. Compatibilidad química
8. Anclaje
9. Succión
10. Oleaje
11. Enlace con las obras de hormigón

5.3.2. Punzonamiento

Consiste en la acción concentrada de elementos gruesos que pueden provocar la formación de pequeños orificios en la geomembrana. Para evitar este efecto se recurre a:

- ▶ La preparación del paramento de apoyo.
- ▶ La colocación de un geotextil de espesor suficientemente eficaz, de manera que con la combinación geotextil-geomembrana sea capaz de resistir el punzonamiento de pequeños elementos aislados que puedan aparecer.

La preparación del paramento de apoyo es fundamental para resistir el punzonamiento del binomio geomembrana-geotextil. Consiste básicamente en la realización de las siguientes operaciones:

- ▶ Terminación de la forma lo mas fina posible, plana, y con la ausencia de elementos granulares gruesos.
- ▶ Colocación de una capa de material fino pero cohesivo para que se mantenga estable en el talud, de unos 10 cm de espesor. Si no se dispone de él o el talud tiene mucha pendiente, puede utilizarse una arena gruesa estabilizada con un 2% de betún si la lámina es compatible con él. Si no lo es, puede utilizarse bentonita-cemento para que el producto final sea blando.

5.3.3. Radiación Solar

Esta es la mayor solicitación que afecta a la geomembrana, y que no puede ser combatida a excepción de efectuar una capa de protección. Según ya se ha comentado, no se efectúa en la práctica, por lo que la única forma de combatir esta acción, es la de un seguimiento del envejecimiento, y su reposición cuando se estime necesario. En algún caso, se ha optado por disponer en la zona superior, expuesta más tiempo, una «lámina de sacrificio» que alargue el tiempo de sustitución.

5.3.4. Compatibilidad química

Según su composición las láminas son insensibles a prácticamente todos los agentes externos, o pueden ser muy sensibles a algunos que conviene conocer para tenerlo en cuenta según las condiciones de uso y del entorno. Merece especial atención la compatibilidad con los derivados del petróleo y los betunes asfálticos, pues estos últimos resultan muy útiles para la estabilización de las gravillas y arenas de drenajes y superficies de apoyo. De las láminas mas utilizadas el PEAD es totalmente compatible, el PVC depende de su formulación y el EPDM es completamente incompatible.

5.3.5. Anclaje

5.3.5.1. Anclaje perimetral

Nos referimos en este punto al anclaje de la lámina en coronación, fondo y en algunos casos en puntos intermedios del talud, a lo largo de todo el perímetro de la balsa.

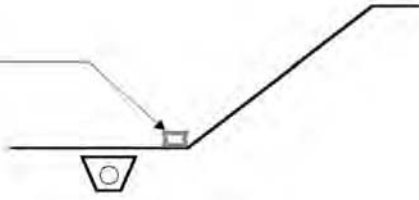
Según se ha indicado las solicitaciones más importantes, en lo referente al anclaje, son las debidas a la acción del viento cuando la balsa no está llena. En este sentido podemos destacar los siguientes aspectos:

- A. La etapa de colocación en obra constituye uno de los momentos críticos, si nos vemos sorprendidos por vientos fuertes, la práctica habitual consiste en lastrar con sacos de tierra la lámina, y colocarla en los períodos donde la probabilidad de vientos fuertes es escasa.
- B. Una vez colocadas las láminas, ancladas correctamente en coronación, se puede presentar otra situación crítica cuando la balsa se encuentra completamente vacía. Este caso puede resolverse de varias formas:
 - I. Lastrando exclusivamente el pie del talud si la balsa es pequeña y la altura del vaso es inferior a 10 metros (Figura 5.9.)
 - II. Lastrando el pie del talud y el fondo del vaso si la balsa es mediana o grande, con alturas del vaso inferiores a 10 metros.
 - III. Para balsas de altura de vaso inferiores a 10 metros, en las que se pueda garantizar una altura de llenado en cualquier época del año superior al metro, inmediatamente después de su construcción puede ser suficiente la presión del agua.
 - IV. Para alturas superiores, o zonas enteras o parciales de la balsa en las que se conoce que se producen concentraciones de esfuerzos importantes, la solución es la ejecución de anclajes transversales sobre el talud, y/o anclajes perimetrales en alturas intermedias.
- C. La forma más usual y eficaz de anclar las láminas en coronación, es mediante zanja y posterior tapado de la misma (Figura 5.10.)

En los «Complementos a la Guía de proyecto y construcción de balsas de tierra», se adjunta una tabla con las dimensiones estimadas recomendables para la ejecución de este tipo de anclajes.
- D. La fijación en las bermas conviene hacerla como en coronación para lo que las bermas deben tener una anchura mínima de cuatro metros (Figura 5.11.).

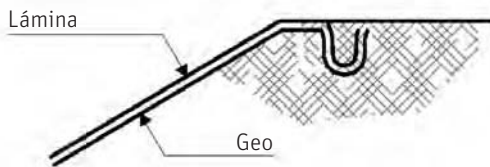
Fondo

Lastre de sacos de PEAD rellenos de arena o grava



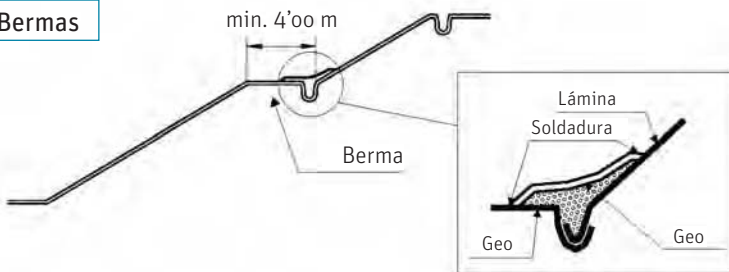
▲ Figura 5.9.

Coronación



▲ Figura 5.10.

Bermas



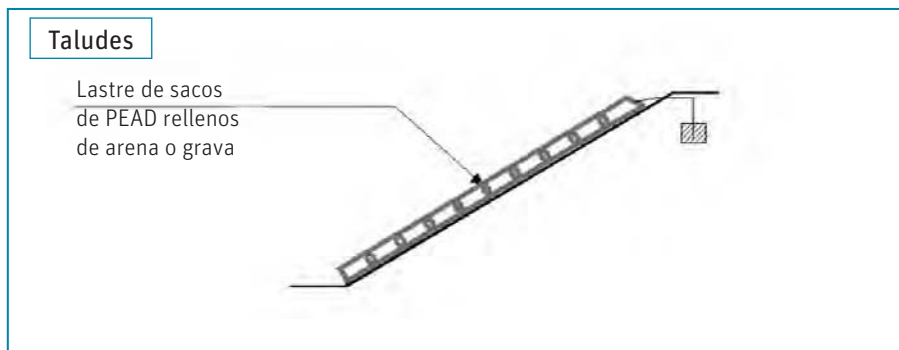
▲ Figura 5.11.

5.3.5.2. Anclajes transversales

Nos referimos en este punto a los lastres simplemente colocados sobre la geomembrana, realizados sobre el talud, perpendicularmente al anclaje perimetral en balsas con altura superior a 10 metros para resistir la acción del viento, cuando la balsa se encuentre vacía, o parcialmente llena. La efectividad de estos lastres disminuye, sensiblemente, cuando su separación es superior a la longitud del talud, y pueden combinarse en balsas profundas, con anclajes perimetrales ejecutados a media altura.

En general estos lastres transversales, cuando se ejecutan de hormigón presentan la problemática de poder cortar y/o perforar la geomembrana.

Los lastres a base de fundas del mismo material de la geomembrana, rellenos de grava, presentan un buen comportamiento, y la gran ventaja, frente al hormigón, de no tener bordes cortantes, a título indicativo se incluye la Figura 5.12.



▲ Figura 5.12.

5.3.6. Succión

El viento, análogamente a lo que ocurre en las cubiertas de las edificaciones, puede dar lugar a succiones que despeguen e incluso arranquen la lámina. Conviene, por tanto, analizar que zonas de la balsa están más expuestas a este efecto para prever el lastre adecuado.

La cuantía de los esfuerzos depende en alto grado de las condiciones locales, vientos, orografía y geometría de la balsa, por lo que resulta imprescindible la información sobre el comportamiento de otras balsas de la zona.

En cualquier caso, resulta aconsejable disponer lastres de unos 120 Kg/ml a distancias del orden de vez y media la longitud libre del talud.

Hay dos aspectos que merecen resaltarse: si puede mantenerse un calado de agua del orden de un metro, la experiencia confirma que no se produce levantamiento del fondo. En cuanto a los taludes puede ajustarse el lastre sin dificultad y de modo inmediato a la vista del comportamiento mediante los sacos de plástico mencionados en 5.3.5.2.

5.3.7. Oleaje

Dos son los efectos principales del oleaje:

- ▶ Desbordamiento.
- ▶ Desintegración del apoyo de la lámina por acción repetitiva.

El primero se resuelve con el resguardo adecuado según la altura de ola calculándolo de acuerdo con la normativa vigente para embalses, mejorado con un bordillo «botaolas» para el caso de «ola rota ascendente».

El segundo es de especial interés cuando se utilizan láminas que se dilatan con el calor y dejan de comprimir el terreno y agitadas las ondulaciones por el oleaje pueden ir deteriorando el apoyo.

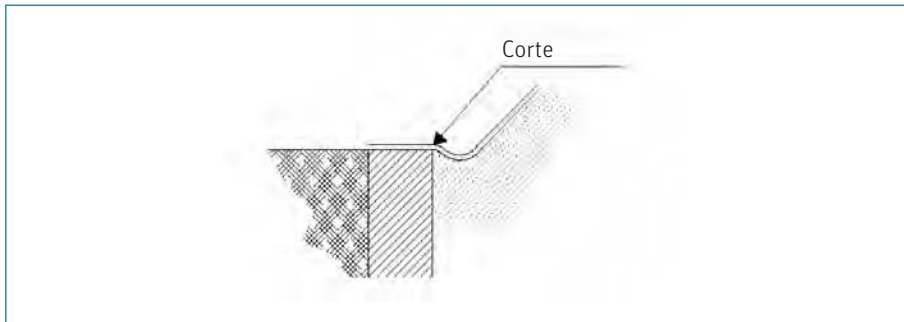
La solución es reforzar la protección que ofrece el geotextil subyacente.

5.3.8. Enlace con obras de hormigón y metálicas

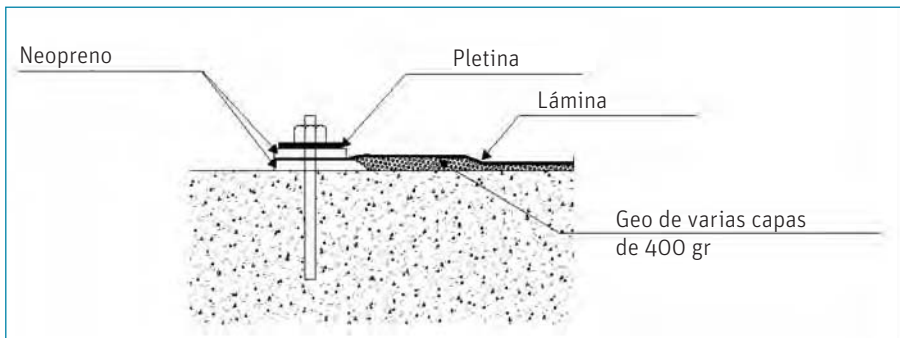
El enlace con las obras de hormigón o metálicas es uno de los aspectos más delicados, pues es proclive al corte o desgarro de la lámina. Dos son los aspectos básicos a tener en cuenta: los asientos diferenciales concentrados junto a las aristas (Figura 5.13.) y la fluencia de la lámina tanto en compresión como en tracción.

Esto en el caso de fijación con pletina obliga a interponer un elemento elástico (neopreno) para asegurar el apriete y evitar la filtración (Figura 5.14.) y en el caso de la Figura 5.15., reducir el riesgo de que la lámina quede colgada de los pernos y se desgarre.

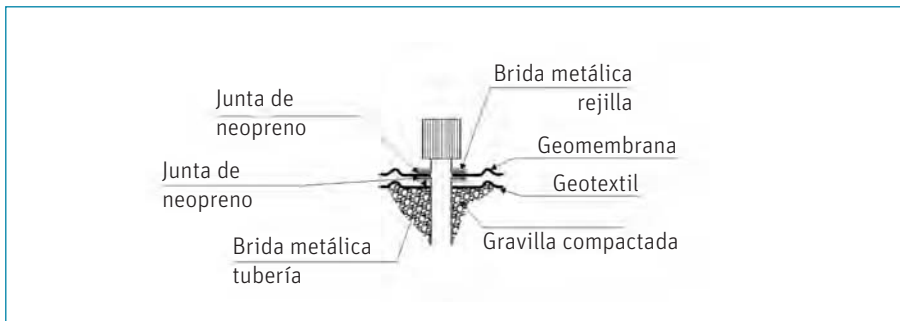
De todos modos conviene evitar anclajes como el de la Figura 5.16. que den lugar a una tracción permanente de cierta importancia. Una disposición que evita los inconvenientes de la pletina es la que se indica en la Figura 5.17. y Figura 5.18., y que consiste en anclar un perfil de PEAD en el hormigón y soldar a él la lámina. Para que este sistema sea eficaz es necesario que el perfil de PEAD tengan un anclaje suficiente en el hormigón, para lo cual, aparte de disponer de suficiente longitud, es necesario que deje salir el aire y el agua durante su colocación. La gravilla compactada debe bajar hasta «firme» a fin de que su eventual asiento sea nulo o muy reducido, e inferior a la sobreelevación Δh evitando así el contacto de la lámina con la arista redondeada.



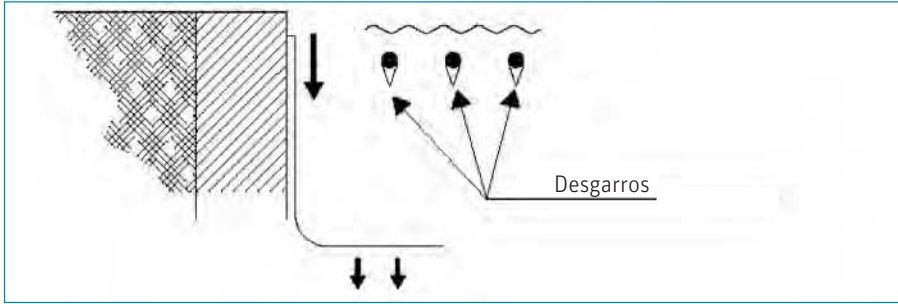
▲ *Figura 5.13.*



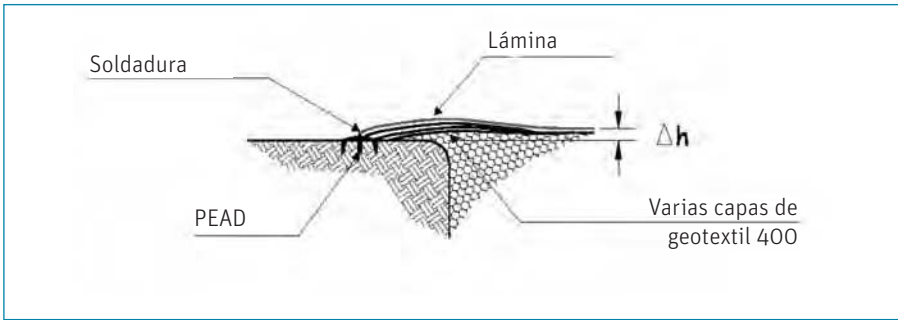
▲ *Figura 5.14.*



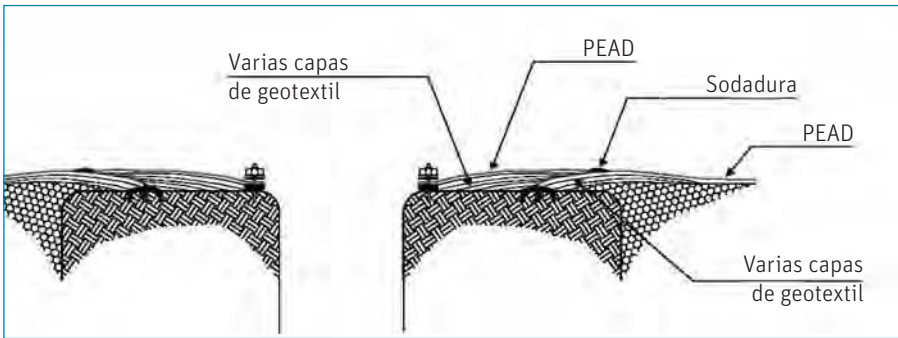
▲ *Figura 5.15.*



▲ *Figura 5.16.*



▲ *Figura 5.17.*



▲ *Figura 5.18.*

6. DRENAJES

6.1. Consideraciones generales

Las funciones básicas de un drenaje son captar el agua, conducirla de modo que no de lugar a arrastres y disminuir la presión intersticial. Por su finalidad es importante distinguir los que son esenciales para la estabilidad de la obra, y forma por tanto parte constitutiva de ella, y los que podrían denominarse complementarios, como los dispuestos para localizar, y en su caso medir, las eventuales filtraciones. Con frecuencia los drenajes que habitualmente se disponen, cumplen ambas misiones. Generalmente, van asociados a un filtro, cuya misión es impedir la migración de las partículas de suelo, aunque no siempre. Por ejemplo, un drenaje de una masa rocosa para disminuir la presión intersticial no necesita filtro. La constitución del filtro y del dren propiamente dicho, depende de distintos factores de los que los mas destacados son:

- ▶ Granulometría del material en contacto con el filtro.
- ▶ Granulometría del material del dren (gravilla, zahorra...).
- ▶ Permeabilidad de ambos.
- ▶ Caudales previsible a evacuar.
- ▶ Presión intersticial residual admisible.
- ▶ Estabilidad interna de los materiales tanto del filtro como del dren.

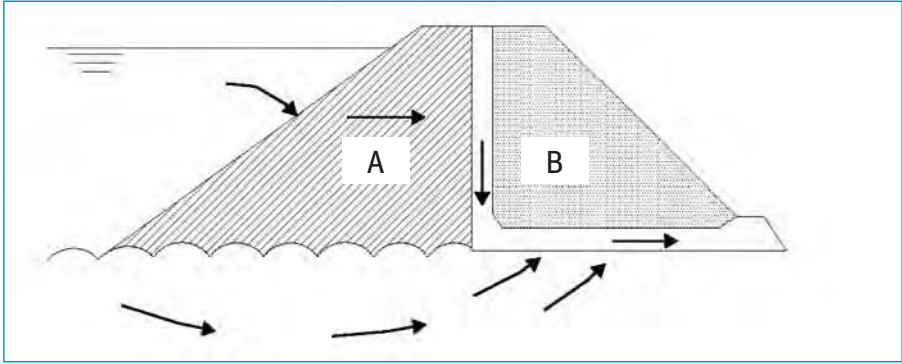
6.2. Drenajes de seguridad estructural

6.2.1. El dren chimenea

Su finalidad es que ante una eventual filtración de agua a través del espaldón A no se produzcan arrastres, y que además, en el espaldón B no haya presiones intersticiales, y de haberlas sean muy reducidas. La circulación del agua puede producirse por una rotura en la lámina o pantalla aguas arriba, o por una grieta o camino preferente en el espaldón A o en la zona que se haya habilitado como núcleo impermeable.

La primera utilización sistemática de este tipo de dren para obtener el mayor partido posible del único material disponible en cientos de km, una laterita, tuvo lugar en cinco presas en Brasil a propuesta de Terzaghi.

El proceso de construcción se indica en la Figura 6.2.



▲ Figura 6.1.

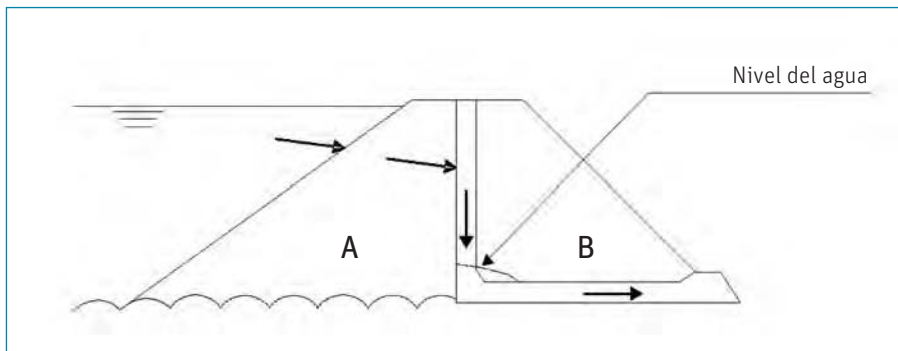


► Figura 6.2.

El dren tenía sólo 1,00 m de espesor y estaba constituido por arena con un D15 adecuado para que ninguna partícula de la laterita la traspasara.

La permeabilidad de la arena no era muy grande pero sí lo suficiente para que una eventual filtración localizada de un centenar de litros por segundo pudiera evacuarse con una carga en el pie muy reducida, al distribuirse por una gran sección.

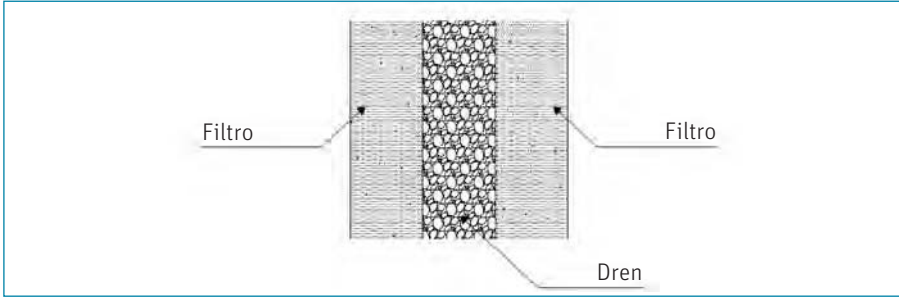
Esta evacuación con presión aceptable es un aspecto importante en el proyecto del dren chimenea, pues es la que garantiza las presiones intersticiales nulas o muy reducidas en el espaldón B.



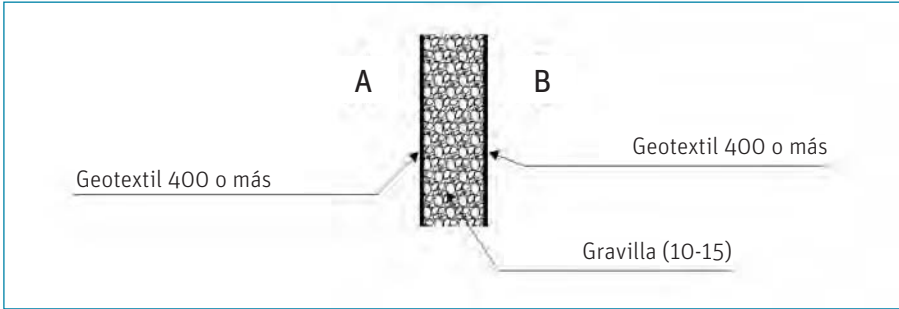
▲ *Figura 6.3.*

En una presa grande, cuando las características del material del cuerpo de presa no se presta a la sencilla solución de las presas mencionadas el dren chimenea se organiza como indica la Figura 6.4., cumpliendo los materiales de cada capa las condiciones de estabilidad interna y de filtro respecto de los adyacentes.

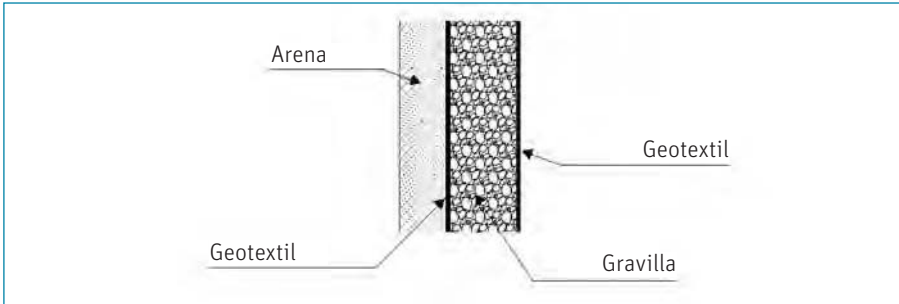
En una balsa clásica, el material de los espaldones es en principio heterogéneo, será inestable en algunas zonas y presentará vías preferentes. Por otra parte no tiene dimensiones suficientes para disponer con garantía filtros graduados clásicos. Por ello, es preferible recurrir a los geotextiles no tejidos como elementos de separación de materiales y de evitación de migraciones importantes, aunque el material sea inestable internamente. Se tiene así la disposición de la Figura 6.5.



▲ *Figura 6.4.*



▲ *Figura 6.5.*



▲ *Figura 6.6.*



▲ *Figura 6.7.*

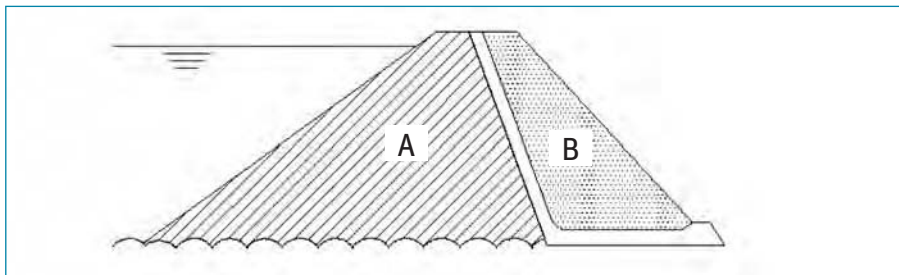
El geotextil a diferencia de la arena $D_{15} \approx 0,2$ mm deja pasar los materiales muy finos, por lo que si el espaldón A tiene una proporción elevada de ellos, y poca cohesión, conviene añadir una capa de arena según la Figura 6.6. La arena no pasa por el geotextil, ni siquiera su parte más fina, con lo que se tiene un filtro que retiene la totalidad del material arcilloso de A.

Si la proporción de muy finos es reducida, la cohesión baja y el flujo permanente como sería el caso de impermeabilización arcillosa, simplemente con el geotextil se produce aguas arriba una capa de filtro a cambio de una reducida pérdida de material muy fino. Figura 6.7.

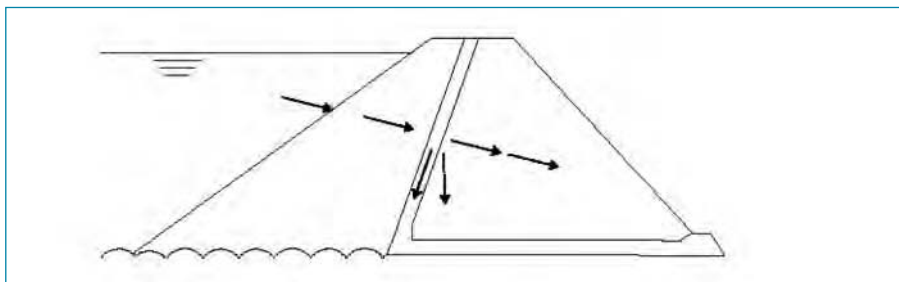
Pudiera ocurrir que llegara a formarse aguas arriba del geotextil o de la arena una capa prácticamente impermeable, con lo que el dren dejaría de drenar. Pero, en este caso, tampoco llegaría el agua al espaldón B que seguiría sin presiones intersticiales y no se producirían migraciones que son los dos objetivos perseguidos.

La disposición normal del dren chimenea es vertical con lo que el agua no pasa al espaldón B salvo quizá en una reducida zona en la parte baja y sin apenas presión (Figura 6.3.).

Si por otras circunstancias se dispone inclinado según la Figura 6.8., tampoco pasa agua.

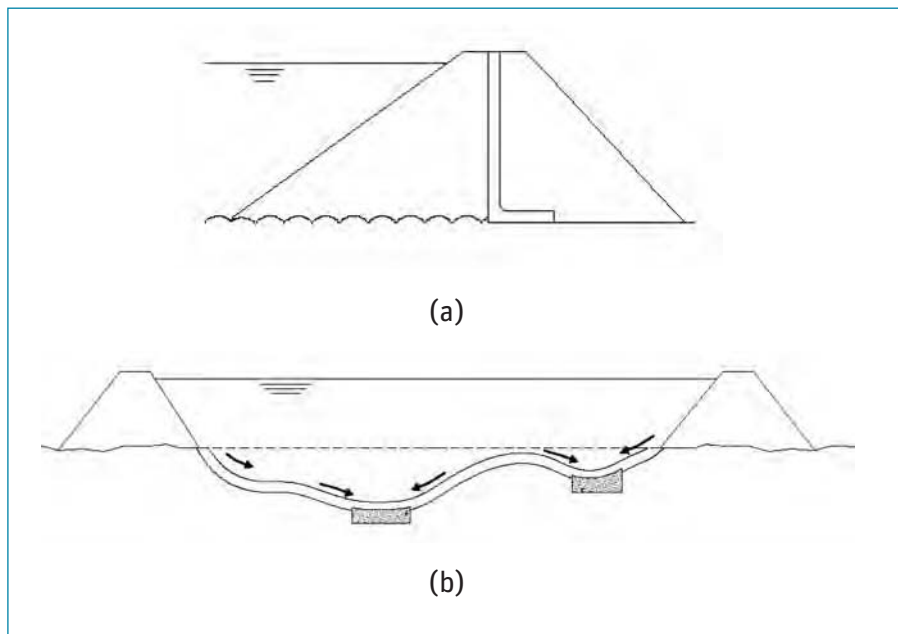


▲ Figura 6.8.



▲ Figura 6.9.

Pero si la disposición es la de la Figura 6.9. una pequeña parte de agua puede pasar al espaldón B, y seguir, en el peor de los casos, un camino preferente.



▲ Figura 6.10.

Si se quiere evitar esta circulación puede disponerse aguas abajo una impermeabilización somera, por ejemplo impregnar con un riego asfáltico el geotextil. Si se quiere medir la hipotética filtración esta impermeabilización resulta obligada. El tramo horizontal de la chimenea puede ser continuo hasta aguas abajo, si se prevé una circulación subálvea como la indicada en la Figura 6-1, o limitarse como se indica en la Figura 6.10. (a), si sólo se prevé como conducto de evacuación hacia el cauce Figura 6.10. (b).

6.2.2. El drenaje en los conductos a través de los diques y el terreno.

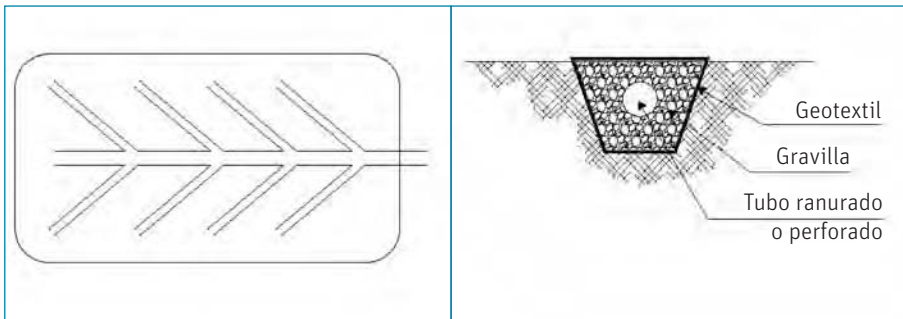
La superficie exterior de los conductos que atraviesan los diques o el terreno circundante son vías preferentes para el agua y consiguientemente para la erosión interna. El tema se trata con detenimiento en el apartado 16.5. del Anexo núm. 5 (Paso de conductos a través de los diques y del terreno) siguiendo la Q41 del XI Congreso Internacional de Grandes Presas (Madrid, 1973) teniendo muy especialmente en cuenta la heterogeneidad y erosionabilidad de los espaldones y el terreno.

6.2.3. El drenaje de fondo

Desde el punto de vista de la seguridad, este drenaje se dispone para evitar el levantamiento de la impermeabilización del fondo de la balsa en el caso de vaciado y subpresión, sea ésta por nivel freático exterior, por escurrimiento de aguas filtradas por los taludes o bien, con más alcance, para impedir que en caso de una rotura el agua se abra camino por el terreno o por los diques.

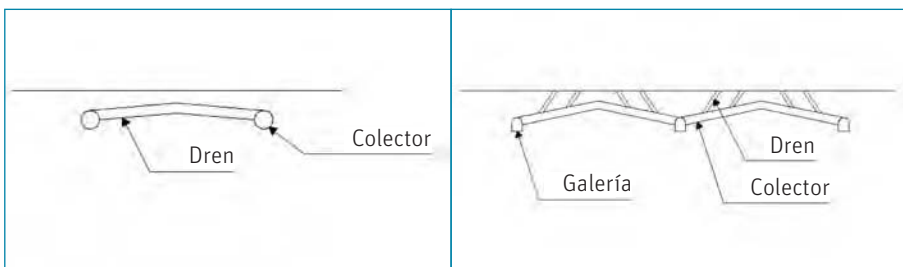
Para la primera misión, es necesario a diferencia del dren-chimenea, evitar la obturación de los drenes sea por colmatación o por cualquier otro motivo.

Una disposición clásica en cuanto a su disposición en planta es la de la Figura 6.11., y en sección la de la figura Figura 6.12.



▲ *Figura 6.11.*

▲ *Figura 6.12.*



▲ *Figura 6.13.*

▲ *Figura 6.14.*

La misión de cada elemento es la siguiente:

- ▶ Geotextil para evitar la migración de terreno
- ▶ Gravilla, elemento filtrante para dar superficie de filtrado
- ▶ Tubo ranurado o perforado para tener capacidad de evacuación; si el caudal esperado es reducido y la longitud corta, puede suprimirse y confiar la conducción a la gravilla.

El punto débil del dispositivo es la colmatación del geotextil, por falta de cohesión del terreno. Al aumentar las dimensiones de las balsas, llega a ser necesario, disponer bajo el fondo, colectores a más profundidad o incluso galerías, para tener las pendientes necesarias en cada tramo (Figura 6.13. y Figura 6.14.).

Para el segundo objetivo (medir filtraciones), es necesario recurrir a una doble impermeabilización continua, aunque somera, con capa drenante entre ambas.

6.2.4. El drenaje de los taludes interiores

Tiene por finalidades básicas:

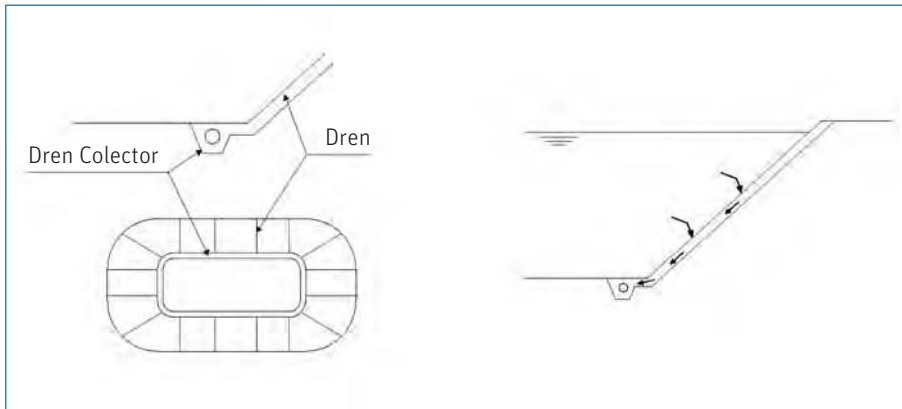
A. Evitar que en un vaciado el agua del trasdós freática o filtrada por alguna grieta, levante la impermeabilización.

B. Evitar así mismo el deterioro del espaldón o del terreno por arrastres o disoluciones producidas por el agua filtrada.

C. Reducir e incluso anular las presiones intersticiales.

El funcionamiento esperado ante una entrada de agua por una grieta es que aquella pase sin presión al dren más cercano, y baje al dren colector, desde el que es evacuada con un nivel de carga muy bajo (Figura 6.15.). Cuestiones a resaltar son:

- ▶ El agua puede encontrar entre dren y dren un camino preferente y destruir el dique o el terreno.
- ▶ Esto es especialmente de temer en las balsas clásicas por la heterogeneidad de los materiales del dique.
- ▶ Si en vez de drenes aislados se dispone una capa drenante el riesgo disminuye pero si se quiere una seguridad hay que recurrir a la doble impermeabilización como ya se ha indicado al tratar de los drenes chimenea inclinados.
- ▶ Si además se pretende medir y localizar la filtración la doble impermeabilización y la sectorización resultan indispensables.

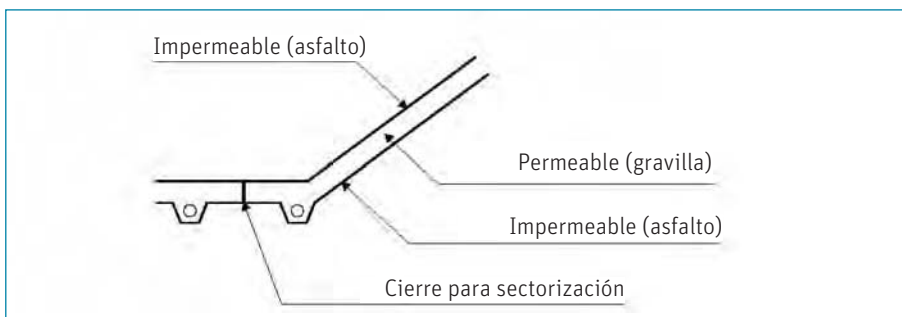


▲ Figura 6.15.

6.3. Drenajes de detección y medida de filtraciones

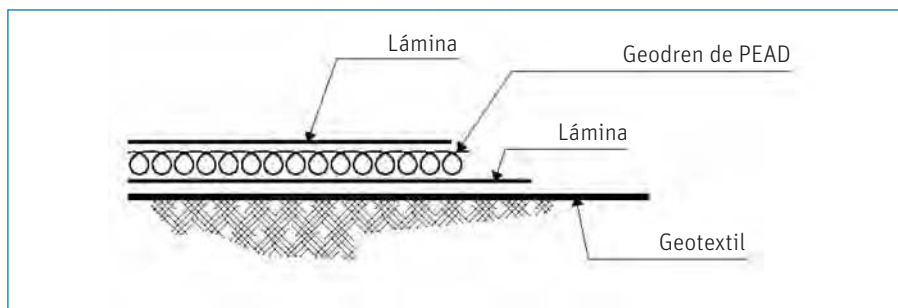
Salvo en algunos casos singulares, en los que la pérdida de agua por fallo en la impermeabilización no presenta un riesgo para el dique o el terreno, lo habitual es que el dren se establezca por seguridad estructural, y que además se pretenda medir la cuantía de la fuga y acotar su localización.

Ello conduce, por una parte, a evitar que la «fuga se fugue» lo que lleva a una doble impermeabilización a menos que la geología del emplazamiento concentre las fugas sin pérdida apreciable en un punto. Por otra parte, lleva a sectorizar la recogida de las filtraciones a fin de poder atribuir las a áreas suficientemente reducidas. Existen otros dispositivos (fibra óptica) que no son drenajes, pero que permiten detectar y localizar la presencia de agua; son propios de la «auscultación» y trataremos de ellos en el capítulo correspondiente. El dispositivo de la figura es clásico en presas con pantalla de hormigón asfáltico, aunque cada vez se emplea menos por considerarlo necesario sólo en contadas ocasiones. (Figura 6.16.).



▲ Figura 6.16.

En balsas clásicas no conviene utilizar este dispositivo, pues en el caso de una rotura por asiento diferencial lo probable es que se rompan las dos capas. Es preferible que la capa inferior sea muy deformable (geotextil impregnado con betún por ejemplo). En longitudes y caudales reducidos puede ser útil el dispositivo de la Figura 6.17.



▲ *Figura 6.17.*

Interesa comprobar:

- ▶ Que con la presión y el tiempo el geodren no se aplasta
- ▶ Que la reducida sección entre las láminas es capaz de conducir los caudales estimados, con una presión suficientemente pequeña para no dañar a la segunda lámina, ya que si esto ocurriera ni siquiera serviría de aviso, pues la filtración se iría por el terreno.

6.4. Sectorización

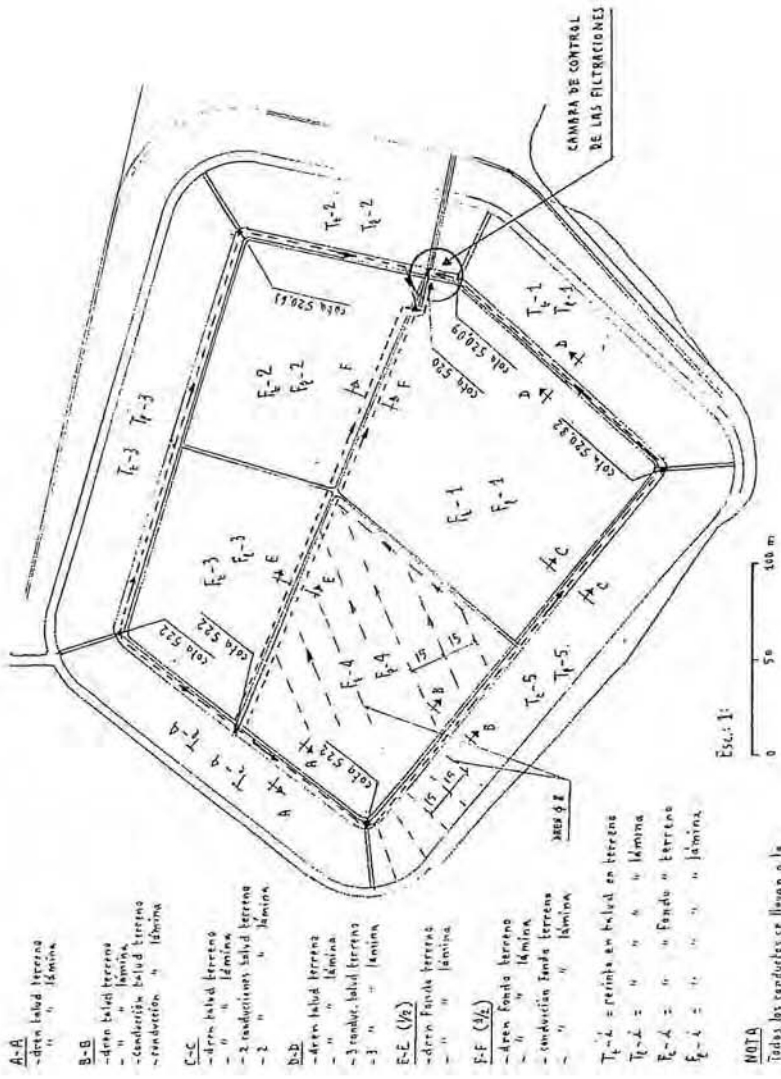
Consiste en dividir la capa drenante en recintos independientes cada uno de los cuales desagua por un conducto propio hasta un punto en el que se pueda medir la aportación de cada uno.

Estos conductos atraviesan varios recintos, por lo que hay que prestar especial interés a que sólo tomen agua del recinto que tienen asignado y a que no la cedan a ninguno de los que atraviesan.

En las Figuras 6.18. y 6.19. se representa el dispositivo empleado en la balsa de Cabezos en Villena (Alicante) con geodren entre dos láminas de PEAD y drenaje del terreno bajo ellas (había unas pequeñas surgencias localizadas) y en las Figuras 6.20. y 6.21., el adoptado en el proyecto de El Vidre, en Agost, con asfalto geotextil impregnado y galería visitable colectora.

BALSA DE VILLENA

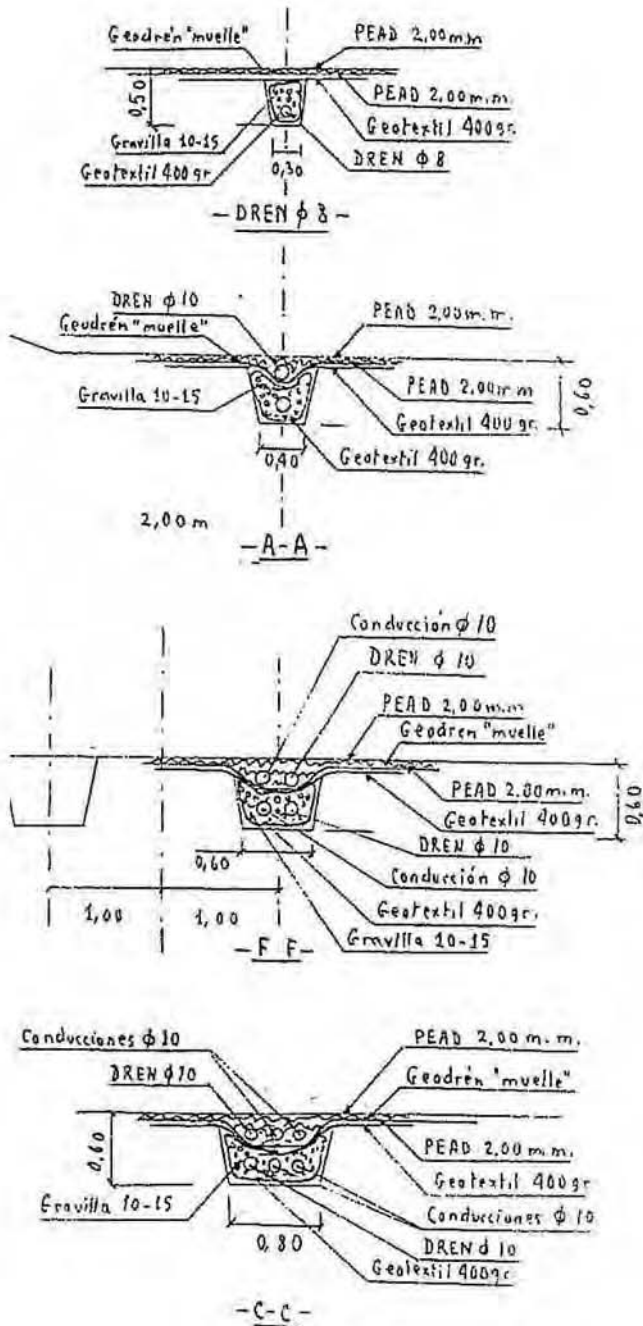
DRENAJE



- A-A - dren. balda terreno
" " lámina.
- B-B - dren. balda terreno
" " lámina.
- conductiva balda terreno
- conducción " lámina.
- C-C - dren. balda terreno
" " lámina.
- 2 conductivos balda terreno
" " lámina.
- D-D - dren. balda terreno
" " lámina.
- 3 conduct. balda terreno
" " lámina.
- E-E (1/2) - dren. fondo terreno
" " lámina.
- F-F (1/2) - dren. fondo terreno
" " lámina.
- T-1 = rejilla en balda en terreno
T-2 = " " " lámina
T-3 = " " " fondo " terreno
T-4 = " " " " " lámina
T-5 = " " " " " lámina.

NOTA
Todas las conductos se llaman a la cámara de control del drenaje

▲ Figura 6.18.



▲ Figura 6.19.

7. OBRAS DE ENTRADA

7.1. Consideraciones generales

Las obras para facilitar la entrada del agua en la balsa, vienen condicionadas, de un modo general, por la premisa que el agua no produzca desperfectos en la balsa para ningún caudal dentro del rango previsto, lo que conduce a soluciones diferentes, según se trate de impermeabilizaciones con arcilla, con láminas, con asfalto o con hormigón.

Por otra parte, el caudal previsto juega un papel importante, pues evidentemente son situaciones muy diferentes caudales de entrada de 10 ó 40 litros/s muy frecuentes en balsas existentes con capacidad inferior a 0,5 hm³, a caudales de varios m³/s (presentes en algunas pocas balsas existentes de capacidad inferior a 1 hm³) y previstos en balsas proyectadas de varios hm³ de capacidad, de las que previsiblemente habrá que construir numerosas en un futuro inmediato.

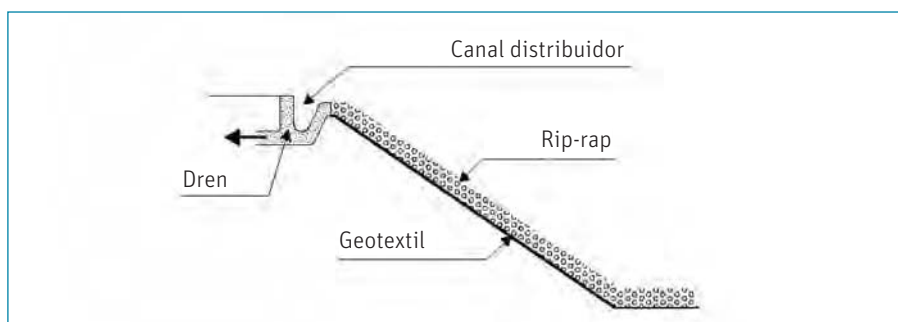
Parece por lo tanto aconsejable, abordar el tema subdividiendo por tipos de impermeabilización, aunque lleve a repetir algunas soluciones.

7.2. Balsas impermeabilizadas con arcilla

Es imprescindible que el flujo del agua no tenga capacidad de arrastre de la arcilla.

Con caudales reducidos, cabe contemplar que desciendan desde coronación sobre el rip-rap de protección siempre que bajo él, un geotextil adecuado impida la erosión y posterior arrastre por los huecos del rip-rap.

74

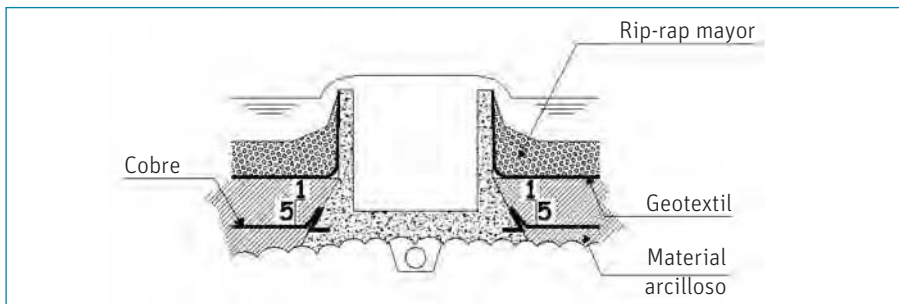


▲ Figura 7.1.

Hay que cuidar que el canal distribuidor no filtre al espaldón lo que podría dar lugar a su ruina y que las eventuales filtraciones que pudiera tener sean recogidas y evacuadas por un drenaje adecuado. Cabe aplicar este sistema para láminas vertientes en origen de 10 ó 15 cm de calado. La solución clásica sin embargo y necesaria para láminas mayores es disponer una rampa de entrada en obra de fábrica con amortiguamiento al final.

Los aspectos a cuidar que se observan en la Figura 7.2. son:

- ▶ El contacto con la impermeabilización
- ▶ La impermeabilización de las juntas (PVC o Cobre)
- ▶ El drenaje, pues si se producen asentamientos diferenciales puede llegar agua al espaldón a través de la obra de fábrica.
- ▶ La protección de la impermeabilización en el funcionamiento con embalse parcial.



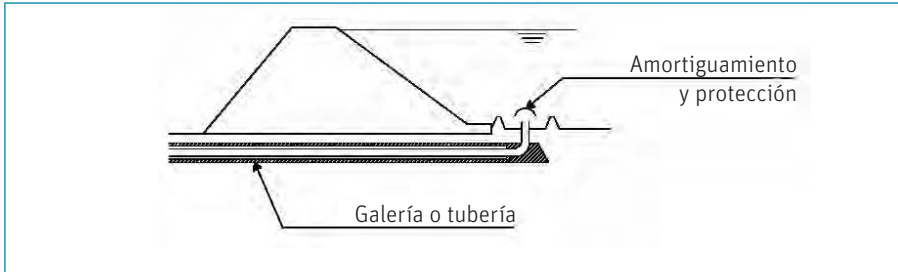
▲ *Figura 7.2.*

Hasta aquí nos hemos referido a la entrada por coronación, que suele ser la más frecuente, bien por ser la más indicada técnicamente o por que el usuario quiera ver entrar el agua, caso habitual. Pero la entrada también puede disponerse por el fondo, caso normal en las centrales eléctricas reversibles por ahorro de energía y por utilización de la misma conducción en ambos sentidos.

En el caso de balsas para riego o para abastecimiento no es aconsejable, en general la conducción reversible, pues, aunque puede disponerse de modo que simultáneamente lleve agua a la balsa y a la distribución, suele ser preferible independizar ambas funciones, entre otros motivos, por que en general los caudales funcionales en ambos sentidos suelen ser muy diferentes, y las sobrepresiones transitorias en el caso de impulsiones, pueden transmitirse a la red de riego.

En la Figura 7.3. se indica una disposición tipo que comprende:

- ▶ Una galería o una tubería de mayor diámetro que separe la conducción en presión del cuerpo del dique con lo que una eventual fuga (una apertura de junta por ejemplo) sale por la galería o tubería sin causar daño y además es detectada.
- ▶ Un amortiguamiento y protección al desaguar en la balsa.



▲ Figura 7.3.

7.3. Balsas impermeabilizadas con láminas

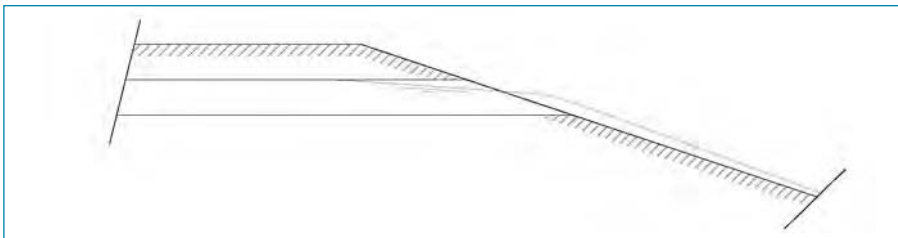
7.3.1. Entradas por coronación

Las entradas por coronación pueden ser de tres tipos:

- Vertido directo sobre lámina mediante tubería.
- Vertido directo sobre lámina mediante arqueta de laminación.
- Vertido directo mediante canal de entrada.

a) Vertido directo sobre lámina mediante tubería

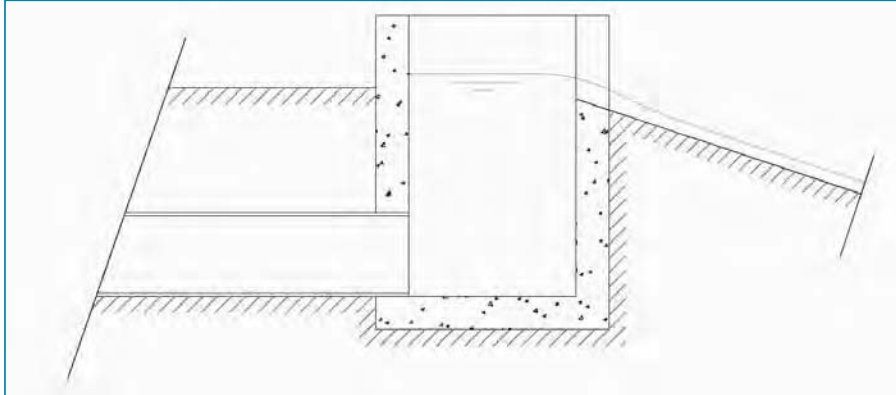
Esta entrada viene asociada a caudales pequeños y velocidades en la conducción bajas, diseñándose de tal forma que el agua no impacte bruscamente sobre la lámina, ni se despegue de ella. Conviene que en el contacto con la lámina, la velocidad no supere el 1,5 m/s y el calado sea inferior a 15 cm.



▲ Figura 7.4.

b) Vertido directo sobre lámina mediante arqueta de laminación.

Este tipo de entrada es la más recomendable para los caudales habituales en balsas, presentando como única limitación que la lámina vertiente tenga un calado inferior a quince centímetros.



▲ Figura 7.5.

c) Vertido mediante canal de entrada

Para caudales elevados, en los que la limitación impuesta en el punto b) implica longitudes de la arqueta de laminación muy grandes, puede ser interesante plantearse la ejecución de un canal de entrada.

Este tipo de entrada presenta más inconvenientes de los que en un principio puede parecer:

- I. La ejecución del canal de entrada y su contacto con la geomembrana. Existen dos posibilidades para su ejecución:
 - Sobre la geomembrana
 - Sobre el terreno, y posteriormente su unión a la geomembrana.
- II. El anclaje del propio canal para evitar su deslizamiento sobre el talud.
- III. Como norma general: el hormigón y las geomembranas «se llevan mal», sobre todo cuando se trata de obras sumergidas, y teniendo en cuenta que en este tipo de entradas, existe una gran longitud de unión hormigón-geomembrana, se debe prestar especial atención.
- IV. Es obligado la ejecución de un cuenco amortiguador en el extremo del canal para garantizar que los llenados a partir de balsa vacía no dañen la lámina.

7.3.2. Entrada de fondo

La entrada de fondo se puede proyectar según los siguientes tipos:

- ▶ En «pico de flauta», con la embocadura enrasada con el talud para pequeños caudales.
- ▶ En codo a 90°, con la embocadura enrasada con el fondo para pequeños caudales.
- ▶ Para grandes caudales, mediante arqueta.

Entre las entrada en pico de flauta y codo a 90 grados, resulta más simplificada de ejecución y por lo tanto preferible la entrada de codo a 90 grados. En cualquier caso se debe garantizar que el calado sobre el fondo, a balsa vacía, sea inferior a 10 cm.

En cuanto a la entrada mediante arqueta, ésta, debe cumplir la doble función de:

- ▶ Amortiguar la energía del chorro.
- ▶ Garantizar que el calado de entrada sobre la lámina, a balsa vacía, sea inferior a 10 cm.

En todas ellas se debe prestar especial atención al enlace entre el hormigón y acero con la geomembrana.

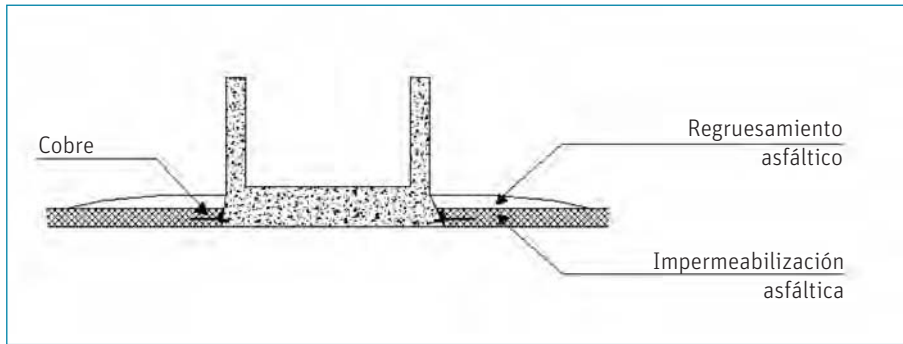
7.4. Balsas impermeabilizas con asfalto

La diferencia básica con las balsas impermeabilizadas con arcilla consiste en que la superficie no es erosionable para las velocidades usuales, por lo que el vertido directo sobre ella resulta más simple, así como el amortiguamiento en el desagüe de la balsa en el caso de entrada sumergida.

Si los caudales son mayores y es preciso disponer una rampa de entrada de fábrica, el enlace con el asfalto debe hacerse con apoyo inclinado para que la presión del agua tienda a sellarlo y con junta de cobre (Figura 7.6.).

La protección para el vertido con embalses parciales puede consistir en un regruesamiento local de la pantalla asfáltica.

Los dispositivos para evitar que las eventuales filtraciones afecten al espaldón, son análogos a los de las balsas impermeabilizadas con arcilla, incluida la galería o la tubería de mayor diámetro.



▲ Figura 7.6.

7.5. Balsas impermeabilizadas con hormigón

Por su mayor rigidez y por consiguiente estar más expuestas a agrietamientos por asentamientos, son de empleo poco frecuente. Cuando se utilicen, sus dispositivos de entrada son análogos a los de las balsas asfálticas, con la ventaja de ser más resistentes a la abrasión.

8. OBRAS DE SALIDA

8.1. Consideraciones generales

Con la balsa se crea un almacenamiento de agua para su utilización en el momento y en la forma más adecuadas. Para ello se requieren unos dispositivos, las tomas de agua, mediante los que llevar a cabo las operaciones pertinentes. Pero la balsa precisa también un mantenimiento y unas condiciones de seguridad ante eventuales situaciones de emergencia.

A dar respuesta a estas situaciones corresponden los aliviaderos y los desagües de fondo, a los que en algún caso concreto, en que por circunstancias particulares se estime conveniente poder llevar a cabo un vaciado rápido, se añadiría un desagüe de emergencia. Este desagüe de emergencia puede a su vez ser una obra específica, o consistir en un sobredimensionamiento de los desagües de fondo.

Una toma de agua consta de embocadura, una conducción que transporta el agua al exterior, sea a través del dique, del terreno o de ambos, y unos órganos de maniobra con los que gobernar el flujo del agua. Estos órganos de maniobra deben comprender dos válvulas o compuertas en serie en cada conducción. La situada aguas abajo es propiamente la de maniobra; la de aguas arriba tiene por misión poder revisar en su momento la de aguas abajo que por ser la que en servicio se maniobra, presenta desgaste. En la medida de lo posible la de aguas arriba conviene que esté en la cabecera de la conducción.

En algunos casos, puede estar indicada una tercera válvula de cierre rápido para reducir los daños que puedan producirse en el caso de la rotura de la conducción. Todos estos elementos son análogos para los distintos tipos de balsa.

Lo que sí es diferente para cada uno de ellos, es su enlace con la impermeabilización. Este aspecto es especialmente importante en las balsas a causa de la incontrolable heterogeneidad de sus espaldones. Ello hace que siempre haya que contar con la existencia de una vía preferente erosionable, lo que exige evitar que a ella pueda llegar agua con capacidad erosiva.

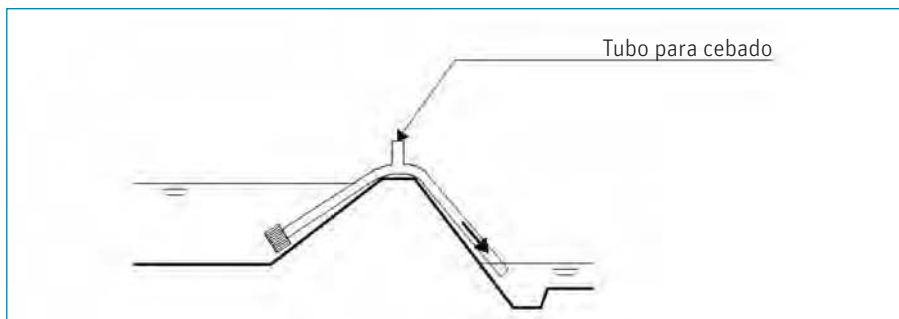
Hay prácticas, utilizadas en miles de balsas de sólo unos miles de m³ de capacidad y calado de pocos metros, que, aún siendo peligrosas, no han dado lugar a accidentes graves debido a las reducidas dimensiones de las obras. Nos referimos al paso de tuberías en presión a través de los diques, sea en contacto directo, sea hormigonadas sobre un cimiento deformable. La práctica es inadecuada en cualquier caso, pero aún mucho más en las circunstancias actuales en que se construyen balsas con más del hm³ de capacidad y calados de más de 15 metros y se proyectan mayores, por la imperiosa necesidad de almacenar en invierno para consumir en verano.

En el capítulo 5º, se ha tratado el tema del enlace de las distintas estructuras de hormigón o metálicas con los elementos de impermeabilización y los dispositivos de seguridad aconsejables. No obstante, y a riesgo de incurrir en repeticiones, se harán algunas indicaciones al describir los distintos dispositivos.

8.2. Tomas de agua

8.2.1. Tomas en sifón

La toma en sifón (Figura 8.1) se ha utilizado en algunas balsas pequeñas y quizá más para derivar caudales moderados de canales importantes, como es el caso del Canal del Salto de Castrejón. Su ventaja principal es que no afecta a la estructura de la balsa o del canal



▲ Figura 8.1.

8.2.2. Tomas inferiores

En la Figura 8.2. y Figura 8.3., se esquematizan dos tipos clásicos de embocadura que en el caso de impermeabilización con lámina presentan el punto débil **A** muy proclive al corte de la lámina por la arista de hormigón.

Este riesgo puede reducirse, e incluso anularse, con la disposición de la Figura 8.4., que también resulta aplicable a la Figura 8.3. (Figura 8.5.).

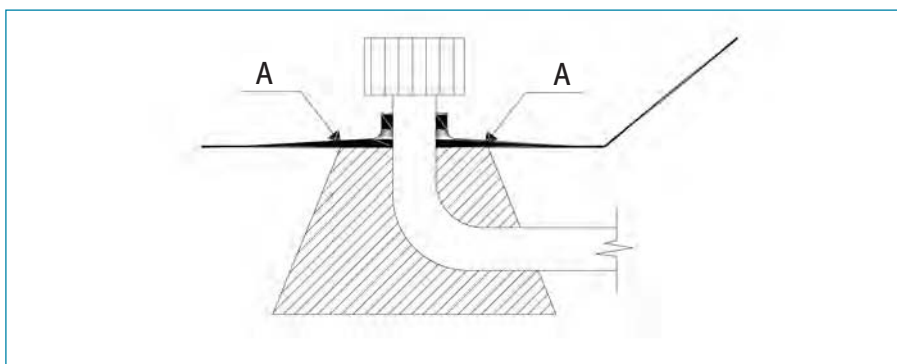
Se ha señalado anteriormente, que ha sido práctica habitual con tuberías de hasta 30 ó 40 cm de diámetro que siguiesen bajo el dique, hormigonadas o no, hasta una válvula de regulación aguas abajo. Esta práctica es muy peligrosa en el caso de fugas, sea por juntas o por grietas provocadas por asentos. Si por la poca envergadura de la obra, resulta desproporcionado disponer una galería visitable, puede recurrirse a colocar la tubería en carga dentro de otra con la holgura suficiente y dispuesta de modo que no sea ella la que provoque la rotura de la impermeabilización. La Figura 8.6. puede ser orientativa.

Si la tubería en carga queda muy suelta en el interior de la de protección, puede dar lugar a vibraciones que sean causa de averías. Conviene, por lo tanto, arbitrar algún modo de disponer una sujeción no rígida que evite estas vibraciones. Una eventual reparación o sustitución obligaría en la práctica a vaciar la balsa y descubrir la instalación, lo que siempre es menos grave que la ruina de la obra.

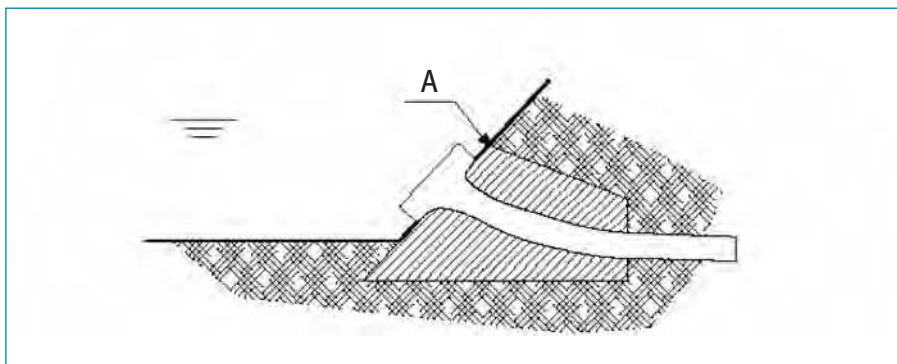
Las disposiciones reseñadas corresponden a obras pequeñas (balsas de 5.000 - 30.000 m³ de capacidad) en las que resulta desproporcionada una galería visitable. Por otra parte, su vaciado para una reparación aunque siempre causa perjuicios, son moderados.

En las balsas mayores, que como se ha indicado es la tendencia y la necesidad actual, lo indicado es disponer una o dos galerías según los casos que sirvan para el acceso, alojamiento de tuberías y salida de desagües de fondo y emergencia.

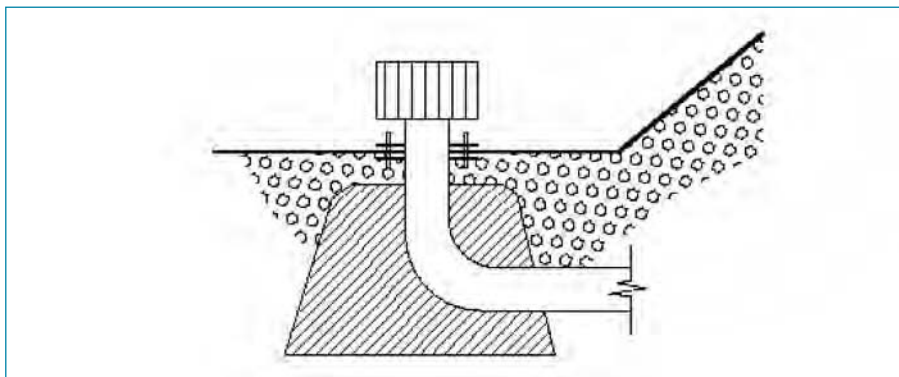
A título orientativo se reproduce en la Figura 8.7. y Figura 8.8. una solución adoptada, tanto en diversos embalses como en dos balsas de 3 hm³ y 20 metros de altura de lámina de agua.



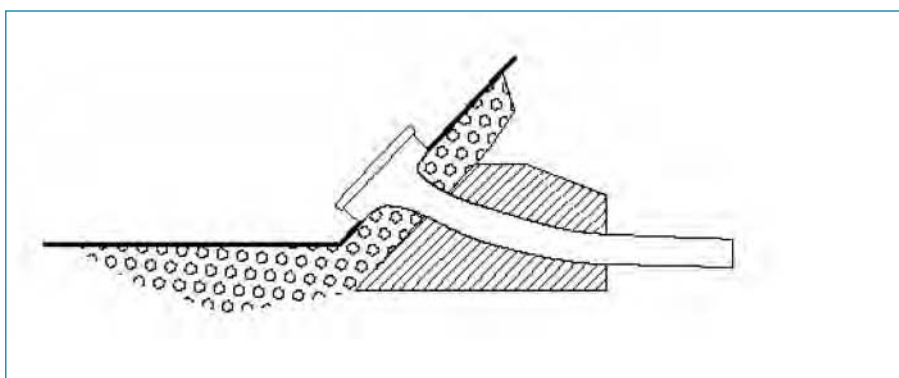
▲ *Figura 8.2.*



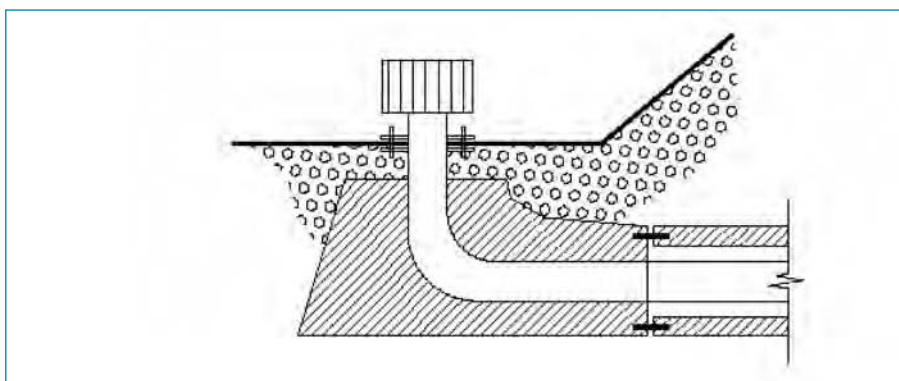
▲ *Figura 8.3.*



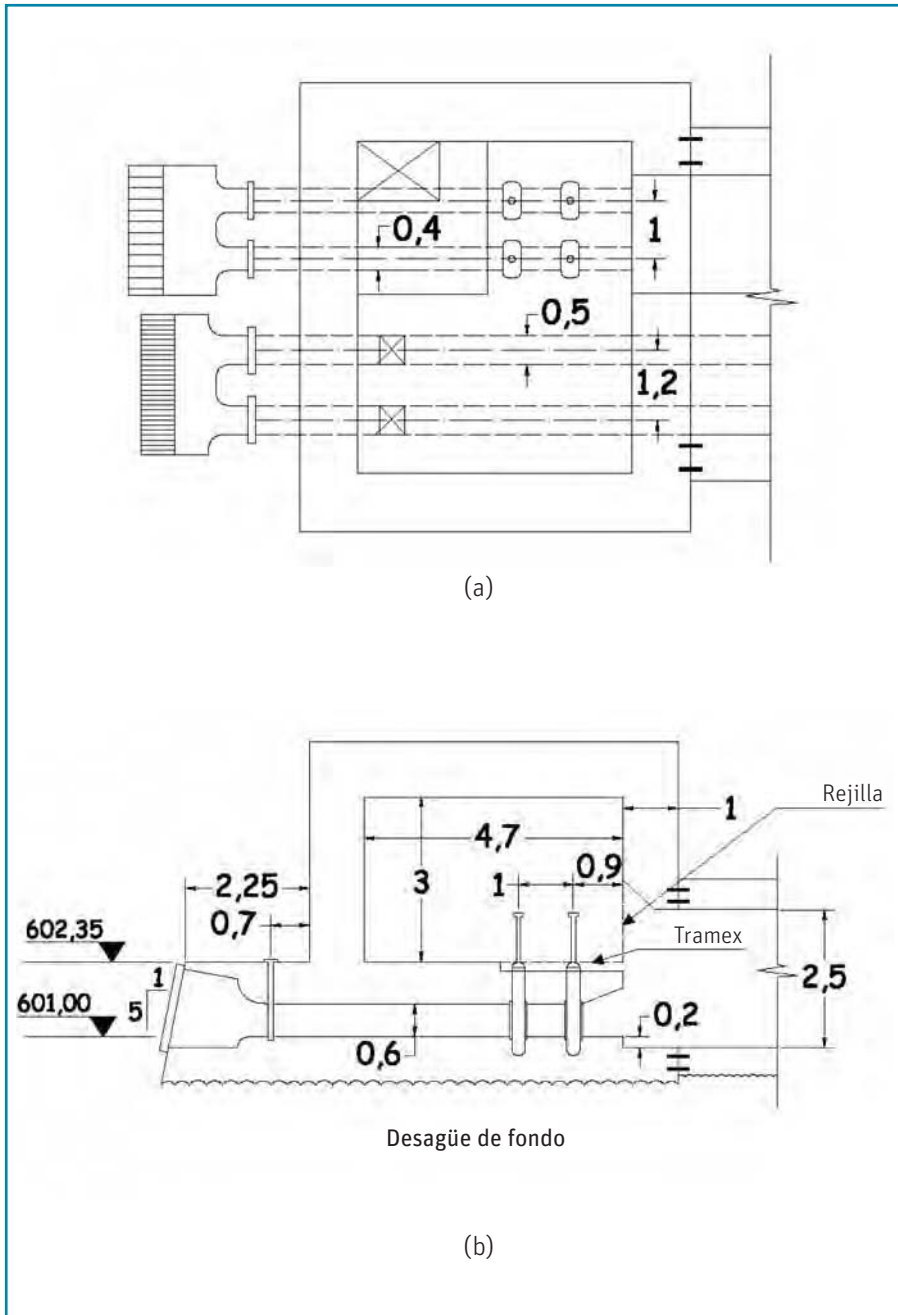
▲ *Figura 8.4.*



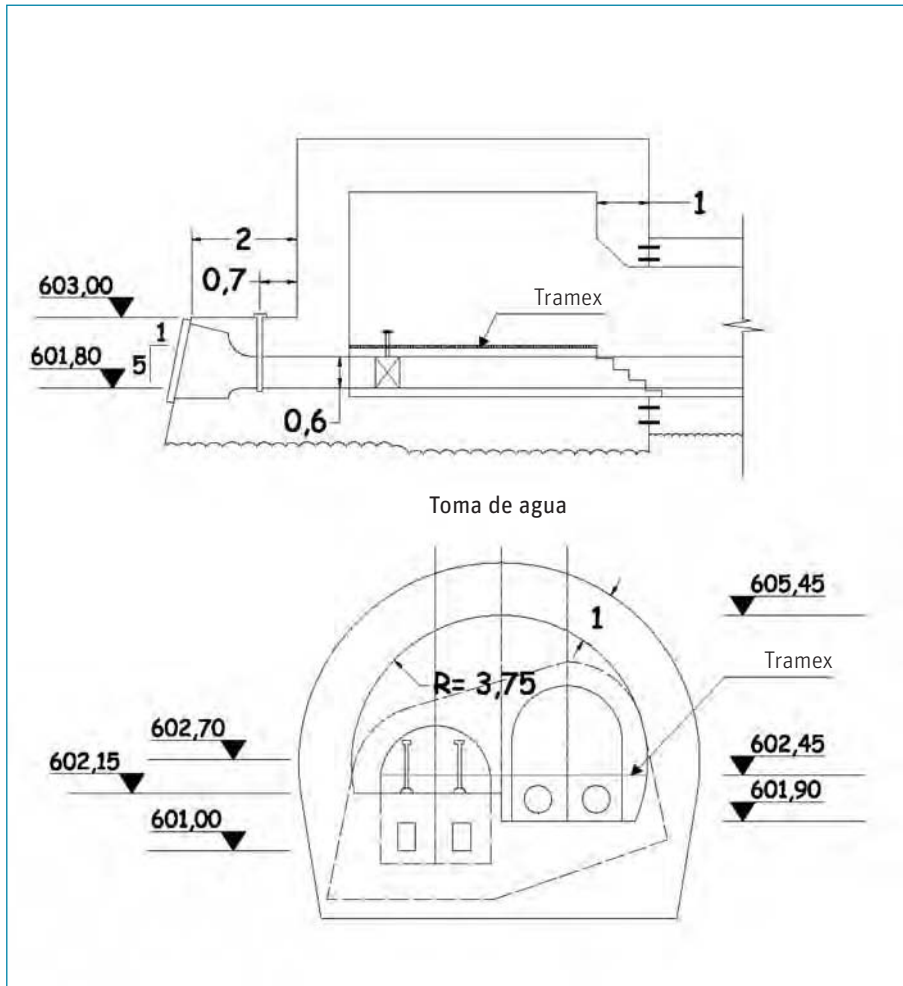
▲ *Figura 8.5.*



▲ *Figura 8.6.*



▲ Figura 8.7.

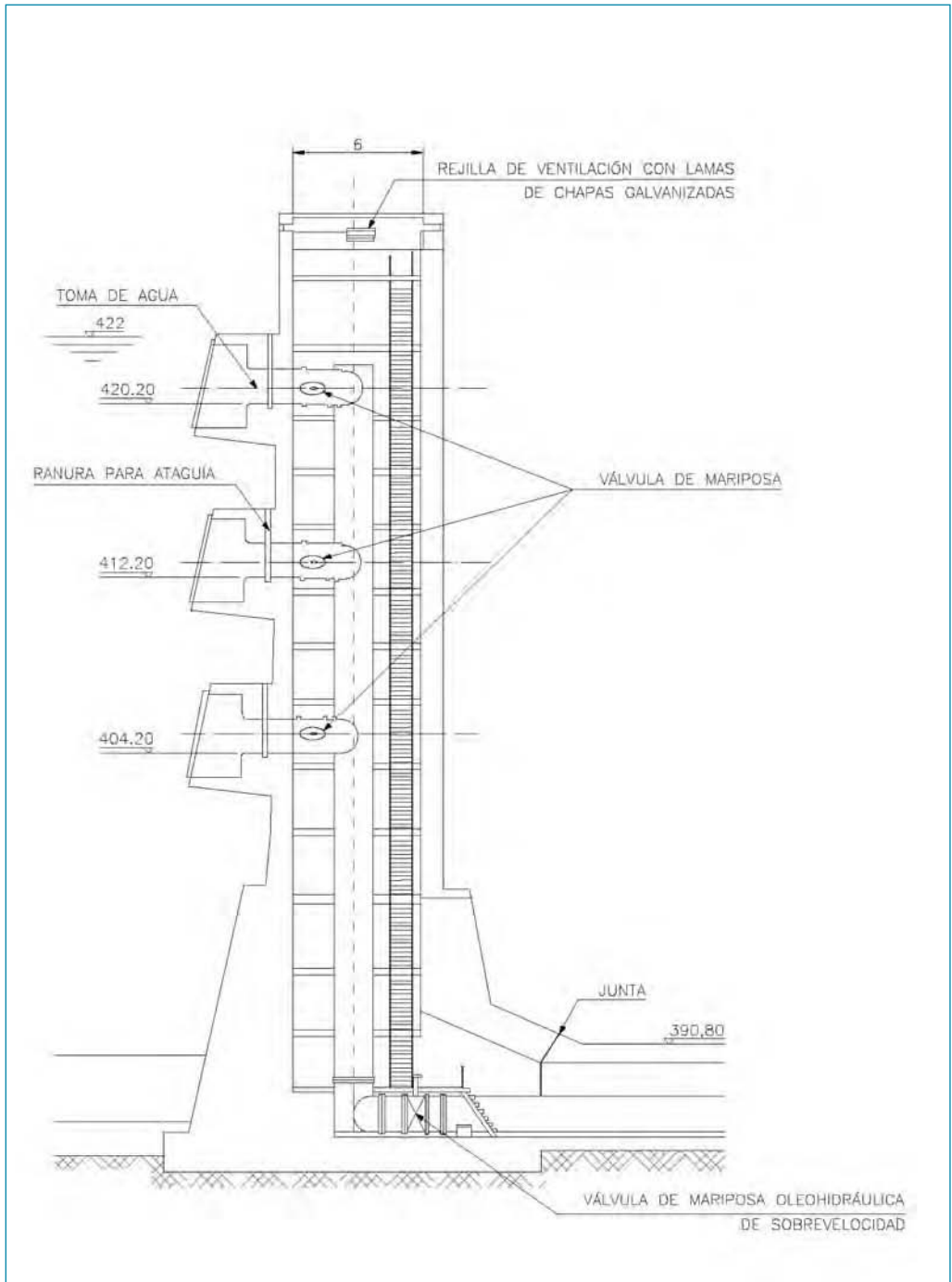


▲ Figura 8.8.

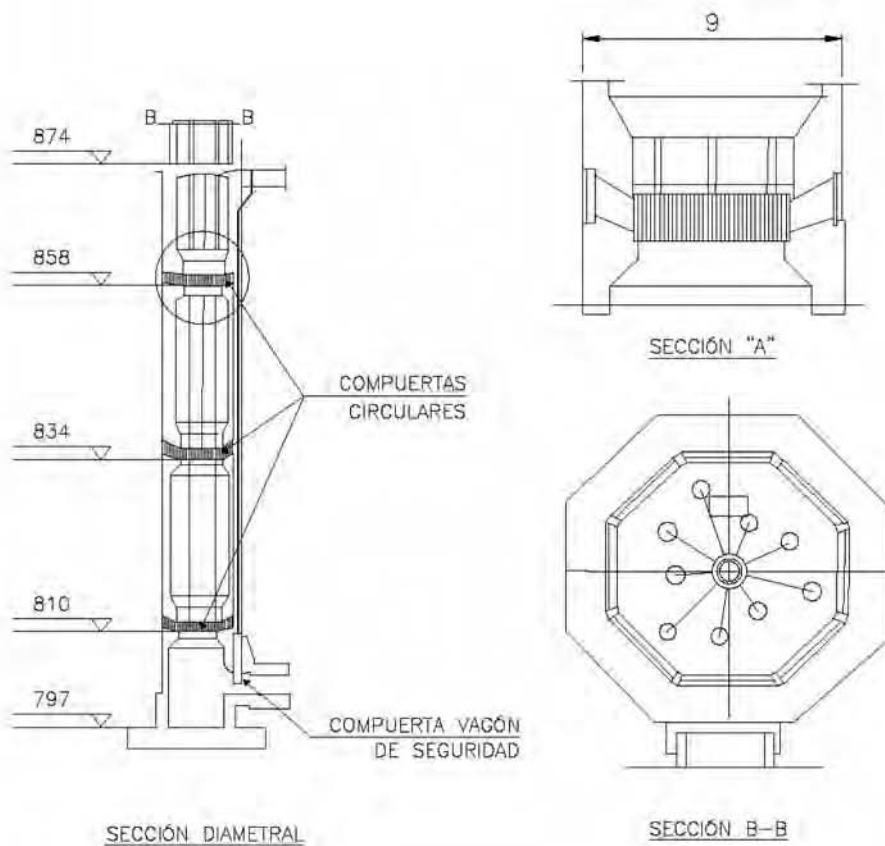
8.2.3. Tomas en torre

Con capacidades mayores ($10-20 \text{ hm}^3$) pueden ser adecuadas torres con tomas a distintas cotas análogas a las de empleo habitual en embalses.

La Figura 8.9. es la correspondiente a un embalse-balsa de 20 hm^3 y 25 m de profundidad. Si los caudales exigen tuberías mayores que la de la Figura 8.9, caso poco probable en balsas, puede ser más adecuada la solución clásica del tipo de la Figura 8.10., que corresponde al embalse de El Atazar (Madrid).



▲ Figura 8.9.



▲ Figura 8.10.

8.2.4. Cámara de válvulas

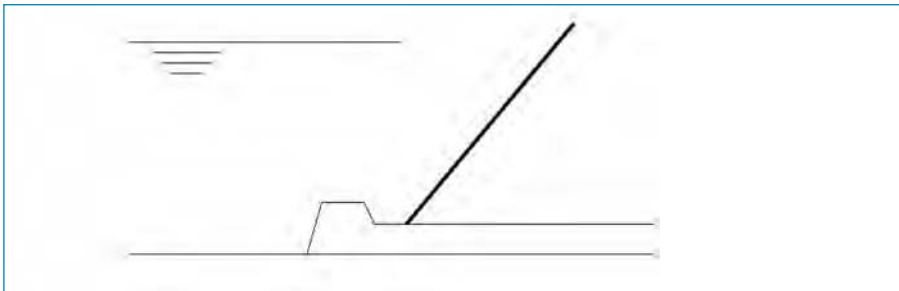
Un aspecto de especial interés es el de la localización de la cámara de válvulas. Con la impermeabilización aguas arriba, que es lo más usual, la localización más adecuada es la que se indica en la Figura 8.11., en la que las galerías quedan en seco. Si es central, se encuentra con frecuencia en presas pequeñas la disposición de la Figura 8.12.

Presenta por una parte la ventaja de que en el tramo sumergido de las galerías, que suele ser única, las presiones en ella están equilibradas, la obra es mas barata y en caso de grietas no hay filtraciones.

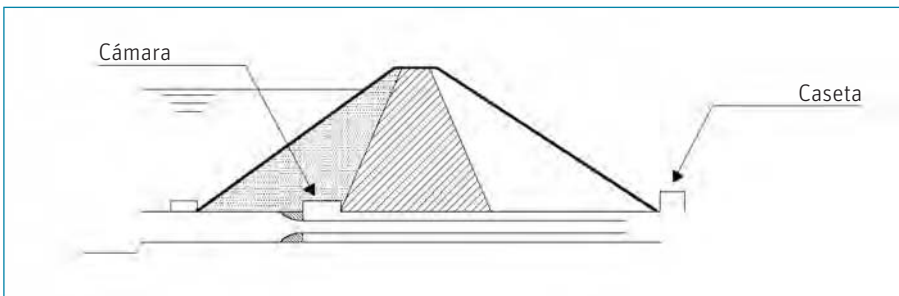
Pero por otra parte, la velocidad del agua en él es sustancialmente menor que en las tuberías de toma y en el desagüe de fondo, con lo que se va produciendo una sedimentación incontrolada que acabará dando problemas de explotación. Tratándose de balsas de aguas limpias, esta sedimentación es muy lenta en el tiempo (no hay avenidas). Si se trata de aguas depuradas el problema es bastante peor.

Además, en ambos casos ese tramo sólo es revisable con un vaciado total de la balsa, situación más dificultosa cuanto mayor es su volumen, al ir teniendo más carácter de regulación estacional y de reserva estratégica.

Teniendo en cuenta todo ello, estimamos que es preferible la disposición de la Figura 8.11.



▲ Figura 8.11.



▲ Figura 8.12.

8.2.5. Tomas flotantes

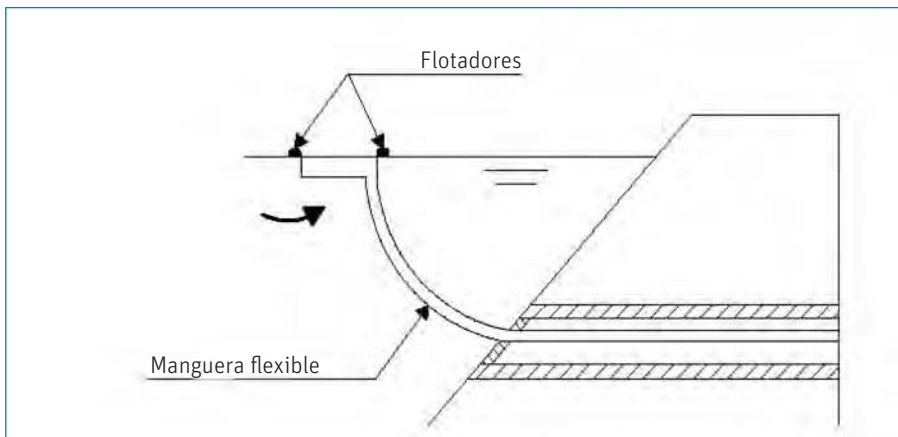
Cada vez más, y en gran medida por la generalización del riego por goteo, se utilizan tomas flotantes. Hay bastantes de tipo artesanal, constituidas por una caja vertedero con flotadores unida a la conducción de salida por una tubería flexible (Figura 8.13.).

Generalmente se ha dispuesto a posteriori. Pero las hay industriales de varios fabricantes que se prevén ya en el proyecto.

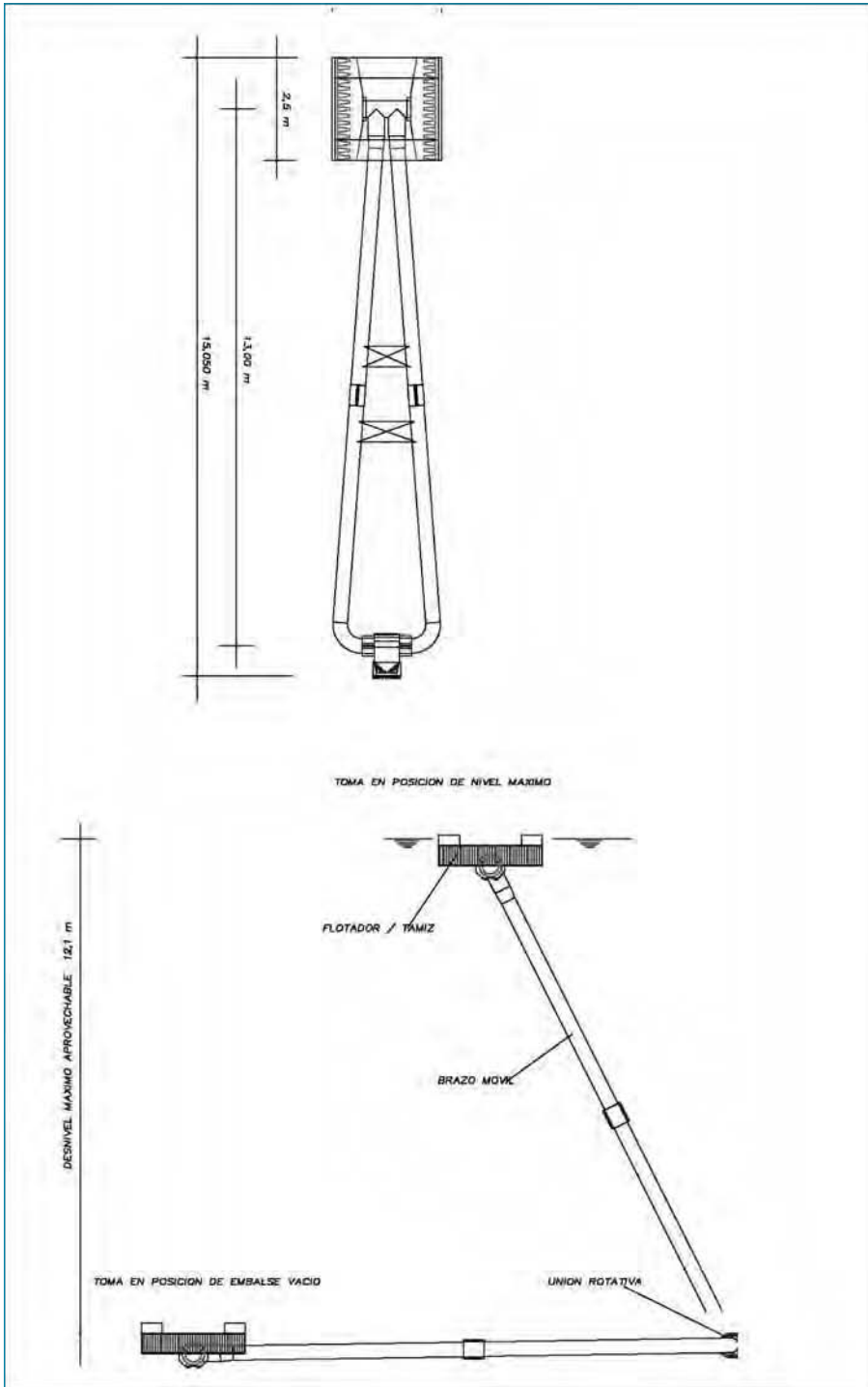
En la Figura 8.14. se muestra la instalada en la balsa de Los Cabezos (640.000 m³), en Villena (Alicante), de aguas depuradas y en la Figura 8.15. la recientemente instalada en el embalse-balsa de Crevillente (Alicante).

La finalidad de estas tomas es derivar agua cuasi-superficial con entrada ascendente, con el doble objetivo de que sea templada y de que tenga un mínimo de materia en suspensión.

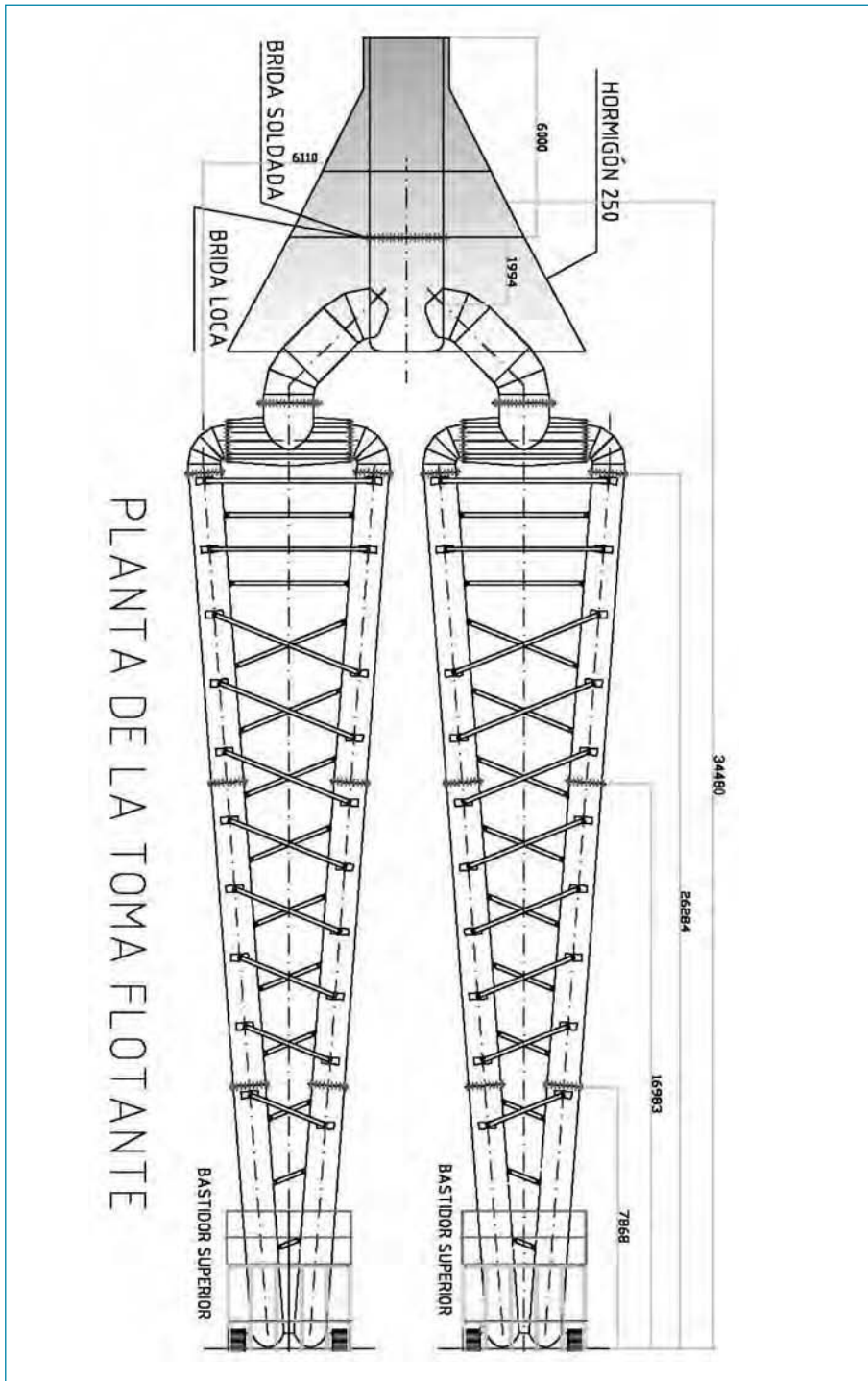
Aunque no conocemos ninguna toma flotante sumergida, no hay ninguna dificultad técnica en construirla; basta jugar con la distancia vertical entre los flotadores y la embocadura, distancia que a su vez puede hacerse regulable según la época del año (Figura 8.16.).



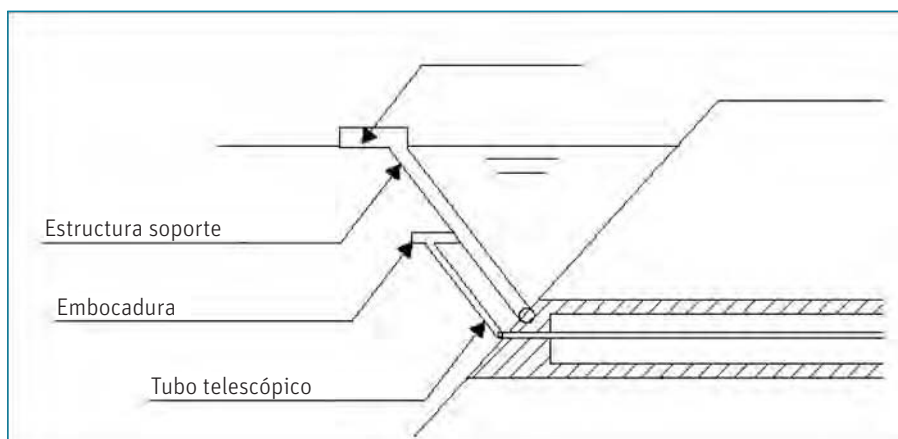
▲ Figura 8.13.



▲ Figura 8.14.



▲ Figura 8.15.



▲ Figura 8.16.

8.3. Desagües de fondo

El desagüe de fondo es el situado a la cota más baja y sus funciones son:

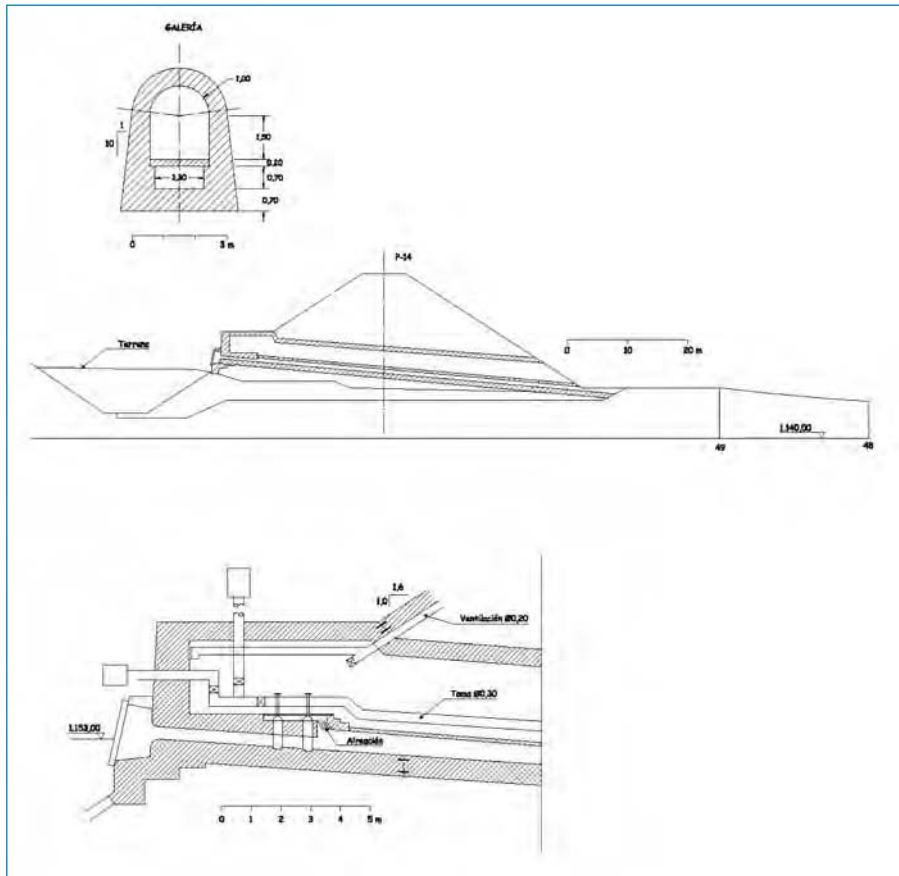
1. Poder vaciar y limpiar la balsa.
2. Mantener operativas las tomas inferiores frente a los sedimentos
3. Poder vaciar la balsa con la rapidez que aconsejen sus daños potenciales ante una emergencia.

La función número 2 sólo es de interés en los embalses-balsas.

En la gran mayoría de las balsas construidas, que son de capacidades pequeñas o medias las funciones 1 y 3 están a cargo de una derivación de la toma de servicio a un cauce natural.

Al ir aumentando el tamaño de las balsas, y por tanto sus daños potenciales, ha tomado importancia creciente la función número 3 hasta el punto de que por ejemplo en la balsa de Cabezos en Villena el caudal a evacuar por ella es varias veces superior al máximo de servicio. Además por seguridad se exige ya duplicidad de desagüe. Todo ello conduce a disposiciones funcionalmente análogas a las que se aprecia en la Figura 8.7. y Figura 8.8.

Otra disposición que es de interés, cuando el caudal de servicio es reducido, es el que se esquematiza en la Figura 8.17., adoptado en el embalse de Montemayor (600.000 m³).



▲ Figura 8.17.

8.4. Aliviaderos

8.4.1. Consideraciones generales

El aliviadero cumple una función de seguridad se trate de un embalse, de un embalse-balsa, o de una balsa, y es evitar que la estructura sea desbordada.

En el caso de un embalse, la lluvia en la cuenca da lugar a un hidrograma de entrada que, modificado por el embalse y sus órganos de gobierno, se transforma en un hidrograma de salida que se evacua por el aliviadero.

El hidrograma de entrada se compone de dos partes que son cualitativamente diferentes: la debida a la lluvia caída directamente sobre la superficie del embalse y la caída

sobre el resto de la cuenca. La primera resulta tan reducida respecto a la segunda que no se tiene en cuenta diferenciadamente.

En el caso de una balsa, el caudal entrante se compone de la alimentación que reciba cuyo caudal máximo es conocido y de la lluvia que caiga directamente sobre él.

En cuanto a la alimentación hay que considerar que por cualquier causa no se corte a tiempo la conducción de entrada y por lo tanto el aliviadero debe ser capaz de evacuarla. En cuanto a la lluvia recibida directamente, se trata de laminar un pluviograma sobre la superficie de la balsa.

El período de retorno a considerar dependerá de los daños potenciales en caso de rotura en especial del riesgo de vidas humanas. Por consiguiente podrá variar según las circunstancias hasta llegar a los 10.000 años; aunque en cualquier caso conviene que sea como mínimo de 1.000 años.

Si se trata de un embalse-balsa la parte importante es el hidrograma debido a la cuenca, al que se añade el caudal de alimentación.

8.4.2. Tipos de aliviadero

La gran mayoría de las balsas existentes son de dimensiones reducidas y con caudales de alimentación también bajos (40-200 litros/s) por lo que los dispositivos de aliviadero que se encuentran en ellas son bastante elementales: pueden distinguirse tres tipos:

- ▶ Tubos
- ▶ Canal
- ▶ Badén

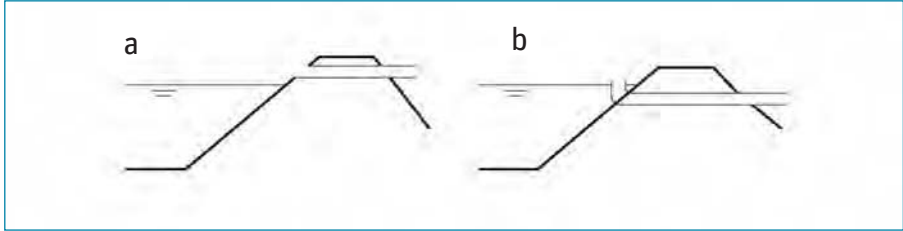
El aliviadero con tubos (Figura 8.18.) consta de uno o varios tubos que atraviesan la coronación. La embocadura puede ser en «pico de flauta» (a) o circular (b). En las disposiciones en canal (Figura 8.19.) y en badén (Figura 8.20.) se aprovecha la zona de coronación excavada.

Al aumentar los caudales 10-15 m³/s, las soluciones son análogas a las utilizadas en las presas de embalse y de ellas las de más interés el aliviadero lateral (Figura 8.21.) y el *morning glory* (Figura 8.22.) dependiendo de la topografía circundante.

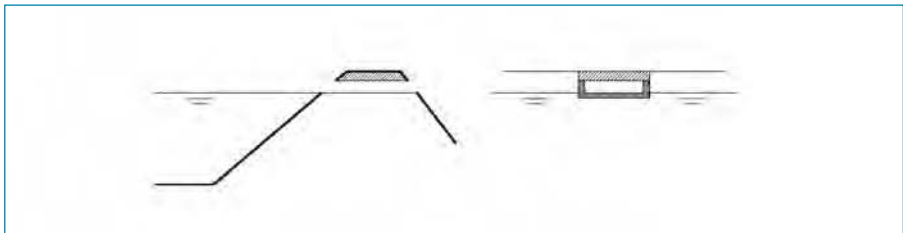
Excepcionalmente (Figura 8.23.), se puede utilizar una disposición en laberinto, cuando sea perentorio mantener la máxima capacidad de embalse en uno ya construido, al que se le dota de aliviadero.

Es importante distinguir en este caso también entre balsas y embalses-balsas. En las primeras, aunque sean de aguas depuradas no son de temer obstrucciones en pasos y conducciones de dimensiones reducidas. En las segundas, hay que analizar qué cuerpos

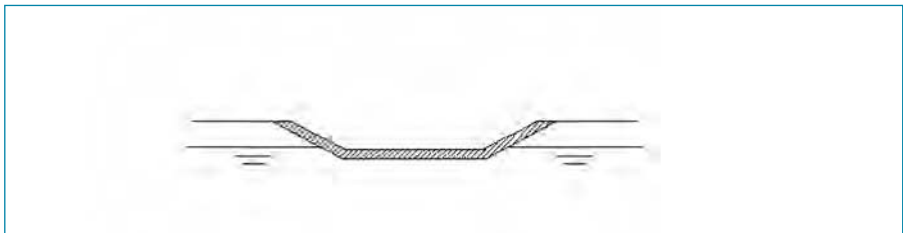
flotantes (ramas, maderas, etc.) pueden llegar al aliviadero y obstruirlo, lo que, especialmente en los *morning glory* puede obligar a dimensiones mínimas que descarten la solución.



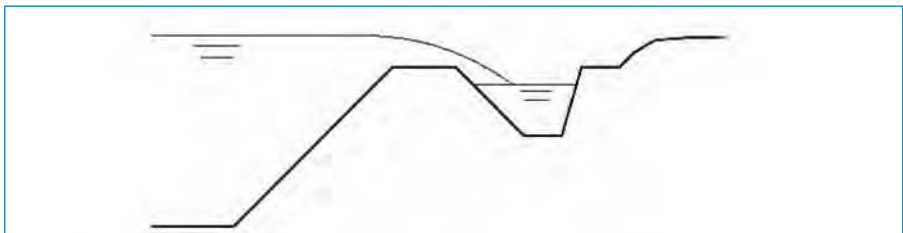
▲ Figura 8.18.



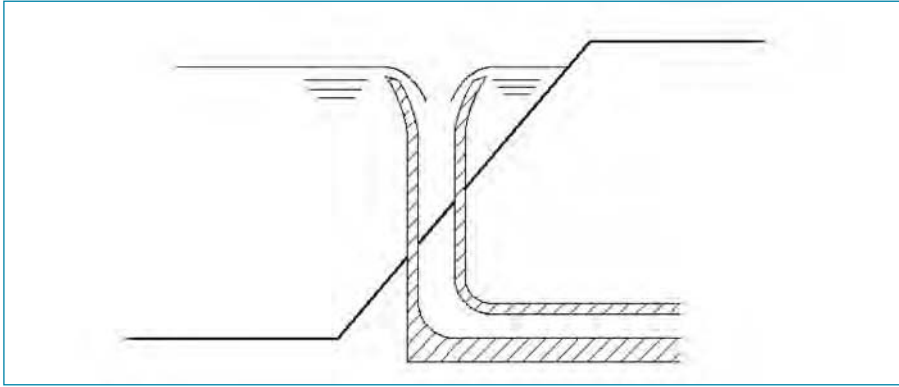
▲ Figura 8.19.



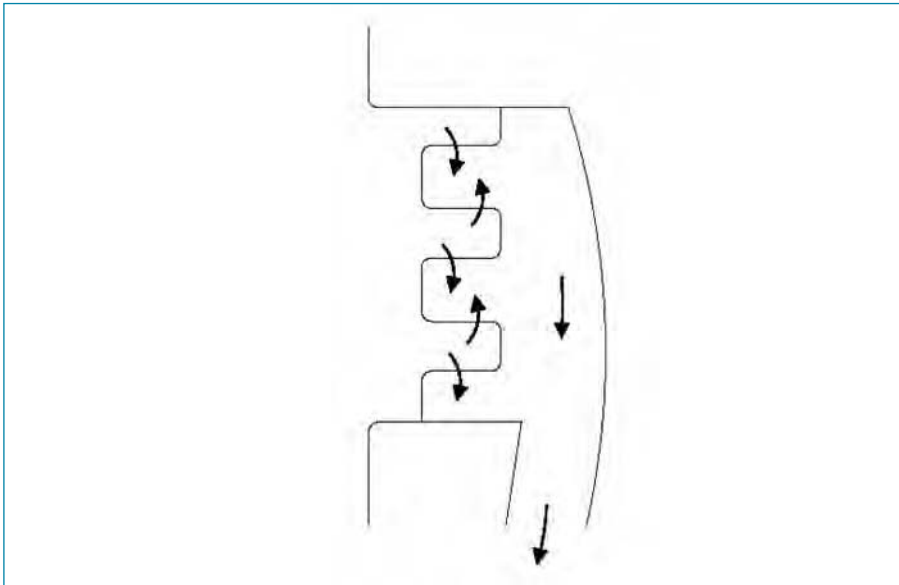
▲ Figura 8.20.



▲ Figura 8.21.



▲ *Figura 8.22.*



▲ *Figura 8.23.*

8.4.2.1. Aliviaderos fusibles

A veces se han utilizado en algunas presas, en zonas con insuficiencia o incertidumbre de datos, los aliviaderos fusibles, con los que canalizar el desbordamiento por donde sea menos dañino. Sólo tendría aplicación en el caso de embalses-balsas, a causa de la incertidumbre de las avenidas, y aún en ese caso no lo encontramos aconsejable, pues con el paso de los años podría no resultar tan débil como se había previsto o la zona a la que desagüe tan inocua como cuando se dispuso.

9. VALLADO PERIMETRAL Y DISPOSITIVOS QUE PERMITAN LA SALIDA DE PERSONAS Y ANIMALES QUE ACCIDENTALMENTE CAIGAN EN LA Balsa

Se han dado casos de pérdida de vidas humanas por ahogamiento al caer de forma involuntaria, o bien simplemente por disfrutar de un baño en balsas impermeabilizadas con geomembranas. Esto es debido, fundamentalmente, a que el escaso coeficiente de rozamiento de las geomembranas, junto con las pendientes habituales del talud interior 1 vertical / 2,5 horizontal, o superiores hace imposible el poder salir de la balsa subiendo por los taludes. Por todo ello, de forma obligatoria deben disponerse al menos los siguientes elementos de seguridad:

- ▶ Vallas de cerramiento de una altura del orden de los dos metros, cerrando perimetralmente el vaso, para impedir el acceso al mismo de personas ajenas a la explotación.
- ▶ Elementos que permitan la salida del vaso interior de la balsa con seguridad.

10. CONSTRUCCIÓN

10.1. Consideraciones generales

Para la construcción de una balsa hay que llevar a cabo una secuencia de operaciones (desbroce, excavación, terraplenado, hormigonados, disposición de tuberías, etc.) de las que hay unas «reglas del arte» establecidas que no es ocasión de detallar aquí.

No obstante hay dos operaciones que a causa de la heterogeneidad de los materiales utilizados presentan particularidades que conviene analizar y tener en cuenta. Son la compactación de diques y el paso de conducciones y galerías a través de los diques y de los terrenos colindantes.

Ambos temas se tratan respectivamente en los anexos 16.4. y 16.5., a fin de poder darles extensión y detalles poco propios del cuerpo de la *Guía*. No está de más sin embargo señalar los aspectos que podrían considerarse esenciales de ambas cuestiones.

Las balsas clásicas, se construyen con los materiales excavados para crear parte del vaso que en general son heterogéneos e irregularmente erosionables por el agua. Sólo en contadas ocasiones les resultan aplicables las «reglas del arte» de los diques de presas en los que los materiales se aportan y son homogéneos por grupos, o de las carreteras cuya exposición a la erosión por el agua es reducida.

Así, salvo en casos concretos, la compactación no puede controlarse mediante el Proctor, pues el material en general no es adecuado para ello. También a causa del material se producirán en el cuerpo del dique vías preferentes para la circulación del agua de una filtración que pueda dar lugar a una erosión interna que conduzca a la ruina.

Dado que nos es posible localizar estas vías, el dispositivo adecuado y eficaz es el dren-chimenea utilizado por primera vez, en 1947, por Terzaghi en la presa Vigario (hoy presa Terzaghi) al oeste de Río de Janeiro y seguidamente en otras cinco presas brasileñas. El citado dren chimenea sirve para evitar la erosión en las eventuales fisuras que pudieran producirse en ellas al ser homogéneas y estar construidas con un material laterítico muy impermeable, compactado del lado seco para evitar presiones intersticiales elevadas durante la construcción.

Más frecuente y peligrosa es la tubificación a lo largo de conducciones y galerías que atraviesan el dique o el terreno.

El remedio, análogo en esencia al dren-chimenea, es rodear el conducto con una gravilla, rodeada a su vez con un geotextil de forma que los eventuales arrastres queden detenidos y el agua que pasa a la gravilla es conducida por ésta sin capacidad de arrastre hasta el exterior.

En el anexo 16.5., se precisan detalles y algunas disposiciones concretas.

11. AUSCULTACIÓN

11.1. Consideraciones generales

La diferencia, reiteradamente mencionada, entre presas y balsas incide también en la auscultación que se prevea para ellas.

Una presa se construye con materiales seleccionados, por consiguiente con un comportamiento homogéneo para cada uno de ellos por lo que se deduzca de la observación de n puntos puede, en principio, considerarse representativo. Una balsa clásica se construye con el material que procede de la excavación de parte de su vaso, y que salvo excepciones, sólo es apto como soporte. Es anárquicamente heterogéneo y casi siempre muy sensible a erosión interna.

Por ello, se ha venido promoviendo disponer en ellas válvulas de seguridad, es decir dispositivos que en caso de una fisura, incluso importante, no dé lugar ni a arrastres ni a presiones intersticiales. Si la balsa se ha construido con técnica de presas, lo que es probable en las que se sitúen en cauces, su auscultación se asemejará a la de éstas.

Otra diferencia importante, ésta válida para todas, es que las balsas no tienen avenidas, lo que a su vez tiene como consecuencias que la puesta en carga puede llevarse a cabo al ritmo que se desee, y que puede rebajarse su nivel o vaciarse en cualquier circunstancia. No quiere esto decir, que la auscultación en las balsas sea algo superfluo sino que hay que acomodarla a su naturaleza, para obtener de ella el máximo partido.

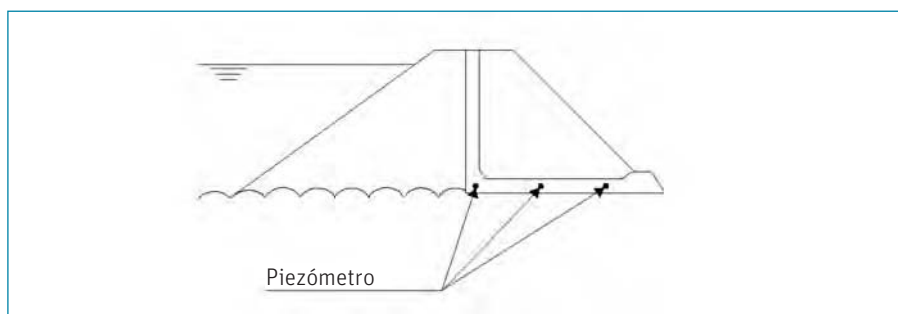
Clásicamente se distinguen dos tipos de auscultación: de estudio y de seguridad, según se pretenda con ella analizar y estudiar el comportamiento con vistas a futuras realizaciones, o tener una alerta en tiempo real de cualquier anomalía que pueda ser o conducir a un riesgo de entidad.

La instrumentación de estudio responde en cada caso a los aspectos que se pretende estudiar.

La de seguridad debe ser sencilla, muy fiable y duradera, y en su caso reemplazable, puesto que es a la que se confía el control del comportamiento en el tiempo.

En el caso de las balsas, los aspectos básicos de la auscultación de seguridad son las deformaciones, como posible causa de rotura de la impermeabilidad o como indicio de inestabilidad de taludes, y las filtraciones como indicador de pérdida de impermeabilidad y como aviso de eventuales erosiones internas.

Como se ha venido indicando, la válvula de seguridad básica de las balsas es el drenchimenea en el que, aún en el caso de circulación de un caudal importante, no debe haber presión o en su caso ser muy reducida.



▲ *Figura 11.1.*

Está indicado por tanto, disponer en él, en su parte baja, unos piezómetros. Como el medio que los rodea es muy permeable su respuesta es inmediata.

Dispositivos de auscultación de seguridad comunes a todas las balsas son:

- ▶ Nivelación y colimación en coronación y en los taludes.
- ▶ Medición de filtraciones en el drenaje.
- ▶ Piezómetros en el dren chimenea.

100

La tecnología de fibra óptica permite disponer una fibra continua por ejemplo en el dren chimenea que detecte en posición la presencia de agua por intermedio de las diferencias de temperatura como se ha hecho por ejemplo en el Mittlerer tsarkanal en Munich.

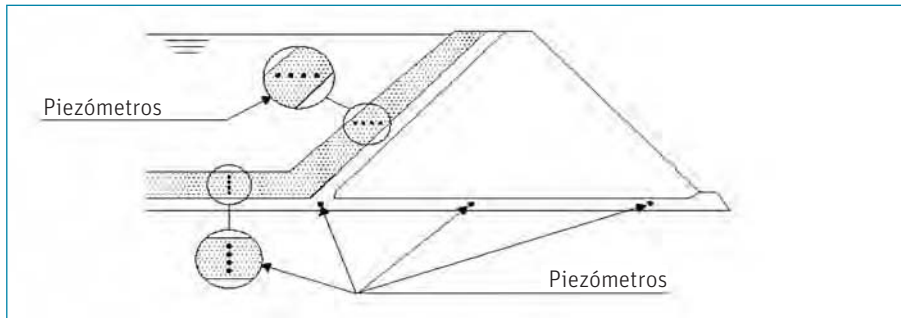
Estas pequeñas filtraciones, en principio no peligrosas, no son fáciles de detectar en el drenaje, pero sí conviene conocerlas para organizar las labores de mantenimiento. A continuación se hacen algunas consideraciones particularizadas para los distintos tipos de balsas:

1. Balsas impermeabilizadas con arcilla

En estas balsas sí hay un material homogéneo, el arcilloso, cuyo comportamiento ante el agua interesa conocer, tanto durante la construcción como en la explotación, especialmente en los desembalses rápidos.

Teóricamente, el núcleo inclinado de la Figura 11.2 en desembalse rápido drena verticalmente y no da lugar a presiones intersticiales. No obstante, en algún caso se han medido algunas presiones del orden de $1/3 H$ en la parte central y nulas en los bordes, atribuidas al aire disuelto. Como la disposición es muy útil, y se ha empleado con éxito en presas y en balsas, convendría instrumentar las que se construyan para tener un conocimiento más consolidado. La disposición de los piezómetros conviene que sea la

indicada en la Figura 11.2. Para poder diferenciar el efecto local de las superficies libres del núcleo.



▲ Figura 11.2.

2. Balsas impermeabilizadas con láminas

Interesa sacar partido en estas balsas de la gran deformabilidad de las láminas (superior al 200% en rotura), para detectar por observación directa, antes de que supongan ningún riesgo eventuales subsidencias, cualquiera que sea su causa.

101

3. Balsas impermeabilizadas con asfalto

Ya se ha comentado que el revestimiento asfáltico es moderadamente flexible, especialmente con cargas lentas, pero resulta sensible a asientos diferenciales.

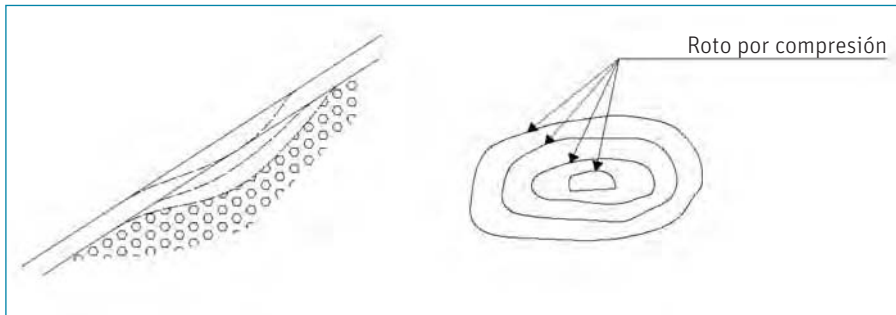
Resulta por tanto aconsejable, medir directamente la deformación de los taludes interiores en unos cuantos perfiles, adecuadamente seleccionados, y ello por los dos motivos de estudio y de seguridad, más bien de mantenimiento ya que la seguridad se logra por el dispositivo general que se viene denominando «válvula de seguridad» (dren – chimenea o similar).

Estas medidas, que ya se han llevado a cabo en algunas presas, se realizan con facilidad desplazando a lo largo de cada perfil un carrillo provisto de un clinómetro registrador. Esto permite, además, seguir la deformación durante la puesta en carga y la deformación diferida bajo carga ya que el dispositivo es sumergible.

4. Balsas impermeabilizadas con hormigón

El revestimiento de hormigón es sólo ligeramente flexible, por lo que puede dar lugar a que bajo él se produzcan vacíos que conduzcan a la rotura. De todo ello, hay numerosos ejemplos en la bibliografía, al sobrepasarse la resistencia a compresión del hormigón (Figura 11.3.).

Interesa por tanto, seguir la deformación de modo análogo al indicado para el asfalto, con vistas a que el mantenimiento se anticipe, al detectar que la deformación bajo carga da compresiones en el hormigón que se acercan o superan su límite elástico.



▲ Figura 11.3.

5. Balsas impermeabilizadas con mantas de bentonita

Atención visual a su superficie y a hojas, arenas, etc., que formen depósitos localizados y puedan ser indicadores de puntos de filtración.

12. PRIMERA PUESTA EN CARGA Y SIGUIENTES

12.1. Consideraciones generales

La puesta en carga por primera vez, brinda una ocasión que se debe aprovechar para analizar cual es el comportamiento real de la obra que realmente se ha construido, comportamiento que a su vez, sirve de referencia para su comportamiento a lo largo del tiempo.

Subsidiariamente, pueden ponerse de manifiesto eventuales defectos, que pueden así ser subsanados antes de la puesta en servicio definitiva.

El planteamiento general es el de llevar a cabo la puesta en carga por escalones, al menos tres, sin pasar al siguiente hasta que los efectos de cada uno, asentamientos, deformaciones y filtraciones, etc. se hayan estabilizado, y como mínimo dos días, a fin de dar lugar a dos ciclos día – noche y sus correspondientes en temperatura, ya que hay algunas láminas muy sensibles a ella.

Una vez más, se pone de manifiesto una diferencia básica entre presas y balsas. Las primeras soportan fluctuaciones de llenado y avenidas, por lo que en contadas ocasiones es posible mantener un calendario de llenado y, con cierta frecuencia, se llenan los embalses bruscamente en una avenida. El llenado de las balsas, por el contrario, puede hacerse con el calendario que se fije al controlarse totalmente tanto las entradas como las salidas. Un esquema mínimo puede ser el siguiente:

1. Llenado hasta $1/3$ de la cota normal y mantenimiento del nivel hasta estabilización de las medidas.
2. Llenado hasta $2/3$ de la cota normal y mantenimiento del nivel hasta estabilización de las medidas.
3. Llenado total de la cota normal y mantenimiento del nivel hasta estabilización de las medidas.

Si se presenta alguna singularidad de cierta entidad a apreciar, corregirla antes de seguir. Si el llenado ha resultado satisfactorio, se puede poner en explotación y según se vaya vaciando estabilizar y medir a las mismas cotas en que se hizo al llenar.

Normalmente habrá alguna diferencia, pues ha actuado el tiempo. Si dichas diferencias son aceptables, se puede continuar la explotación, siguiendo como norma el medir tanto al subir como al bajar, a las mismas cotas. Lo que cabe esperar es que al cabo de unos ciclos el comportamiento sea repetitivo; si no lo fuera, investigar las causas.

Si las medidas se representan adecuadamente en un gráfico en el que también figuren la cota de embalse, la temperatura y la lluvia, se facilita grandemente el apreciar la tendencia del comportamiento. Existen casos en que la tendencia ha llevado a poner fuera de servicio alguna presa al cabo de 20 años.

13. SEGURIDAD

13.1. Consideraciones generales

En principio una balsa se construye para satisfacer una necesidad vital, la disponibilidad de agua en el momento preciso en la cantidad y con la calidad necesarias, así como un puente para poder cruzar un río con independencia del caudal que en cada momento circule por él. Pero ambas obras pueden romperse y ser causa de daños materiales y de muertes humanas.

Cumple por tanto, efectuar los análisis y tomar las medidas adecuadas para que esos daños y pérdidas de vida no se produzcan.

Ciñéndonos a las balsas, si fuera posible construirlas de forma que jamás pudieran romperse no existiría el problema. Conscientes de que esa situación no es humanamente alcanzable, procede no obstante esforzarse por acercarse a ella, al menos hasta un nivel en el que la probabilidad de fallo llegue a ser netamente inferior a la probabilidad individual de muerte natural.

Por otra parte, para concienciarse de las dimensiones de las consecuencias de un eventual fallo, procede analizar y evaluar los daños potenciales que la rotura acarrearía, materiales, económicos, y especialmente en vidas humanas.

Combinando ambos aspectos se tiene el riesgo potencial como producto del daño por la probabilidad que se produzca.

A modo de ejemplo, el riesgo potencial de vida asociado a que una persona baje sin máscara a una fosa séptica es prácticamente 1. El riesgo potencial de vida por la caída de un avión con 300 pasajeros, cuya probabilidad de accidente sea de 10^{-7} sería $300 \times 10^{-7} = 3 \times 10^{-5}$, 3 cienmilésimas.

De los dos factores de riesgo potencial, daño y probabilidad el que está por así decirlo en manos del propietario de la balsa es el de la probabilidad, pues cuenta para ello con los conocimientos técnicos para el proyecto y construcción de la obra y con los medios para su adecuado mantenimiento. A pesar de todo la obra puede fallar, por lo que interesa analizar cuáles serían sus consecuencias, y hacerlo con el suficiente detalle para que puedan adoptarse medidas eficaces que aminoren, e incluso anulen los daños, en especial de vidas humanas.

Consecuencias y medidas, se engloban en el léxico actual en los planes de emergencia que comentaremos posteriormente.

Primeramente trataremos el factor probabilidad pero desde su recíproco, como hacer las balsas más seguras y que sus eventuales fallos no sean ni por sorpresa, ni bruscos.

13.2. La mejora de la seguridad de las balsas

Un primer paso es diagnosticar cuales y de que modo pueden ser las causas de ruina en una balsa concreta para eliminarlas o contrarrestarlas. A título de ejemplo, si en un emplazamiento hay circulación de agua exterior bajo ella, existirá el riesgo de que se produzcan socavones que la destruyan. Si puede evitarse la circulación el riesgo desaparece. Si no se puede y el terreno no es soluble puede pensarse en un filtro que evite el arrastre. Si el terreno es soluble (yeso, por ejemplo) y no se puede evitar la circulación habrá que pensar en desistir pues se está abocado a un colapso brusco al cabo de ¿años?..., ¿meses?.

A lo largo de la *Guía*, se ha venido insistiendo en la conveniencia, diríamos mejor en la necesidad, de disponer de un segundo escalón de seguridad que actúe automáticamente, a modo de válvula de seguridad de una caldera, y además avise.

Insistimos en ello con ocasión del dren chimenea y lo comentamos a cuenta de la capa cohesiva de regularización bajo láminas.

No esta de más citar que en las presas de pantalla de hormigón se dispone bajo la pantalla, a modo de una segunda impermeabilización una capa de piedra machacada sin retirar los finos con un tamaño máximo de 40 mm. (pp. 1015-1018, *Development of Dam Engineering in the United States*, preparado con motivo del XVI Congreso Internacional de Grandes Presas de San Francisco, 1988, por el comité de Grandes Presas de los Estados Unidos).

Estas medidas y otras análogas que se han ido comentando a lo largo de la *Guía* reducen sustancialmente la probabilidad de colapso y en alguna ocasión han llevado a poner fuera de servicio alguna presa tras decenios de servicio.

¿Cómo determinar la probabilidad de colapso de una balsa concreta? No es este el lugar para intentarlo, pero sí para hacer una observación: en un proceso industrial, por ejemplo, de fabricación de cojinetes de bolas, se fabrican millones del mismo modo y con materiales de la misma procedencia y se producen algunos fallos lo que da pie a un tratamiento estadístico que pueda conducir a una probabilidad. En las balsas no se dan esas «poblaciones» suficientemente homogéneas y voluminosas.

13.3. Los planes de emergencia

La legislación vigente prescribe la implantación de unos Planes de Emergencia con los que se aminoren los daños en el caso del colapso de una presa o balsa e incluso llegar a evitarlos en lo concerniente a vidas humanas.

Estos planes derivan de los de Protección Civil frente a inundaciones. Las inundaciones son fenómenos prácticamente periódicos (5-8 años) cuyo origen atmosférico no depende

de nosotros y que no podemos dominar y cuyas consecuencias en el caudal de los ríos sólo podemos gobernar si hemos construido en ellos embalses y canalizaciones.

La inundación por colapso de una presa o balsa tiene unas características muy diferentes. En primer lugar, sí está en nuestra mano reducir hasta límites extraordinariamente bajos la probabilidad de que ocurra y por tanto el riesgo prestando la adecuada atención a la calidad y seguridad de las obras y su seguimiento como ya se ha indicado.

Por otra parte, la inundación por lluvia más que una probabilidad es una «seguridad», cada 5 a 8 años a menos que se ejecuten las obras pertinentes. Resulta por tanto indicado y así lo prevé la legislación que la población de la zona que va a ser afectada, esté adecuadamente instruida para colaborar con eficacia con las organizaciones competentes en su propia salvaguardia.

Se trata de un evento al que la persona tendrá que hacer frente 8 ó 10 veces a lo largo de su vida si permanece en la zona afectable. La inundación por colapso tiene una probabilidad bajísima que además puede y debe reducirse aún más sin necesidad de colaboración de la zona afectable.

Deben no obstante, como ya se ha indicado conocerse los daños que el colapso pudiera producir, especialmente en lo referente a vidas humanas y tener previstas por las organizaciones competentes las medidas adecuadas para ello. En lo que cabe apuntar una diferencia importante es en la difusión que se de a este conocimiento y en el modo de hacerlo, no sea que huyendo de morir ahogado, se muera, eso sí menos bruscamente, de sed.

Conviene no olvidar lo que ya en el año 2001, en la presentación de la *Guía técnica para la elaboración de los planes de emergencia de presas* escribía, el entonces Director General de Obras Hidráulicas y Calidad de las Aguas, D. José M^a Piñero Campos: «Por tanto transmitir un mensaje adecuado en la implantación de los Planes de Emergencia, para evitar malas interpretaciones y posibles alarmas no ajustadas a la realidad, es uno de los objetivos principales de todos los que participamos en este ambicioso proyecto de conseguir las mejores condiciones de seguridad para los ciudadanos potencialmente afectados».

En esto también hay diferencias entre presas y balsas. En España hay, en números redondos, unas 1.200 presas con lo que para una superficie de 501.422 km², resulta 418 km² por presa; las presas están «lejos».

En cambio, sólo en la provincia de Alicante, de 5816 km², hay 2666 balsas es decir una balsa cada 2 km², «las balsas están en la puerta de casa». Una presa está en general en un punto alejado de la población, solitario y en el que la única edificación existente es con frecuencia ella misma.

Se entiende así que se pida que en su plan de emergencia, se disponga de modo obligatorio para cada presa de una sala de emergencia (párrafo 6.6 de la *Guía técnica para la*

elaboración de planes de emergencia), cuyo cumplimiento para una balsa de 60.000 m³, convendría matizar.

Análogamente en el artículo 34.2 del reglamento se dice: «Las actuaciones previstas en el plan de emergencia se ensayarán periódicamente, mediante ejercicios de simulación, con el fin de que el equipo de explotación adquiriera los adecuados hábitos de comportamiento».

Esto para unas balsas que no tienen avenidas, que en su mayoría están junto a poblaciones y cuyo riesgo potencial es bajísimo; y puede y debe reducirse aún más sin necesidad de contar con la colaboración de los habitantes, puede entrar en contradicción con el deseo de no provocar alarmas no ajustadas a la realidad tan claramente expuesto por el Sr. Piñero.

Parece por tanto indicado, no ya que se adapte a las balsas la *Guía para presas*, sino que se redacte una Guía específica para balsas en que se tengan en cuenta sus características.

14. REHABILITACIÓN

14.1. Consideraciones generales

El desarrollo acelerado de las balsas de riego impermeabilizadas con láminas, las denominadas «Balsas de plástico», comienza a mediados de los años 60. Teniendo en cuenta que la duración media de las láminas utilizadas es de 10 a 15 años, resulta que muchas han tenido que ser reparadas para mantenerlas en servicio, aunque sea parcialmente, otras han sido abandonadas y que, la gran mayoría, están en la actualidad necesitadas de una rehabilitación o a punto de estarlo.

Por otra parte, de las 2.600 balsas censadas en la provincia de Alicante, en el censo hecho en 2003, sólo unas pocas han sido construidas más o menos acordes con la presente *Guía*, lo que no obsta para que las restantes que son la inmensa mayoría, deban ser también suficientemente seguras.

En la Tabla 14.1., tomada de la Tesis Doctoral de D. Francisco Zapata (2004), se aprecia que de 72 hm³ de capacidad total, 35,61 hm³, o sea el 49,44%, se encuentra en sólo las 156 balsas de capacidad mayor de 100.000 m³ y sólo 6,68 hm³, el 9,28 %, en las 1.506 balsas menores de 10.000 m³ que, en general, son las más antiguas.

Tabla 14.1

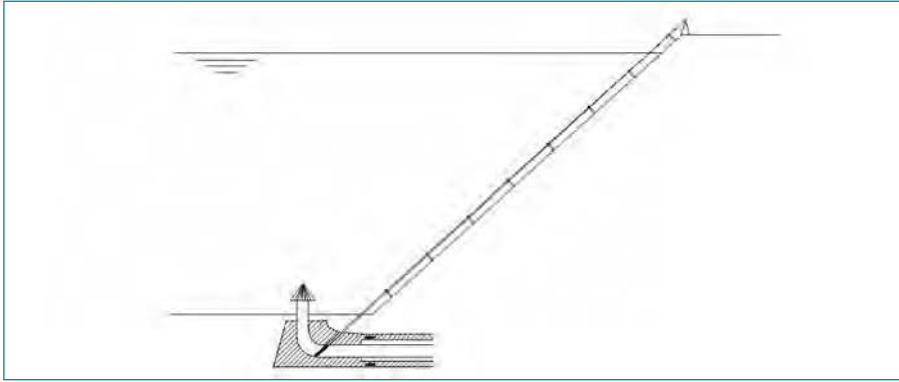
<i>Volumen</i>	<i>Número</i>	<i>% número</i>	<i>Volumen total (m³)</i>	<i>% volumen</i>	<i>Superficie lámina (m²)</i>
V<5.000	928	35,45	2.511.766	3,49	1.655.656
5.000<V<10.000	578	22,08	4.170.322	5,79	1.941.279
10.000<V<20.000	396	15,13	5.197.540	7,22	1.945.941
20.000<V<50.000	398	15,20	12.893.549	17,90	3.093.053
50.000<V<100.000	162	6,19	11.646.532	16,17	2.130.654
100.000<V<300.000	124	4,74	20.343.654	28,24	2.938.371
300.000<V<500.000	22	0,84	8.088.433	11,23	1.033.738
V>500.000	10	0,38	7.174.759	9,96	865.153
Total	2618	100,00	72.026.555	100,00	15.603.845

En los 40 años transcurridos desde el comienzo de la irrupción de las balsas de plástico, las Comunidades de Regantes han crecido en capacidad económico-financiera y técnica, las conducciones a presión, el riego localizado y la utilización de equipos a presión y de riego automatizado programado se han generalizado y siguen progresando con la Modernización del Regadío en ejecución.

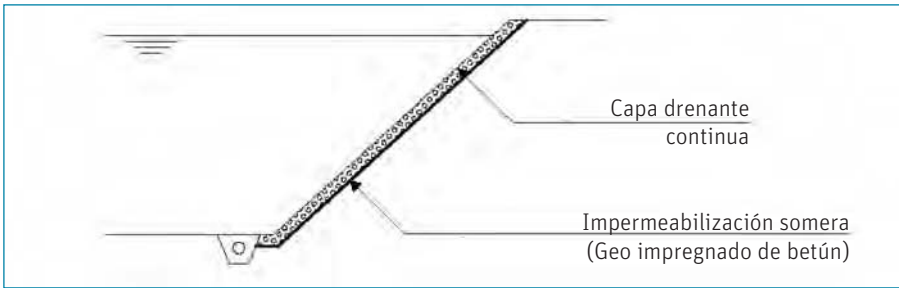
Ello hace pensar que quizá buena parte de las 1.506 balsas pequeñas mencionadas, puedan ser sustituidas por balsas mayores con una adecuada distribución.

Pero muchas de ellas tienen una función local específica de adaptación de la presión y el caudal para el riego localizado por lo que procede rehabilitarlas y en lo posible mejorarlas, especialmente en el aspecto de seguridad.

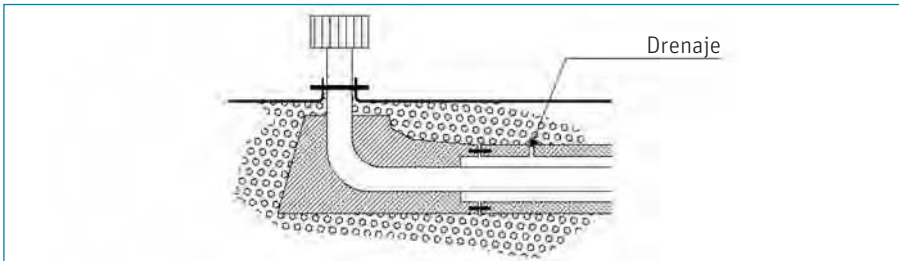
- ▶ En la mayoría de casos, en las que la vida de la geomembrana se ha llevado a su límite último, se ha observado, que el deterioro ocurrido en el paramento interior de los taludes, y concretamente en la capa de refino es tal, que los trabajos a realizar, consisten básicamente en la instalación de los geosintéticos, con todas las operaciones de forma similar a la ejecución de una balsa nueva, es decir:
 - Retirada de la lámina y transporte a vertedero autorizado
 - Rasanteo y refino del paramento de apoyo
 - Aportación de la capa de material fino cohesivo
 - Instalación de la nueva lámina
- ▶ En el caso que la lámina no se haya llevado al límite, y las investigaciones realizadas, indiquen que la base de apoyo de las geomembranas se encuentra en buenas condiciones, es decir no se ha producido un lavado del material fino de apoyo de la lámina a sustituir, y no existen oquedades ni pequeñas cárcavas en el paramento de apoyo, y además existe compatibilidad química entre la lámina antigua y la nueva, puede plantearse la instalación de la lámina vieja sobre la nueva. Conviene por otra parte, como se ha indicado, aprovechar la circunstancia para llevar a cabo en lo posible algunas mejoras especialmente en lo concerniente a la seguridad como serían:
 - Disponer las conducciones en presión dentro de otra u otras con holgura suficiente.
 - Disponer válvula de cabecera (Figura 14.1.).
 - Rehacer y en su caso mejorar el drenaje.
 - Disponer algún sucedáneo de dren chimenea (Figura 14.2.), proteger la vía preferente de las conducciones como se indica en el anexo 16.5.



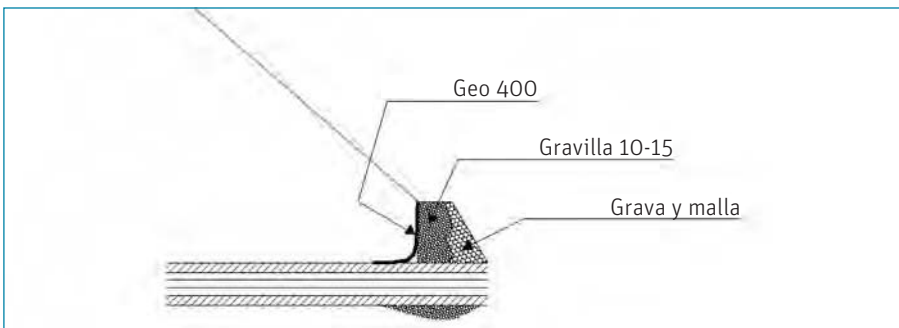
▲ *Figura 14.1.*



▲ *Figura 14.2.*



▲ *Figura 14.3.*



▲ *Figura 14.4.*

Decimos sucedáneo de dren chimenea porque no drena la base y además hay que disponer una aceptable impermeabilización auxiliar para que apenas pase agua al dique.

Si la instalación de la nueva conducción se lleva a cabo mediante la apertura de una trinchera, puede protegerse en toda su longitud siguiendo el anexo 16.5.

Si se realiza mediante «hinca» la superficie de contacto con el dique o con el terreno quedará más o menos suelta, según su contenido de piedras y habrá que recurrir a proteger con holgura los extremos como se indica en las Figuras 14.3. y 14.4.

15. PATOLOGÍAS

En la *Guía para la Explotación, Mantenimiento y Planes de Emergencia de las Balsas de Riego con vistas a la Seguridad*, se describen y analizan varios casos de accidentes e incidencias.

Se desprende de este análisis que los casos graves que conllevan a la ruina de la obra vienen asociados al caso de filtraciones a través del dique, que en el caso de las impermeabilizaciones superficiales (geomembranas y asfalto), se concentran en las vías preferentes a lo largo de las conducciones y galerías que atraviesan el dique.

Esto pone de relieve la importancia de la elección de la impermeabilización y de su enlace con las obras rígidas de modo que sea capaz de seguir los movimientos y asientos previsibles de los diques sin pérdida de estanqueidad.

Especial atención debe prestarse al caso de impermeabilización asfáltica por su mayor rigidez. Las disposiciones adecuadas sólo en pocas ocasiones están tomadas en las obras antiguas por lo que conviene contemplar su instalación aunque sea parcial, con ocasión de su rehabilitación.

ANEXOS

ANEXO N° 1

Tabla de propiedades mecánicas de los suelos compactados del Bureau of Reclamation

Grupo de clasificación del suelo	Compactación del Proctor		Relación de huecos, eo	Permeabilidad k, cm/seg	Resistencia al corte		
	Densidad máxima de material seco (t/m ³) 100% P.N.	Proporción óptima de agua (%)			C _o ' (t/m ²)	C _{sat} ' (t/m ²)	Ángulo
GWmax				3,87E-02			38,31
GWmed	1,91	< 13,3	(*)	2,61E-02	(*)	(*)	38,31
GWmin				1,35E-02			38,31
GPmax				9,47E-02			36,50
GPmed	1,76	< 12,4	(*)	6,19E-02	(*)	(*)	36,50
GPmin				2,90E-02			36,50
GM	1,83	< 14,5	(*)	> 2,90E07	(*)	(*)	33,82
GC	1,84	<14,7	(*)	> 2,90E-07	(*)	(*)	30,96
SWmax	1,99	15,8	0,37 + (*)		4,43		39,01
SWmed	1,91	13,3	0,37	(*)	4,01	(*)	38,31
SWmin	1,83	10,8	0,37 - (*)		3,59		37,60
SPmax	1,79	13,4	0,53		2,95		37,23
SPmed	1,76	12,4	0,5	> 1,45E-05	2,32	(*)	36,50
SPmin	1,73	11,4	0,47		1,69		35,75
SMmax	1,84	14,9	0,5	1,19E-05	5,84	2,74	34,61
SMmed	1,83	14,5	0,48	7,25E-06	5,20	2,04	33,82
SMmin	1,81	14,1	0,46	2,61E-06	4,57	1,34	33,02
SM-SCmax	1,92	13,3	0,43	1,35E-06	7,31	2,04	36,13
SM-SCmed	1,91	12,8	0,41	7,73E-07	5,13	1,48	33,42
SM-SCmin	1,89	12,3	0,39	1,93E-07	2,95	0,91	30,54
SCmax	1,86	15,1	0,49	4,83E-07	9,21	1,76	33,82
SCmed	1,84	14,7	0,48	2,90E-07	7,66	1,12	30,96
SCmin	1,83	14,3	0,47	9,67E-08	6,12	0,49	27,92
MLmax	1,67	19,9	0,65	7,93E-07	7,87	0,91 + (*)	33,42
MLmed	1,65	19,2	0,63	5,70E-07	6,82	0,91	31,80
MLmin	1,63	18,5	0,61	3,48E-07	5,76	0,91 - (*)	30,11
ML-CLmax	1,78	17,5	0,57	1,93E-07	8,16	2,25 + (*)	34,22
ML-CLmed	1,75	16,8	0,54	1,26E-07	6,47	2,25	31,80
ML-CLmin	1,71	16,1	0,51	5,80E-08	4,78	2,25 - (*)	29,25
CLmax	1,75	17,6	0,57	1,06E-07	9,91	1,55	30,11
CLmed	1,73	17,3	0,56	7,73E-08	8,86	1,34	28,37
CLmin	1,71	17	0,55	4,83E-08	7,80	1,12	26,57
OL	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)
MHmax	1,38	39,5	1,27	2,51E-07	10,40	2,95	27,47
MHmed	1,31	36,3	1,15	1,55E-07	7,38	2,04	25,17
MHmin	1,25	33,1	1,03	5,80E-08	4,36	1,12	22,78
CHmax	1,54	26,7	0,84	9,67E-08	13,92	1,73	23,75
CHmed	1,51	25,5	0,8	4,83E-08	10,48	1,12	19,29
CHmin	1,47	24,3	0,76	0,00E+00	7,03	0,52	14,57
OH	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)

(*) Datos insuficientes

Fuente: Bureau of Reclamations

ANEXO N° 2

Estimación de las escorrentías y caudales naturales que afecten o puedan afectar a la balsa

Se adjunta la metodología indicada en la instrucción 5.2-IC de la instrucción de carreteras drenaje superficial, punto núm. 2: Calculo de los caudales de referencia.

Cálculo de los caudales de referencia

2.1. Planteamiento general

El método de estimación de los caudales asociados a distintos períodos de retorno depende del tamaño y naturaleza de la cuenca aportante.

Para cuencas pequeñas son apropiados los métodos hidrometeorológicos contenidos en la presente Instrucción, basados en la aplicación de una intensidad media de precipitación a la superficie de la cuenca, a través de una estimación de su escorrentía. Ello equivale a admitir que la única componente de esta precipitación que interviene en la generación de caudales máximos es la que escurre superficialmente. En las cuencas grandes estos métodos pierden precisión y, por tanto, la estimación de los caudales es menos correcta; por otra parte, en estas cuencas suele disponerse de información directa sobre niveles o caudales de avenidas. La frontera entre cuencas grandes y pequeñas, a efectos de la presente Instrucción, corresponde aproximadamente a un tiempo de concentración (apartado 2.4.) igual a 6 horas.

La naturaleza de la cuenca aportante influye en los métodos hidrometeorológicos, según que el tiempo de recorrido del flujo difuso sobre el terreno sea relativamente apreciable (plataforma de la carretera y márgenes que a ella viertan) o no (cauces definidos). Especialmente en zona urbana, representa una singularidad la presencia de sumidores que desagüen a una red de canalizaciones y que absorban una parte de la escorrentía. También representan cosas especiales la presencia de lagos, embalses y planas inundables, que laminen o desvíen la escorrentía. Se podrán, asimismo, tener en cuenta aportaciones procedentes del deshielo de la nieve; salvo cosas excepcionales, su contribución no se considerará superior al 10 por 100.

El resultado de los métodos hidrometeorológico deberá, en lo posible, contrastarse con la información directa de que se disponga sobre niveles o caudales de avenida.

2.2. Fórmula de cálculo (método hidrometeorológico)

El caudal de referencia Q en el punto en el que desagüe una cuenca o superficie se obtendrá mediante la fórmula:

$$Q = \frac{C \cdot A \cdot I}{K}$$

Siendo:

C: el coeficiente medio de escorrentía de la cuenca o superficie drenada (apartado 2.5).

A: su área, salvo que tenga aportaciones o pérdidas importantes, tales como resurgencias o sumidores, en cuyo caso el cálculo del caudal Q deberá justificarse debidamente.

I: la intensidad media de precipitación correspondiente al período de retorno considerado y a un intervalo igual al tiempo de concentración (apartado 2.3.).

K: un coeficiente que depende de las unidades en que se expresen q y A, y que incluye un aumento del 20% en Q para tener en cuenta el efecto de las puntas de precipitación. Su valor está dado por la tabla 2.1.

117

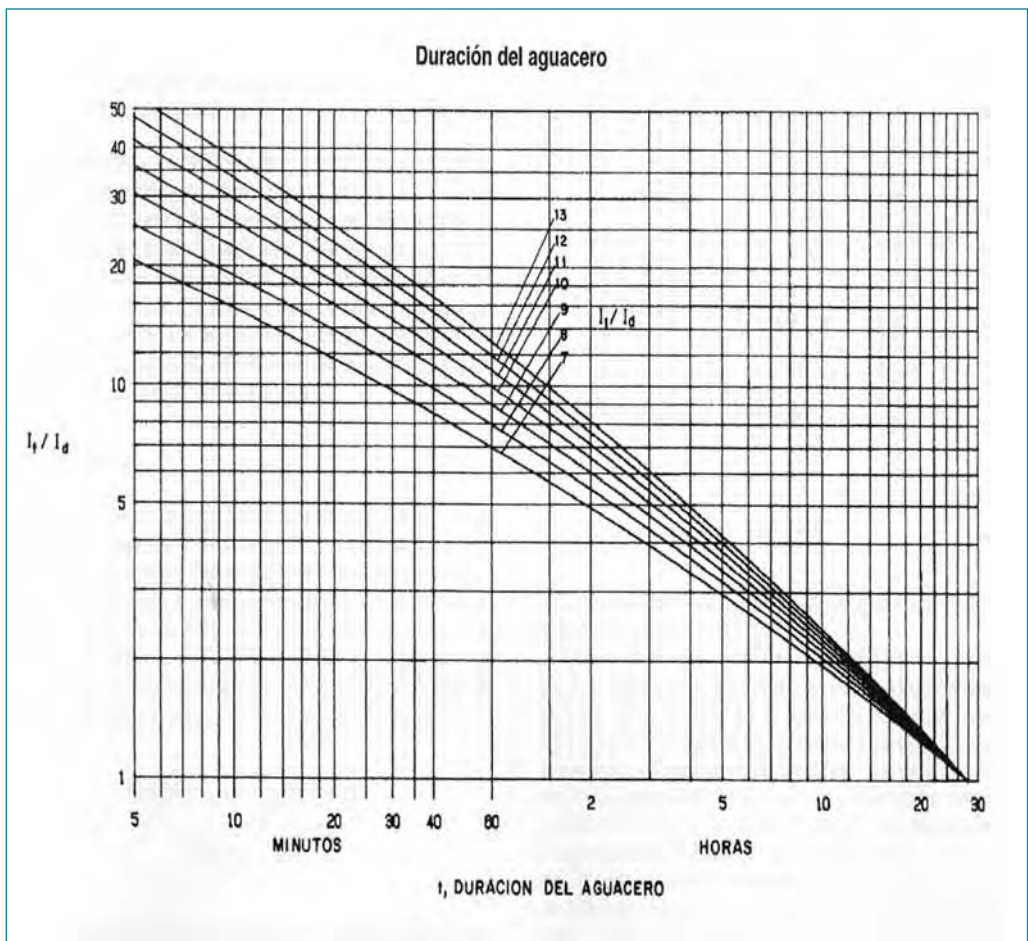
Tabla 2.1. Valores de K

Q en	A en		
	km ²	Ha	m ²
m ³ /s	3	300	3.000.000
l/s	0,003	0,3	3.000

2.3. Intensidad media de precipitación

La intensidad media I_t (m/h) de precipitación a emplear en la estimación de caudales de referencia por métodos hidrometeorológicos se podrá obtener por medio de la siguiente fórmula, representada en la figura 2.1:

$$\frac{I_t}{I_d} = \left(\frac{I_1}{I_d} \right)^{\frac{28^{0.1} \cdot t^{0.1}}{28^{0.1} - 1}}$$



▲ Figura 2.1.

Siendo:

Id (mm/h): la intensidad media diaria de precipitación, correspondiente al período de retorno considerado. Es igual a $P_d / 24$.

Pd (mm): la precipitación total diaria correspondiente a dicho período de retorno, que podrá tomarse de los mapas contenidos en la publicación *Isolíneas de precipitaciones máximas previsibles en un día*, de la Dirección General de Carreteras, o a partir de otros datos sobre lluvias, los cuales deberán proceder perfectamente del Instituto Nacional de Meteorología.

I_1 (mm/h): la intensidad horaria de precipitación correspondiente a dicho período de retorno. El valor de la razón I_1/Id se podrá tomar de la Figura 2.2.

t (h): la duración del intervalo al que se refiere I_1 , que se tomará igual al tiempo de concentración (apartado 2.4.).



▲ Figura 2.2.

2.4. Tiempo de concentración

En el caso de cuencas en las predomine el tiempo de recorrido del flujo canalizado por una red de cauces definidas, el tiempo de contracción T (h) relacionado con la intensidad media de la precipitación se podrá deducir de la fórmula:

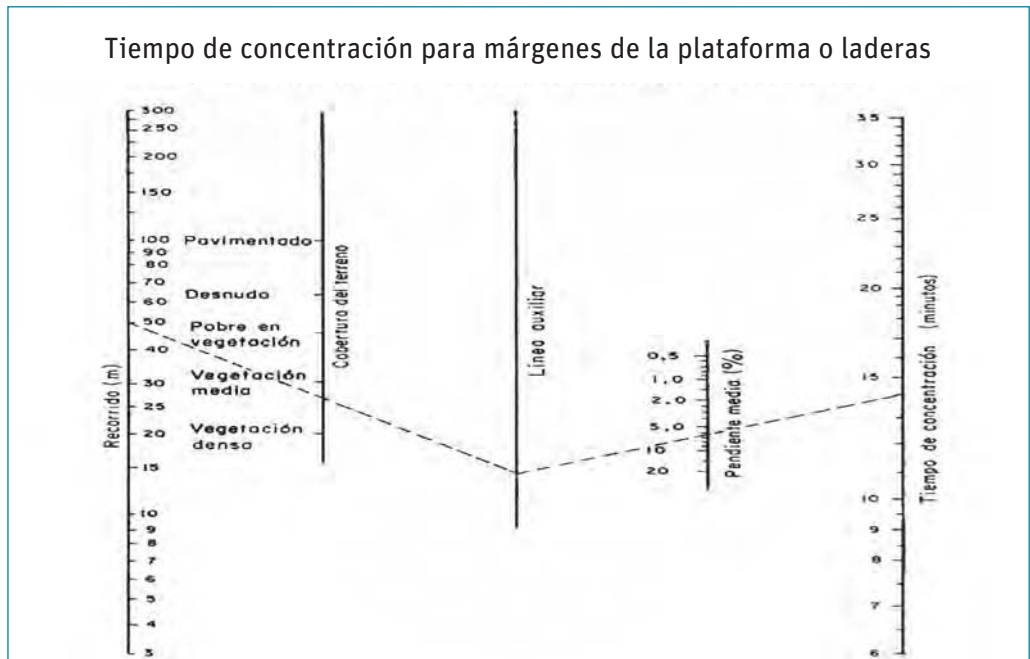
$$T = 0,3 \cdot \left(\left(L / J^{\left(\frac{1}{4} \right)} \right)^{0,76} \right)$$

Siendo:

L (km.): la longitud del cauce principal.

J (m/m): su pendiente media.

Si el tiempo de recorrido en flujo difuso sobre el terreno fuera relativamente apreciable, como es el caso de la plataforma de la carretera y de los márgenes que a ella vierten, la fórmula anterior no resulta aplicable. Si el recorrido del agua sobre la superficie fuera menor de 30 m, se podrá considerar que el tiempo de concentración es de 5 minutos. Este valor se podrá aumentar de 5 a 10 minutos al aumentar el recorrido del agua por la plataforma de 30 a 150 m; para márgenes se podrá hacer uso del ábaco de la figura 2.3.

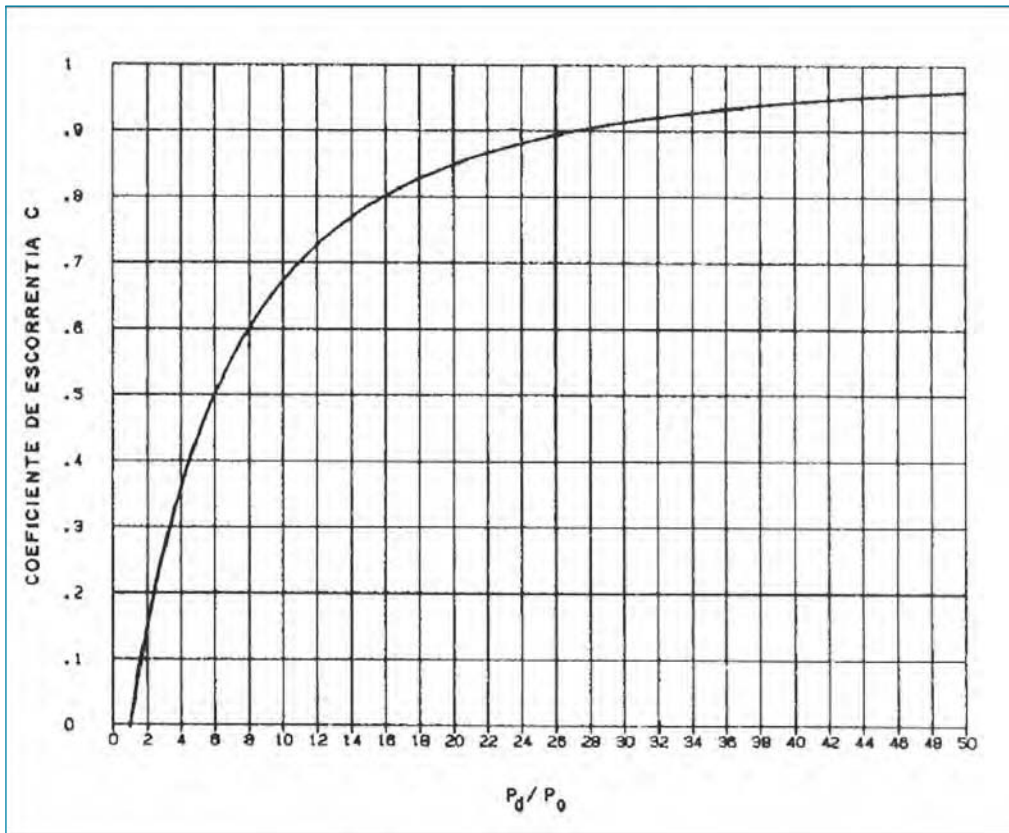


▲ Figura 2.3.

2.5. Escorrentía

El coeficiente C de escorrentía define la proporción de la componente superficial de la precipitación de intensidad I , y depende de la razón entre la precipitación diaria P_d correspondiente al período de retorno (apartado 1.3.) y el umbral de escorrentía P_o a partir del cual se inicia ésta.

Si la razón P_d/P_o fuera interior a la unidad, el coeficiente C de escorrentía podrá considerarse nulo. En caso contrario, el valor de C podrá obtenerse de la fórmula (representada en la Figura 2.4.).



▲ Figura 2.4.

$$C = \frac{\left[\left(\frac{P_d}{P_o} \right) - 1 \right] \cdot \left[\left(\frac{P_d}{P_o} \right) + 23 \right]}{\left[\left(\frac{P_d}{P_o} \right) + 11 \right]^2}$$

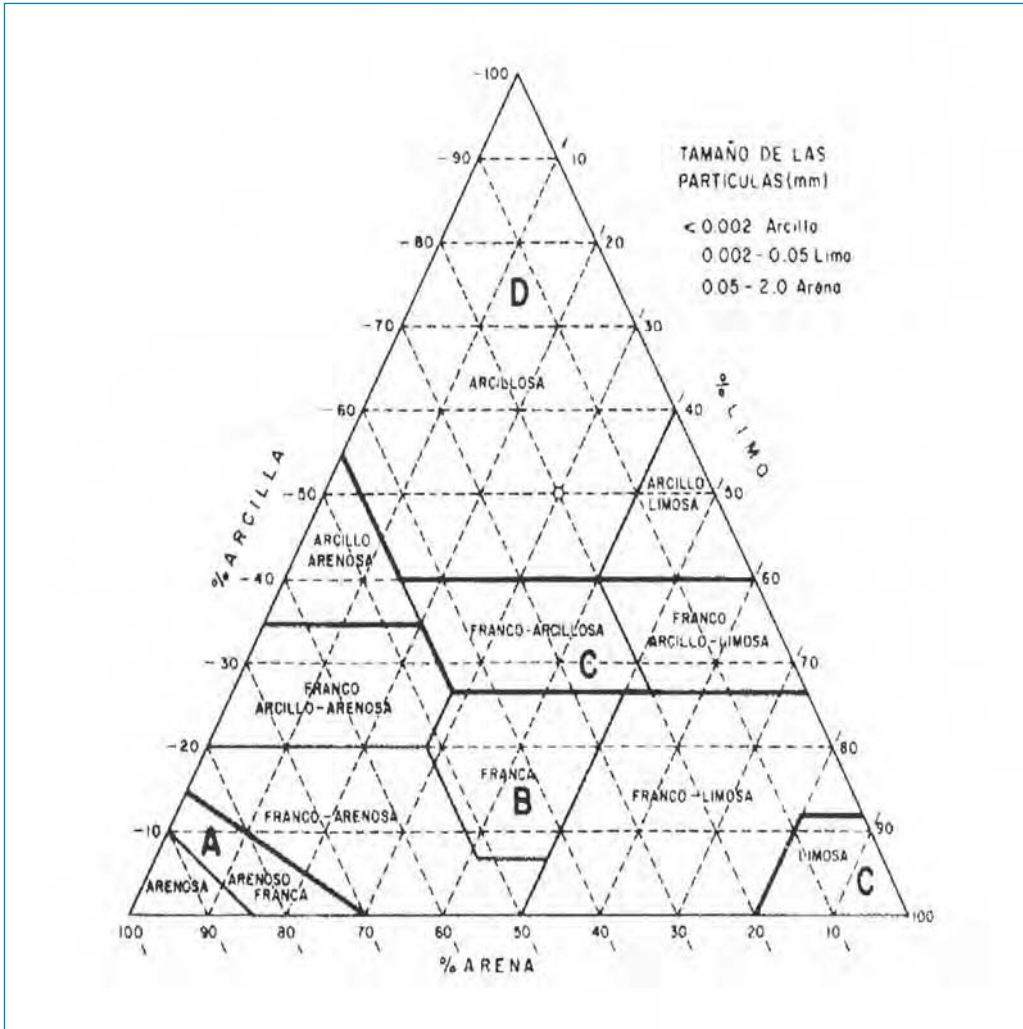
Las cuencas heterogéneas deberán dividirse en áreas parciales cuyos coeficientes de escorrentía se calcularán por separado, reemplazando luego el término C*A de la fórmula de cálculo (apartado 2.2) $\Sigma (C*A)$.

El umbral de escorrentía P_o se podrá obtener de la Tabla 2.1, multiplicando los valores en ella contenidos por el coeficiente corrector dado por la Figura 2.5.



▲ Figura 2.5.

Este coeficiente refleja la variación regional de la humedad habitual en el suelo al comienzo de aguaceros significativos, e incluye una mayoración (del orden del 100%) para evitar sobrevaloraciones del caudal de referencia a causa de ciertas simplificaciones del tratamiento estadístico del método hidrometeorológico, el cual ha sido contrastado en distintos ambientes de la geografía española. Para el uso de la tabla 2.1 los suelos se clasificarán en los grupos de la Tabla 2.2, en cuya función interviene la textura definida por la Figura 2.6.



▲ Figura 2.6.

Los núcleos urbanos, edificaciones rurales, caminos, etc., no se tendrán en cuenta donde representen una proporción despreciable del área total. En su caso, deberán diferenciarse las proporciones de los distintos tipos de suelo, atribuyendo a cada una el valor correspondiente de P_o . Deberán tenerse en cuenta las modificaciones futuras previsibles en la cuenca, tales como urbanizaciones, repoblaciones, cambios de cultivos, supresión de barbechos, etc.

Si no se requiere gran precisión, podrá tomarse simplícidamente un valor conservador de P_o (sin tener que multiplicarlo luego por el coeficiente de la Figura 2.5. igual a 20 mm, salvo en cuencas con rocas o suelos arcillosos muy someros, en las que se podrá tomar igual a 10 mm. Especial interés práctico tiene la estimación indirecta de P_o basada en información sobre crecidas ordinarias; en relación con este método, conviene tener en cuenta que:

– Se puede determinar el orden de magnitud de los caudales en función de los niveles del agua en el cauce al paso de avenidas habitual, conocidos, en general, por los ribereños al menos de forma aproximada. Datos de esta naturaleza muy característicos son, en algunos casos, el número de años en los que permanece seco el curso de agua, o bien la frecuencia con la que producen desbordamientos del cauce principal.

– Los resultados del cálculo de caudales de avenidas habituales —o de pequeño período de retorno— son muy sensibles a las variaciones de P_o , y por ello es suficiente una información aproximada de dichas avenidas para determinar satisfactoriamente P_o .

Tabla 2.1.

<i>Estimación inicial del umbral de escorrentía P_o (mm)</i>						
<i>Uso de la tierra</i>	<i>Pendiente (%)</i>	<i>Características hidrológicas</i>	<i>Grupo de suelo</i>			
			A	B	C	D
Barbecho	> 3	R	15	8	6	4
		N	17	11	8	6
	< 3	R /N	28	14	11	8
Cultivos en hilera	> 3	R	23	13	8	6
		N	25	16	11	8
	< 3	R /N	28	19	14	11

.../...

Uso de la tierra	Pendiente (%)	Características hidrológicas	Grupo de suelo			
			A	B	C	D
Cereales de invierno	> 3	R	29	17	10	8
		N	32	19	12	10
	< 3	R /N	34	21	14	12
Rotación de cultivos pobres	> 3	R	26	15	9	6
		N	28	17	11	8
	< 3	R /N	30	19	13	8
Rotación de cultivos densos	> 3	R	37	20	12	9
		N	42	23	14	11
	< 3	R /N	47	25	16	13
Praderas	> 3	Pobre	24	14	8	6
		Media	53	23	14	9
		Buena	*	33	18	13
		Muy buena	*	41	22	15
	< 3	Pobre	58	25	12	7
		Media	*	35	17	10
		Buena	*	*	22	14
		Muy buena	*	*	25	16
Plantaciones generales aprovechamiento forestal	> 3	Pobre	62	26	15	10
		Media	*	34	19	14
		Buena	*	42	22	15
	< 3	Pobre	*	34	19	14
		Media	*	42	22	15
		Buena	*	50	25	16

.../...

Uso de la tierra	Pendiente (%)	Características hidrológicas	Grupo de suelo			
			A	B	C	D
Masas forestales (bosques, monte bajo, etc)		Muy clara	40	17	8	5
		Clara	60	24	14	10
		Media	*	34	22	16
		Espesa	*	47	31	23
		Muy espesa	*	65	43	33

Notas a la tabla 2.1:

N: Denota cultivo según las curvas de nivel.

R: Denota cultivo según la línea de máxima pendiente.

*: Denota a que esa parte de cuenca debe considerarse inexistente a efectos de cálculo de caudales de avenida.

Las zonas abancaladas se incluirán entre las de pendiente menor del 3 %.

Tipo de terreno	Pendiente (%)	Umbral de escorrentía (mm)
Rocas permeables	> 3	3
	< 3	5
Rocas Impermeables	> 3	2
	< 3	4
Firmes granulares sin pavimento		2
Adoquinados		1,5
Pavimentos bituminosos o de hormigón		1

Tabla 2.2.

<i>Clasificación de suelos a efectos del umbral de escorrenfía</i>				
<i>Grupo</i>	<i>Infiltración (cuando están muy húmedos)</i>	<i>Potencia</i>	<i>Textura</i>	<i>Drenaje</i>
A	Rápido	Grande	Arenosa Areno-limosa	Perfecto
B	Moderada	Media a grande	Franco – arenosa Franca Franco-arcillosa-are- nosa Franco-limosa	Bueno a moderado
C	Lenta	Media a pequeña	Franco-arcillosa Franco-arcillo-limosa Arcillo-arenosa	Imperfecto
D	Muy lenta	Pequeño (Litosuelo) u hori- zontes de arcilla	Arcillosa	Pobre o muy pobre

Nota: Los terrenos con nivel freático alto se incluirán en el grupo D.

ANEXO Nº 3

Detalle cualitativo y cuantitativo del estudio geotécnico

3.1. Consideraciones generales

En el apartado 3.3. del Capítulo 3, Estudios Previos, se ha puesto de relieve que los objetivos básicos que se pretende lograr con ellos son «el comportamiento esperable del terreno de cimentación y las características de los materiales que se vayan a utilizar en la construcción de los diques».

Se hacía a continuación una serie de consideraciones incluso con algún ejemplo, para poner de manifiesto la importancia de conocer determinadas características del cemento y de los materiales y según el tipo de balsa y de su impermeabilización. El objeto de este Anexo es descender suficientemente al detalle para orientar, dentro de los casi innumerables ensayos disponibles en la Mecánica de Suelos y en la de Rocas, cuáles escoger para tener del modo más sencillo (se trata de balsas no de presas con más de 10^6 m³ de materiales) conocimiento suficiente y eficaz para proyectar, construir y explotar una obra segura. Ya se ha resaltado anteriormente la estrecha dependencia entre el tipo de impermeabilización previsto y la deformabilidad a corto y largo plazo de los terrenos y diques en los que se apoye.

Por ello nos ha parecido más práctico analizar los estudios y ensayos particularizándolos para cada tipo de impermeabilización, aún a riesgo de incurrir en algunas repeticiones.

Otro aspecto muy importante es cómo llevar a cabo de un modo sencillo y eficaz el control de los resultados obtenidos en la construcción para garantizar que sean adecuados para la impermeabilización elegida.

Trataremos por tanto sucesivamente las:

- Balsas impermeabilizadas con materiales arcillosos.
- Balsas impermeabilizadas con láminas.
- Balsas impermeabilizadas con asfalto.
- Balsas impermeabilizadas con hormigón.

Una actuación común a todas es identificar primariamente y reflejar en los correspondientes cortes estratigráficos los terrenos presentes en el área (acarreos, calizas, margas, granitos, etc.) tanto para tener en cuenta su probable comportamiento ulterior, como su utilización como material de construcción e incluso la eventual eliminación de alguno, que aunque en reducido volumen porcentual pudiera resultar marcadamente perjudicial.

3.2. Balsas impermeabilizadas con materiales arcillosos

Los materiales presentes en estas balsas son:

- ▶ El material arcilloso.
- ▶ Los materiales presentes en el vaso y en el cimientado.
- ▶ Los materiales a utilizar en los filtros y drenes.
- ▶ Los materiales a utilizar en los diques.

3.2.1. El material arcilloso

Interesa conocer de él:

- ▶ Curva granulométrica completa (sedimentación para $< n^{\circ} 200$)
- ▶ Dispersibilidad.
- ▶ Hinchamiento.
- ▶ Densidad Proctor normal o California.
- ▶ Densidad Proctor Modificado.
- ▶ Ensayo triaxial sin drenaje y con medida de la presión.
- ▶ Límites de Atterberg.
- ▶ Permeabilidad.

La curva granulométrica completa nos pone de manifiesto si tiene una proporción muy elevada que pasa por el tamiz 200 y su granulometría, lo que es de gran interés para los filtros que se dispongan. Por ejemplo, si la proporción de material muy fino es muy alta ($>15\%$ menor de 10 micras) y se va a utilizar como filtro un geotextil, convendrá disponer entre el material arcilloso y él una capa de arena con $0,1 < D_{15} < 0,3$ m.m.

Es preferible prescindir de los materiales dispersivos aunque si no se puede evitar se han de confinar entre filtros adecuados. Es preferible prescindir de los materiales que presenten hinchamiento pues pueden dar lugar a la destrucción progresiva de la impermeabilización. Si la presión de hinchamiento es reducida ($< 0,5$ kg/cm²) puede contrarrestarse lastrando pero eso con las dimensiones de las balsas resulta irreal. La densidad Proctor nos sirve para dos cosas: obtener una densidad estable adecuada y comprobar que se obtiene durante la construcción. Con impermeabilización arcillosa es preferible la densidad Proctor normal o su equivalente California porque además de estar sobradamente contrastada en presas da una deformación en rotura tres veces mayor que el Proctor modificado lo que proporciona una mayor adaptabilidad y reduce el riesgo de fisuración.

El ensayo triaxial es más fiable y da más información que el de corte directo. Los límites de Atterberg tienen especial interés para el proceso constructivo. El índice de plasticidad conviene que esté comprendido entre 12 y 20 lo que suele corresponder a un limo-arcilla muy trabajable.

La permeabilidad es casi siempre holgadamente baja ($K < 10^{-6}$ cm/s sobra) pero tiene interés para la construcción pues si el material es muy impermeable ($< 10^{-10}$ cm/s) puede dar problemas serios de compactación y de presión intersticial o inducir a compactar demasiado seco con lo que los problemas pueden aparecer al saturarse. Por ejemplo, para poder construir la presa de Selset (UK de 38 m de altura, taludes medios 4H/1V) fue necesario disponer en ella ocho capas drenantes horizontales

Otros datos que interesa conocer es el contenido de sales solubles por el comportamiento a medio y largo plazos especialmente de

- % yeso
- % carbonatos

El contenido de yeso debe ser inferior al 3% y mejor inferior al 1%. Con el de carbonatos y debido a ensayos mantenidos durante años se ha llegado a ser más tolerante: conviene no pasar de un 35%. Esto tiene especial interés pues con alguna frecuencia se ha obtenido material impermeable a partir de margas duras mediante humectación. De todos modos conviene tener presente que este material resulta más rígido que un Limo – arcilla.

3.2.2. El material para espaldones

Puede ocurrir que el material excavado para crear vaso sea el previsto para la impermeabilización. En ese caso es válido lo dicho anteriormente pues se trata del mismo material que se emplearía ahora para construir un dique homogéneo, salvo los drenes y filtros que se dispongan en él, en particular el dren chimenea. Puede en cambio ocurrir que el material de impermeabilización se traiga de otro sitio y el de excavación no sea ni impermeable ni homogéneo pero es con el que se van a construir los espaldones de apoyo de la impermeabilización. Estos espaldones deben ser estables y en principio poco deformables para que la impermeabilización pueda seguirlos sin que se produzcan grietas. No cabe hablar para ellos de ensayo semejante a los arcillosos sino de estimaciones a partir de su composición y clasificación para lo que son muy útiles las Tablas del Bureau mencionadas en 3.4. y que se incluyen como Anexo 1.

Para determinar su procedimiento de compactación lo más práctico es hacer un terraplén de ensayo o utilizar para ello las primeras tongadas del definitivo. Un aspecto especialmente importante es su sensibilidad al arrastre por el agua pues puede conducir a disposiciones específicas de protección.

3.3. Balsas impermeabilizadas con láminas

Las láminas tienen una gran deformabilidad lo que les permite adaptarse sin romperse a deformaciones importantes netamente visibles a simple vista.

La construcción de los espaldones con los materiales de la excavación es el procedimiento habitualmente empleado.

Los materiales más finos y cohesivos se utilizan para preparar una capa de apoyo del geotextil y la lámina que cumple dos funciones: evitar el punzonamiento y disponer una segunda línea impermeable, o muy poco permeable que en el caso de rotura de lámina reduzca sustancialmente los caudales filtrados y coopere así a evitar arrastres de material de los espaldones y en su caso del terreno.

3.4. Balsas impermeabilizadas con asfalto

Ya se ha insistido anteriormente en la sensibilidad de la impermeabilización asfáltica a los asientos diferenciales. Estos asientos pueden producirse en los diques y para evitarlo o aminorarlo debe procurarse que no haya diferencias acusadas y concentradas en sentido longitudinal entre los materiales.

Pero estos asientos también pueden tener su origen en el terreno si existen en el capas de diferente compresibilidad y espesor. Una indicación más de lo que en este sentido cabe esperar puede obtenerse de ensayos SPT en los sondeos adecuadamente distribuidos en profundidad. También puede ser indicativo realizar algunos en los espaldones en curso de construcción.

3.5. Balsas impermeabilizadas con hormigón

La rigidez del revestimiento con hormigón lo hace poco apto para apoyarlo sobre los espaldones ejecutados con lo que haya o sobre taludes con deformabilidad heterogénea.

Si las condiciones son favorables, como por ejemplo una excavación en pizarra, granito, o caliza y espaldones contruidos con estos materiales bien compactados puede ser una solución adecuada por su durabilidad.

Las filtraciones por las juntas resultarían poco agresivas para los pedraplenes y sus cimientos y eventualmente podrían sellarse con láminas plásticas.

ANEXO Nº 4

Compactación de los diques

4.1. Consideraciones generales

Para construcciones de los diques de las balsas se dispone de varios tipos de materiales que pueden agruparse en:

1. Materiales arcillosos y limo-arcillosos
2. Materiales incoherentes de graveras más o menos arenosas
3. Materiales de «terrazas»
4. Pedraplenes y escolleras
5. Materiales procedentes de la excavación para crear vaso

4.1.1. Materiales arcillosos y limo-arcillosos

Los materiales arcillosos y limo-arcillosos pueden provenir de la excavación para crear vasos, caso poco frecuente, o de préstamos para llevar a cabo la impermeabilización con ellos.

La compactación y su control se lleva a cabo como en las presas mediante un compactador vibrante de pata de cabra o liso, según los casos, y control estándar de densidad y humedad.

Si se trata de impermeabilización arcillosa interesa una densidad Proctor normal 95 – 103 que permite una deformación apreciable sin figuración.

Puede ocurrir que el material disponible, sobre todo si es el de crear vaso, sea algo irregular y poco fiable como impermeabilización por lo que sólo se considera como apoyo de otra impermeabilización.

En ese caso interesa un Proctor modificado 95 – 103 que presenta una deformación en rotura de menos de la tercera parte que el normal. Los materiales 2 al 5 se compactan igualmente mediante un compactador vibrante de 10 -12 t estáticas de pata de cabra o liso, según los casos, pero su control no puede hacerse mediante Proctor que no tiene sentido en su caso.

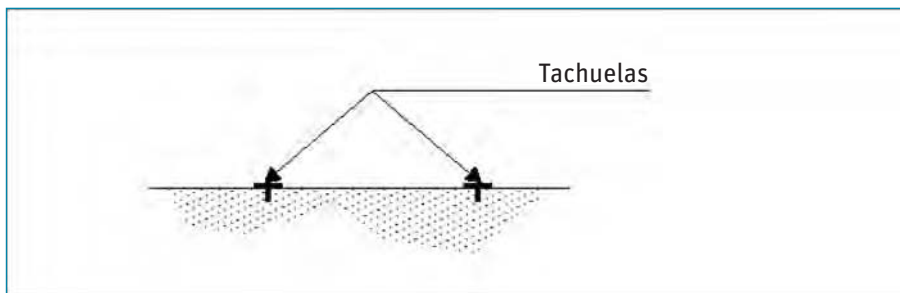
4.1.2. Materiales incoherentes de graveras más o menos arenosas

La proporción de arena es importante para sus propiedades mecánicas. Si supera el 30% que poco más o menos es el índice de huecos de una grava o de un balasto en

realidad se trata de una arena con grava inmersa en ella. La compactación se lleva a cabo con compactador vibrante liso de 10-12 t estáticas.

Puede hacerse en seco pero en general es preferible hacerla con algo de riego que lubrifique y que facilite el relleno de los huecos por la arena lo que por una parte da mayor densidad y lo que es más importante reduce eventuales asientos ulteriores por saturación.

El control más sencillo es correlacionar el asiento con el número de pasadas; generalmente con 3 pasadas suele ser suficiente. Para ello se disponen unas «tachuelas» metálicas de 10 o 12 cm de diámetro (Figura 4.1.) que se nivelan después de cada pasada hasta que el asiento diferencial sea inferior por ejemplo a 2 mm.



▲ *Figura 4.1.*

Las tongadas no conviene que sean mayores de 30 cm una vez compactadas por razones de homogeneidad vertical.

Para tener una idea de la compacidad relativa alcanzada conviene hacer cuando haya algún cambio significativo en el material, el ensayo que se describe en el Apéndice que en realidad es análogo al que se hace con los suelos (ensayo de arena), pero adaptado a la granulometría del material.

4.1.3. Materiales de terrazas

Los materiales de terrazas cuaternarias suelen ser bastante cerrados con densidad elevada y contenido significativo de «finos» que los hacen anárquicamente impermeables. La compactación y el control es como en los anteriores pero su impermeabilidad puede dar lugar a dificultades en la compactación por la formación de charcos y de zonas locales saturadas si no se tiene cuidado con el riego.

Si la dificultad se generaliza se puede intentar disponer capas drenantes con el material menos cerrado y si no resulta viable compactar en seco con algo más de energía y controlada la densidad relativa que generalmente es alta.

4.1.4. Pedraplenes y escolleras

Convencionalmente hablaremos de escolleras cuando el D50 sea mayor de 40 cm y de pedraplenes con $D_{50} < 10$ cm. Las dimensiones usuales de las balsas desaconsejan las escolleras salvo para protección de taludes ya que su manejo exige maquinaria desproporcionada para que los asientos post-construcción sean moderados y zona de transición más finas para el adecuado apoyo de las impermeabilizaciones.

La compactación y control como en los anteriores. Y los diques obtenidos tienen asientos pequeños y uniformes, para lo que interesa que tengan los suficientes tamaños pequeños a fin de que el índice de huecos sea reducido.

4.1.5. Materiales procedentes de la excavación para crear vaso

Por la propia naturaleza de las balsas esta es la situación habitual salvo en el caso descrito en el apartado 1, el tratamiento es cualitativamente el mismo que en los apartados 2-4, aunque prestando especial atención a que no se produzcan ulteriormente asientos diferenciales significativos ni capas o zonas de baja resistencia al corte por acumulación de materiales arcillosos.

Esto puede conducir a desechar alguna parte y a homogeneizar el conjunto mediante una mezcla sencilla en obra o a colocar los materiales de menor tamaño junto al talud a impermeabilizar.

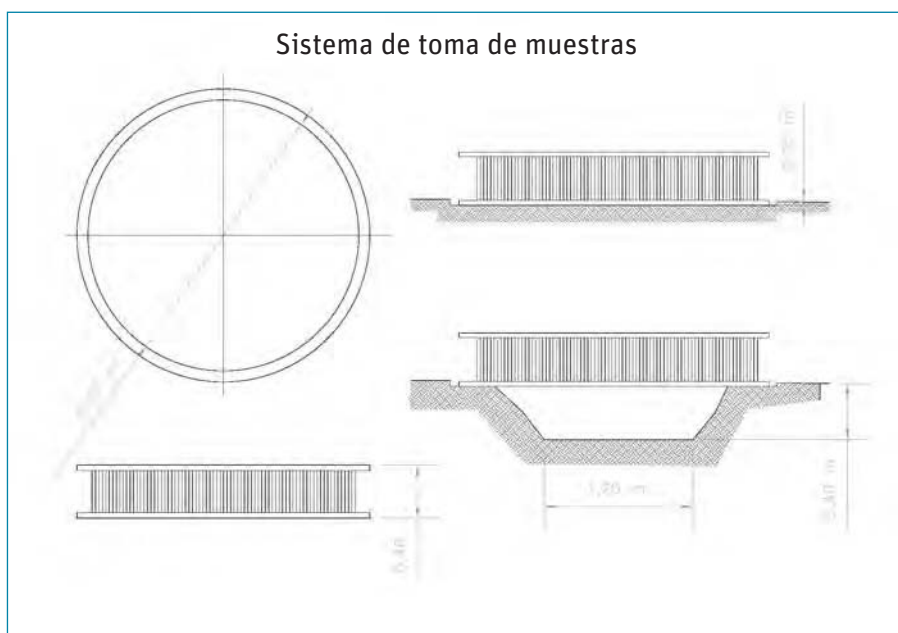
4. 2. Apéndice. Forma de realizar los ensayos de compactación de un suelo constituido por grava

Para la determinación de las densidades in situ de una gravera, el procedimiento empleado en la presa de Oroville (California) por The Resources Agency of California (Departament of Water Resources), fue el siguiente:

1. Se efectúa una excavación de limpieza de 5 cm aproximadamente, con objeto de retirar el material suelto.
2. Se coloca un anillo metálico de 2 m de diámetro por 40 cm de altura y nivelación del mismo (ver figuras).
3. En el interior del anillo se coloca una membrana de plástico que se adapte perfectamente a la superficie interior del anillo y al fondo de la gravera.
4. Se vierten 400 litros de agua en su interior
5. Tomando como referencia 4 puntos marcado previamente en el interior del anillo, se mide la altura alcanzada por el agua en el interior.
6. Se saca el agua y la membrana de plástico.

7. Sin mover el anillo se excava en su interior un hueco de 1,20 m de diámetro y 0,40 m de profundidad, aproximadamente, vertiéndose el producto de esta excavación en sacos que se pesa cuidadosamente en balanza en el mismo campo (se descuenta el peso de los sacos). Al mismo tiempo se han tomado 4 muestras a distintas alturas del hueco, que se meten en saquitos de plástico para evitar pérdidas de humedad. Estas muestras se han pesado igualmente a las anteriores para conocer el peso total de la tierra excavada.
8. Con las muestras de los saquitos de plástico, debidamente numerados se determina la humedad de cada uno de ellos y la humedad media que servirá para hallar la densidad de la prueba de que se trate.
9. Se vuelve a colocar la membrana sobre el anillo y se vuelve a llenar de agua hasta que esta alcance el nivel que tenía antes de efectuar la excavación.
10. Se mide cuidadosamente esta agua, que se saca con una bomba de mano y los últimos litros con ayuda de un cubo de plástico.
11. El volumen de agua medida menos los 400 litros vertidos en la operación 3ª, nos da el volumen del hueco excavado (V).

De esta forma se puede medir todos los parámetros necesarios para obtener la densidad in situ. Se acompañan figuras en las que se ven los anillos para tomar muestras.



▲ Figura 4.2.

ANEXO Nº 5

Paso de conductos a través de los diques y del terreno

5.1. Consideraciones generales

Los conductos que atraviesan una balsa, o el terreno circundante pueden ser aliviaderos, tomas de agua, desagües o galerías de acceso. El tema está tratado con detenimiento en la Q 41, del XI Congreso Internacional de Grandes Presas de Madrid (1973), referido naturalmente a presas. Al transferir sus observaciones y conclusiones a las balsas tendremos en cuenta muy especialmente la heterogeneidad y la erosionabilidad de los espaldones y del terreno.

De los conductos de aliviadero tenemos un ejemplo pionero en la presa de Iril-Emda (Figuras 5.1. y 5.2.) construida en Argelia en 1954. La presa de 64 metros de altura es de pantalla asfáltica sobre pedraplén compactado con rodillo vibratorio.

El aliviadero lo constituyen tres galerías de hormigón armado soportadas por una estructura que junto a ellas queda embebida en el cuerpo de la presa. La capacidad máxima conjunta es de 3.500 m³/s. El motivo de disponer el aliviadero en esa forma y no sobre la ladera fue que ninguna de las márgenes se prestaba a las instalaciones de un aliviadero, y que una disposición subterránea pareció igualmente aleatoria. La Comisión de Concurso estimo que el cauce constituía la cimentación más estable para la obra del aliviadero.

Años después y por motivos análogos se dispuso en galería el aliviadero de Djatiluhur (Figura 5.3.) para 2.000 m³/s, el de Sainte Cécile d'Andorge (Figura 5.4.), ésta para laminación de avenidas con una capacidad de 1000 m³/s y el de Sibimohamed Ben Aouda (Figuras 5.5. y 5.6.) para 2500 m³/s.

No es de esperar que en las balsas se presenten aliviaderos de estas capacidades pero sí en las que se construyan en pequeños cauces, si el torrente se hace pasar en galería bajo la balsa y por ello hemos traído estos ejemplos a colación. Tal es el caso de la balsa La Mericana (Figura 5.7.) en Jarandilla, Toledo, en que se adoptó esta solución por motivos análogos a los de Iril-Emba, sumados a poder duplicar su capacidad. Pero el caso más frecuente es el de poder disponer conductos y galerías para desagües de fondo, tomas de agua y accesos a mecanismos.

5.2. Problemática específica

La problemática específica de los conductos a través de los diques y del terreno circundante deriva de la resistencia de los conductos y de la erosionabilidad de los materiales ambas muy afectadas en el caso de las balsas, como ya se ha indicado por la heterogeneidad de los materiales.

La superficie exterior de los conductos y galerías es un camino preferente para la circulación del agua de cualquier procedencia lo que puede facilitar la erosión y arrastre de materiales.

Una conducción en presión no debe estar en contacto directo con los diques o con el terreno pues una fuga en ella (fisura, apertura de juntas), conduciría a la ruina de la obra, ya que su detección sería con toda probabilidad tardía.

5.2.1. La resistencia

Los principales aspectos a tener en cuenta son:

- ▶ El orden de magnitud de las cargas.
- ▶ La asimetría de las cargas.
- ▶ La deformación longitudinal por asiento.

5.2.2. El orden de magnitud de las cargas y soluciones aconsejables

Numerosas medidas realizadas en distintas galerías (Figura 5.8.) ponen de manifiesto que la carga en la cresta es siempre mayor que el peso del terreno que hay sobre ella.

Esto se debe a que en la consolidación, tanto durante la construcción, como posteriormente al ser la galería un punto duro, parte del peso de las zonas contiguas se transmite a ella por esfuerzo cortante (Figura 5.9. a). El aumento de la carga por esta causa depende de la rigidez del apoyo en la base y varía generalmente entre un 30% y un 100%. Del mayor interés es la reacción de la solera.

Si la estructura de la galería es cerrada monolítica, la reacción a efectos prácticos es uniforme aunque el coeficiente de balasto sea alto (500 Kp/cm^3 o más) (Figura 5.9. b). Ahora bien si el asiento es reducido (unos mm.) y no hay subpresión que pueda dar lugar a filtraciones se puede optar por independizar la solera y que la reacción se absorba por los hastiales (Figura 5.9. c). Sería un caso análogo a un túnel de carretera o ferrocarril en roca firme, circunstancia poco de esperar en una balsa. Tampoco una contrabóveda será eficaz por falta de apoyo en sus estribos (Figura 5.9. d). Un aspecto de la mayor importancia es la posible asimetría de las cargas. En una estructura monolítica de hormigón,

los momentos y cortantes resultantes, sólo se pueden absorber mediante armadura pues la casi nula deformación de la estructura no permite que se generen reacciones pasivas que centren la línea de presiones. Dentro de ciertos límites puede recurrirse a hacer la estructura articulada en mayor o menor grado y teniendo en cuenta la existencia o no de agua exterior.

Con mucho más margen puede recurrirse a la chapa corrugada cuya deformabilidad sin pandeo llega al 10 % del diámetro. Esta solución fue la adoptada en la balsa de La Mericana con una cimentación cambiante en granito más o menos alterado o descompuesto (jabre), aunque más bien lo fue por tener una flexibilidad longitudinal. Otro aspecto importante es la flexión longitudinal por la variación de asientos y el acortamiento por retracción. En hormigón un remedio eficaz es dividir la galería en tramos de 8 a 15 m según su diámetro de modo que quede articulada en piezas autorresistentes aunque no apoyen bien.

En Iril-Emda se estudió el asiento y la curvatura vertical correspondiente y como resultaba aceptablemente elástica se optó por construir la galería como viga continua: las medidas sobre la obra construida resultaron más favorables que lo previsto (Figura 5.10).

5. 3. La erosionabilidad

En las balsas, mucho más que en las presas hay que tener siempre presentes, además, de las superficies de contacto, otros caminos preferentes debidos a la heterogeneidad y los que puedan producirse en la consolidación posterior debido al efecto de «punto duro» de la galería. Las disposiciones que se adopten deben perseguir:

- Impedir que los materiales erosionados sean evacuados.
- Impedir que el agua que atraviese los filtros tenga capacidad erosiva, lo que equivale a decir que quede con un gradiente muy bajo.

5.3.1. Detención de los materiales erosionados

Como la localización de los otros caminos preferentes es imposible, el dispositivo adecuado es el dren-chimenea con la capacidad de evacuación suficiente para que el agua que lo atraviese no tenga capacidad de arrastre. El camino preferente que si está claramente definido es el contorno exterior del conducto o galería.

Una primera precaución es disponer los hastiales con taludes comprendidos entre $1/3$ y $1/5$ para que la consolidación diferida tienda a comprimirla (Figura 5.11. b). Para dificultar el arrastre a lo largo de él se ha venido utilizando «collares» con los que alargar el recorrido y hacerlo más tortuoso (Figura 5.12.). Presentan sin embargo el inconveniente

de la peor calidad de la compactación junto a ellos y de que la consolidación posterior puede dar lugar a grietas o a relajación de la compacidad al constituir unos «puntos duros» localizados (Figura 5.13.)

Más eficaz es una disposición análoga a la de la (Figura 5.15.) en la que al flujo que potencialmente lleve arrastres se le obliga a atravesar un filtro en donde los deposite.

El agua que atraviesa el filtro debe quedar con un gradiente suficientemente bajo para que no tenga capacidad de arrastre para lo que basta que la conducción (arena, dren) sea adecuadamente permeable.

Si la galería está en el fondo, la salida habrá que disponerla a lo largo de ella (Figura 5.16.).

Si está a media ladera bajará hacia el fondo a poco de atravesar el dren chimenea (Figura 5.14.) por lo que bastará con envolverla en el tramo adyacente. Un punto que merece especial atención es el de entronque de la obra de toma con la conducción y la galería. Concurren en él materiales rígidos y deformables y la lámina. El riesgo puesto de manifiesto en varios accidentes, por fortuna sin víctimas proviene de que el asiento diferido de los materiales deformables de lugar a que las aristas vivas de los rígidos corten la lámina, dando lugar a una vía de agua en presión justo junto al camino preferente que constituye la galería.

La protección frente a este riesgo es doble: evitar que se produzca el corte y si llega a producirse evitar la erosión. Para lo primero es eficaz rodear el hormigón con gravilla algo sobreelevada para que al asentar, que asentará poco, no se llegue a dar lugar al corte de la lámina. Para lo segundo esa misma gravilla recogerá y conducirá el agua a la protección de la galería descrita anteriormente. A título orientativo se reproducen en las figuras 14 a 16 las disposiciones adoptadas en tres casos reales.

Merece la pena mencionar que en La Mericana, por un defecto de ejecución, la parte superior de la cubeta de toma se abrió ligeramente por los ángulos dando lugar a una filtración de unos dos litros/s que fue conducida por el drenaje hasta la galería de desagüe sin producir ningún arrastre (Figura 5.15.).

5.3.2. La deformación vertical por asiento

Bajo la carga del dique la galería se ve impelida a deformarse (Figura 5.17.) y adoptar una forma curva en el alzado con el máximo asiento bajo la coronación. La cuantía de esta deformación depende de la carga, del coeficiente de balasto del cimiento, y de su consolidación diferida.

En el caso citado al principio de la presa de Iril Emda se llevaron a cabo los ensayos y las medidas pertinentes y se llegó a la conclusión de que la deformación previsible conducía a un radio vertical de aproximadamente 20.000 m, asumible por una galería

continua de hormigón armado y así se construyó. Las medidas realizadas in situ con la presa en carga comprobaron el buen comportamiento.

Pero la práctica usual y más simple tanto en presas como en balsas es articular la galería en tramos de 8 a 20 metros según sea la sección transversal para que la galería pueda seguir la deformación del cimiento. Este proceder tiene además la ventaja de que cualquiera que sea el asiento se mantiene la presión sobre el cimiento, hecho que podría no ocurrir con una viga continua si llegase a quedar parcialmente colgada. Las juntas deben proveerse de una impermeabilización suficientemente flexible (banda de PVC por ejemplo).

5.3.3. Apertura de juntas por asiento

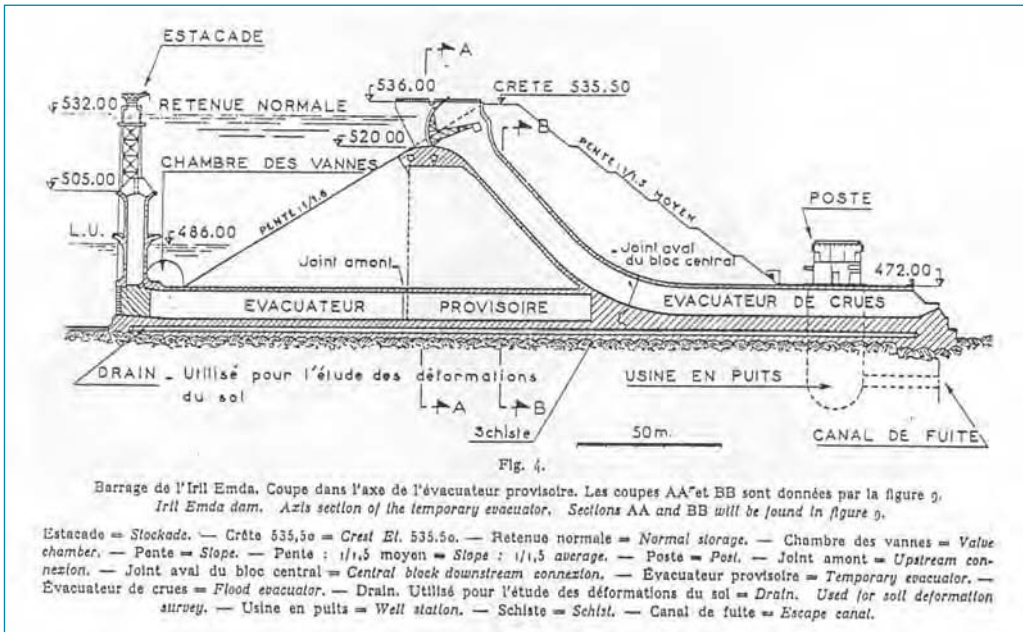
La estabilidad de un dique triangular exige que se movilicen esfuerzos cortantes en el contacto con el cimiento que eviten el derramamiento del dique a causa de las tensiones cortantes centrífugas originadas en su zona central.

Pero el equilibrio se logra mediante una distensión en la parte central y una compresión en los extremos, lo que conduce respectivamente a una apertura y cierre de juntas.

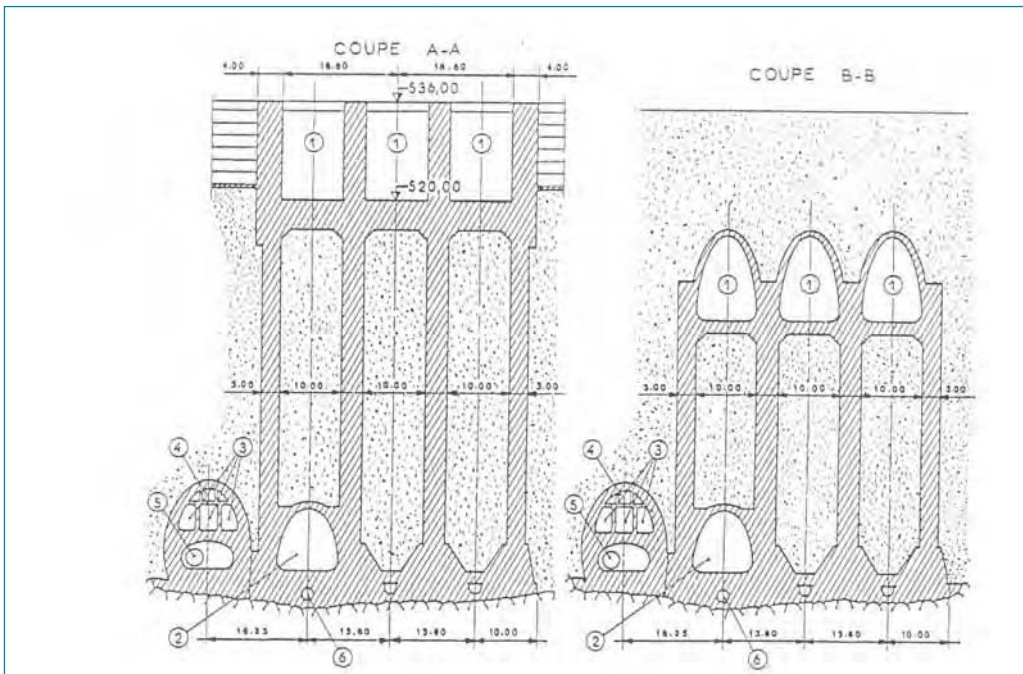
Los desplazamientos verticales y horizontales están relacionados como se aprecia en las Figuras 5.18. y 5.19., tomadas de Casagrande Volume.

El diagrama de la figura juntamente con un análisis convencional de asientos es el utilizado por el SCS (Soil Conservation Service) para predecir la apertura máxima de junta y puede servir para prever una impermeabilización que en principio puede consistir en una banda elastómera con deformabilidad apreciable (existen en el mercado).

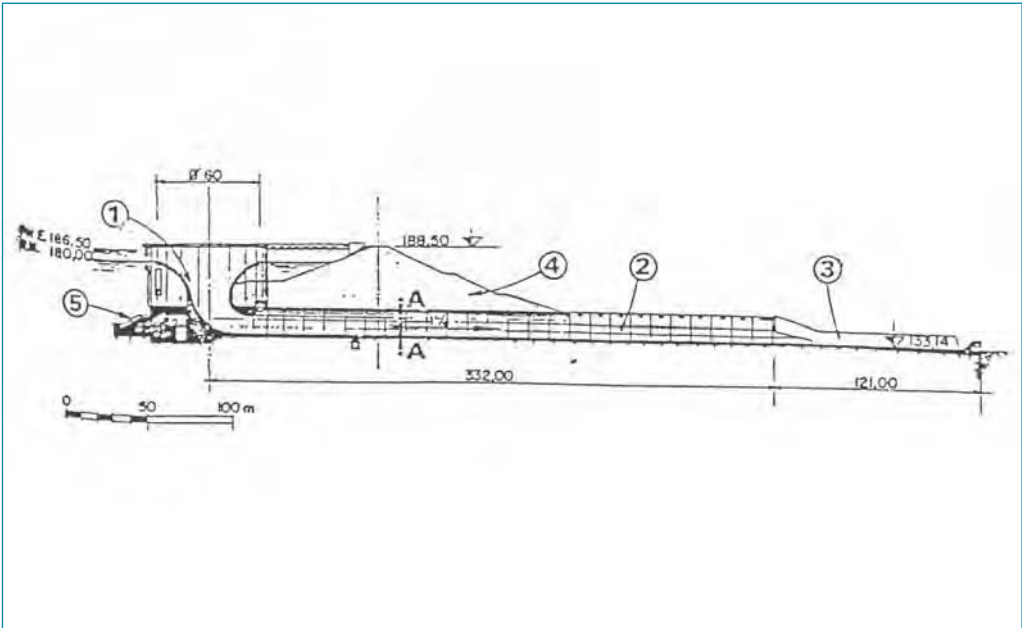
Si fallara puede recurrirse a impermeabilizar desde el interior mediante algún procedimiento más o menos análogo a los sugeridos en la Figura 5.20. En las balsas impermeabilizadas superficialmente (láminas, asfalto, hormigón) esta impermeabilización es más bien estética por el agua de lluvia a través del espaldón. En los núcleos arcillosos debe hacerse siempre para evitar que el núcleo fluya a través de la junta.



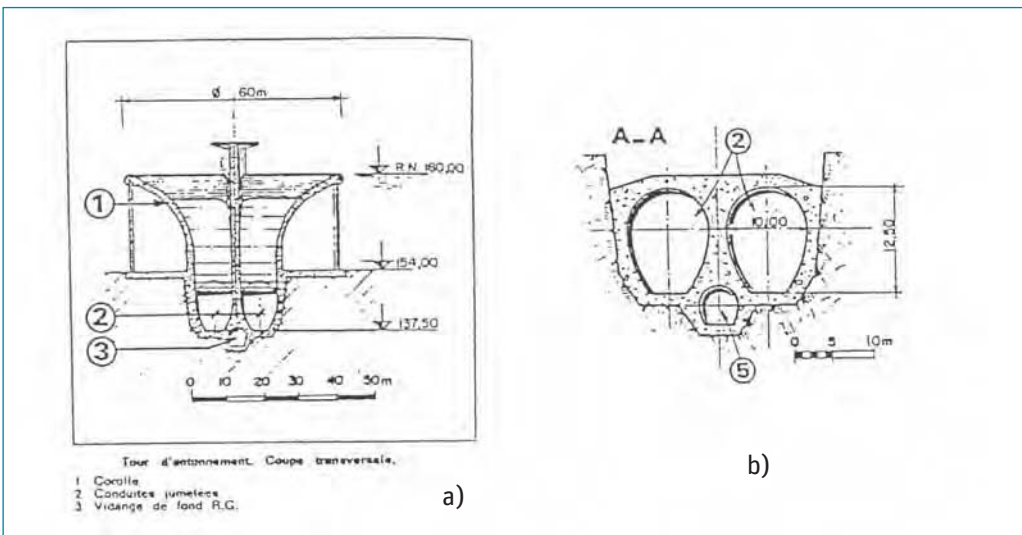
▲ Figura 5.1.



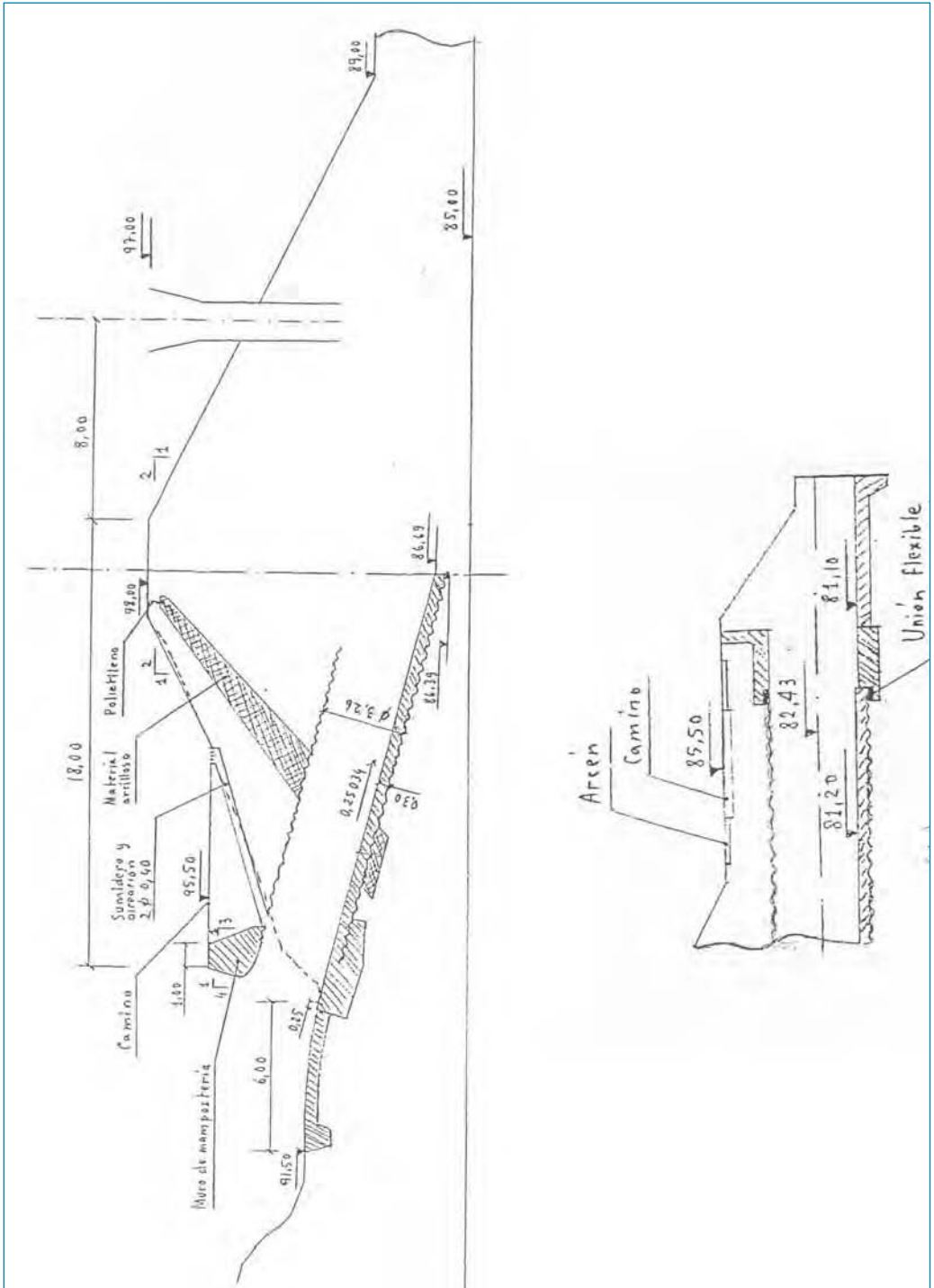
▲ Figura 5.2.



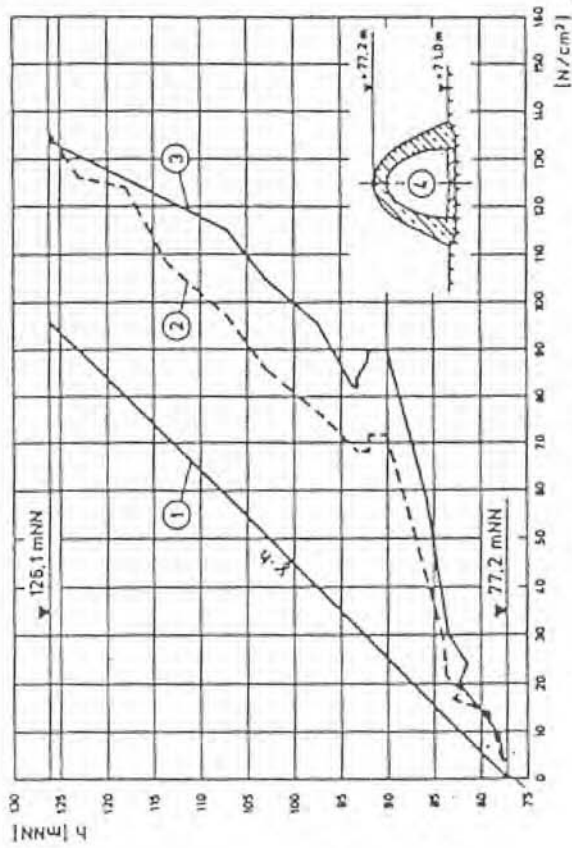
▲ Figura 5.5.



▲ Figura 5.6.



▲ Figura 5.7.

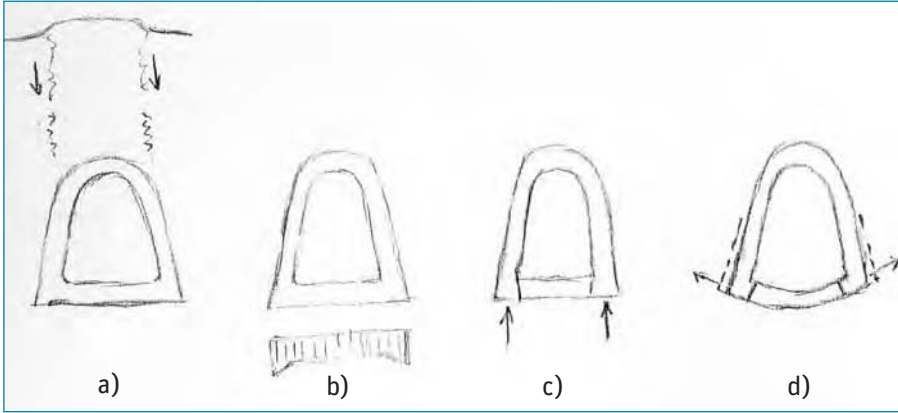


Crest pressure on a bottom outlet dependent on the level of fill placement.

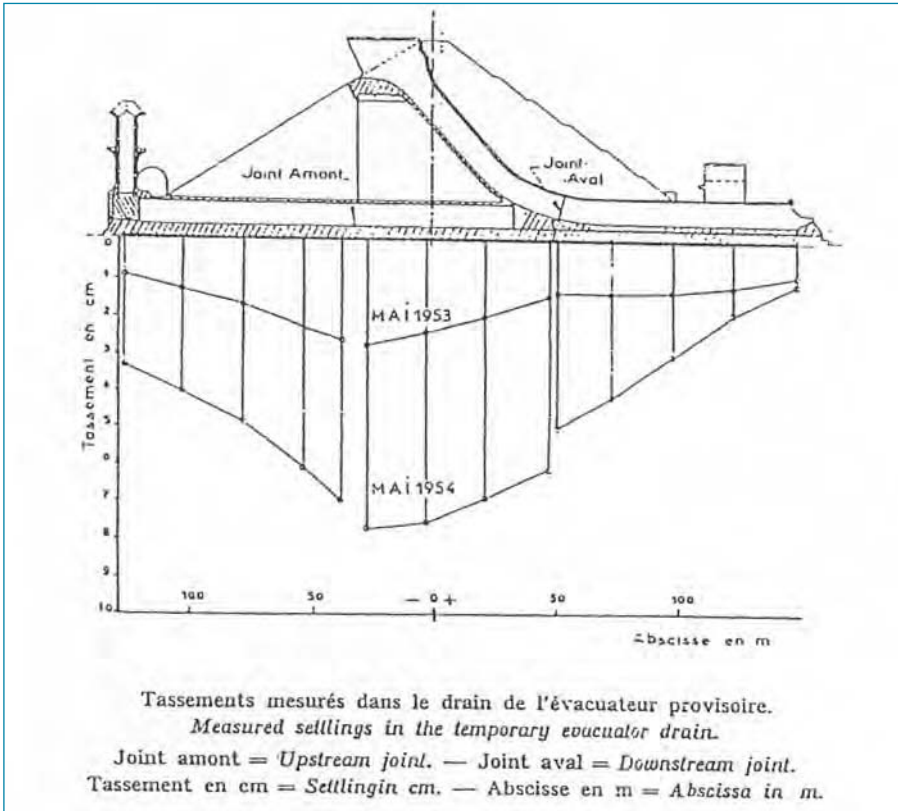
Pression de crête sur une vidange de fond en fonction de la hauteur de remblais.

- (1) Calculated crest load. (1) Poids calculé.
- (2) Measured crest pressures in two sections. (2) Pressions de crête mesurées dans deux profils.
- (3) Transversal section of bottom outlet. (3) Coupe transversale de la vidange de fond.
- (4) Transversal section of bottom outlet. (4) Coupe transversale de la vidange de fond.

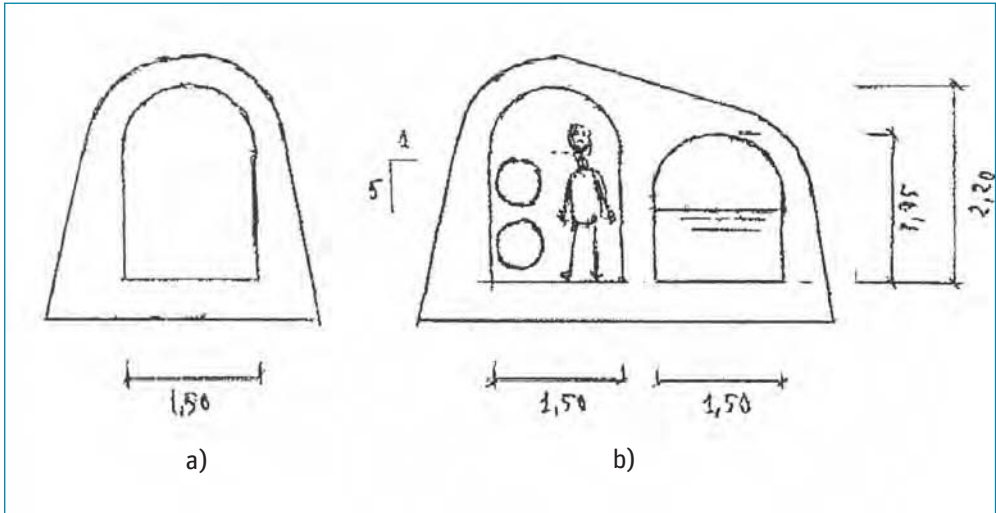
▲ Figura 5.8.



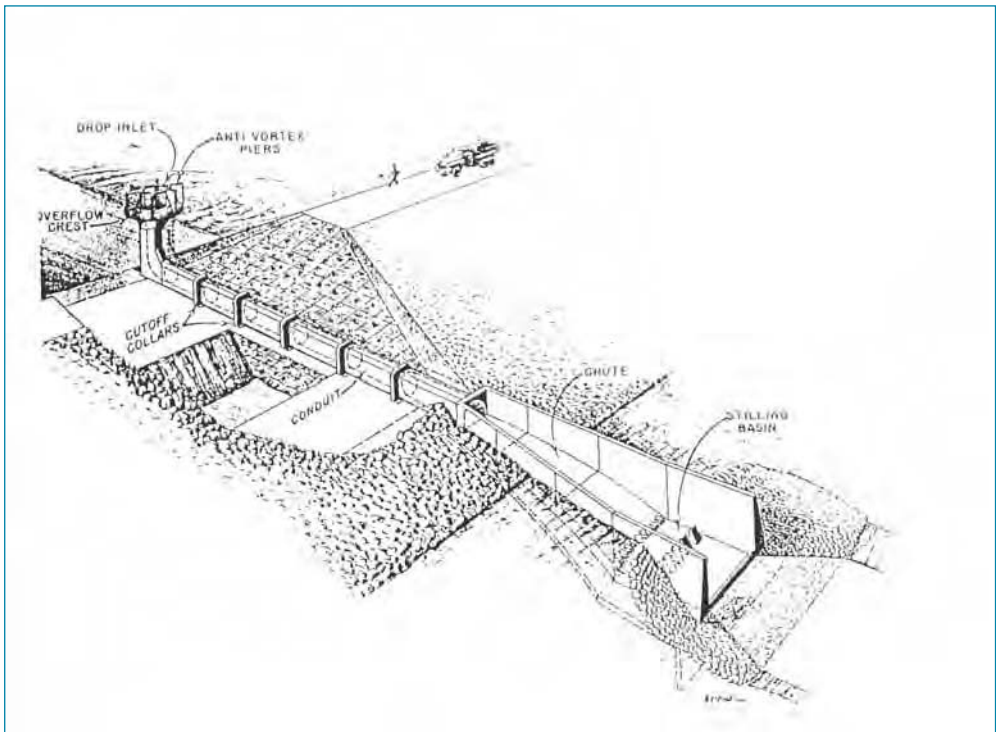
▲ *Figura 5.9.*



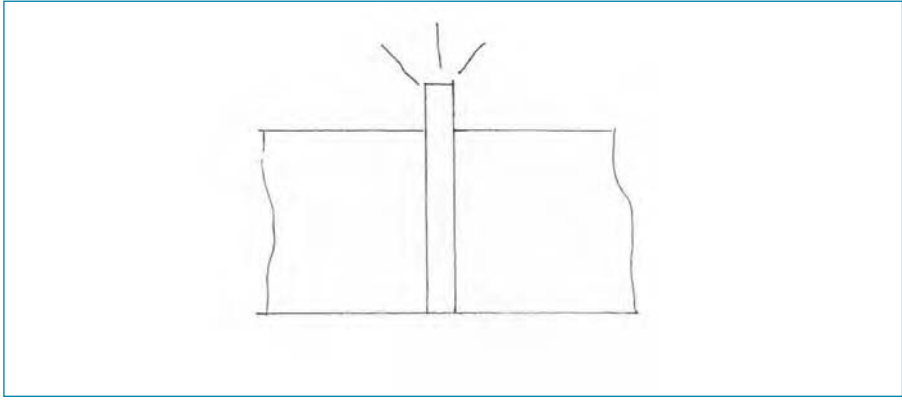
▲ *Figura 5.10.*



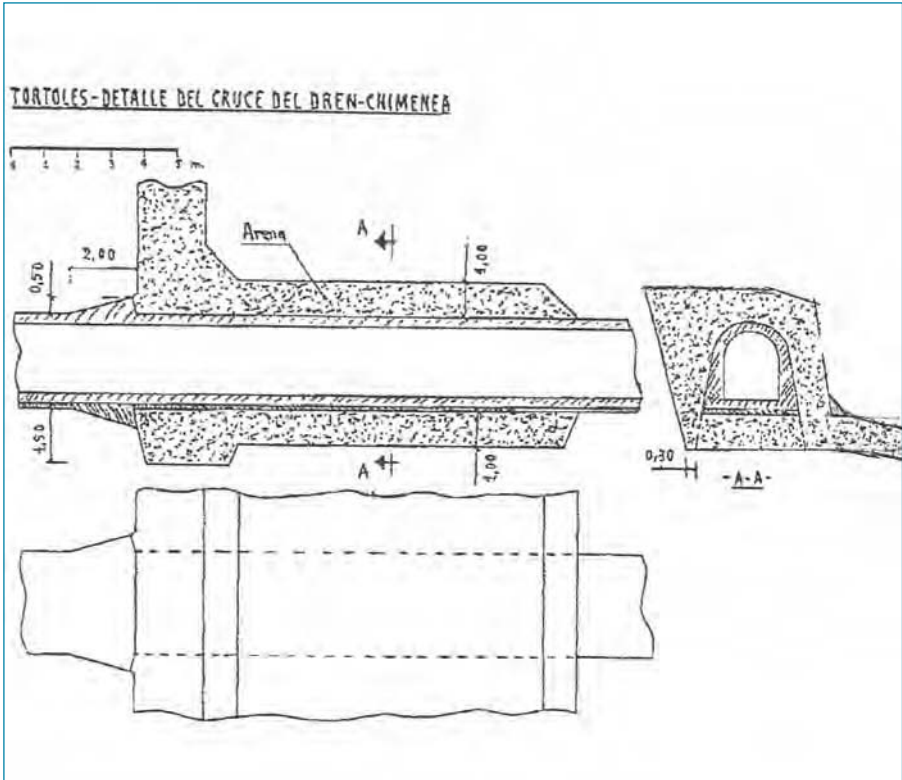
▲ *Figura 5.11.*



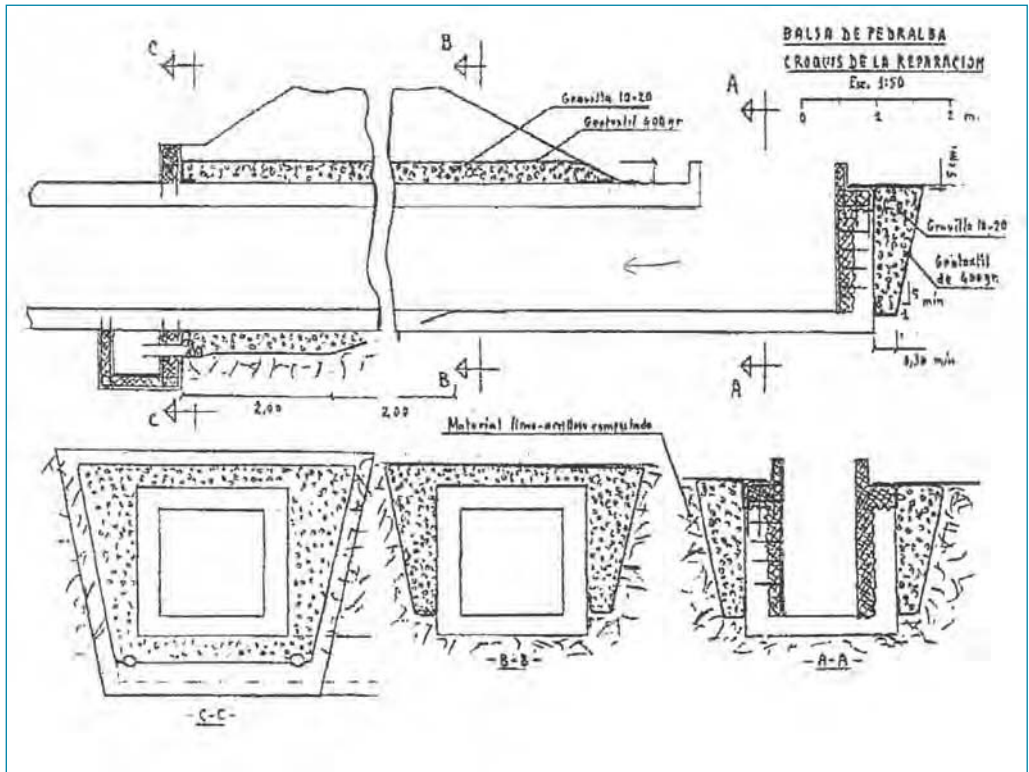
▲ *Figura 5.12.*



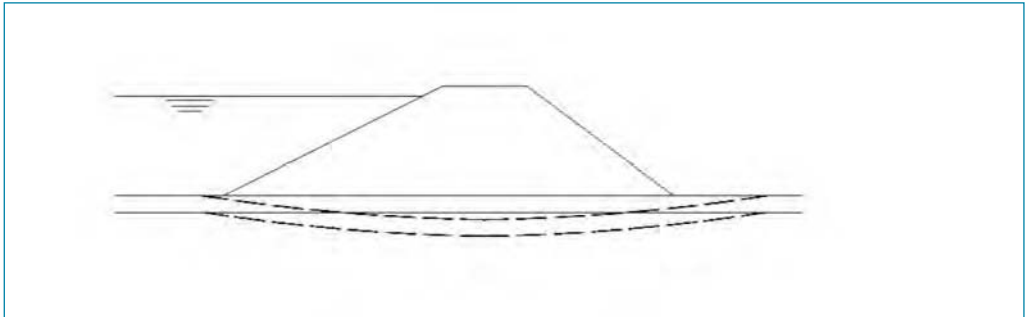
▲ Figura 5.13.



▲ Figura 5.14.

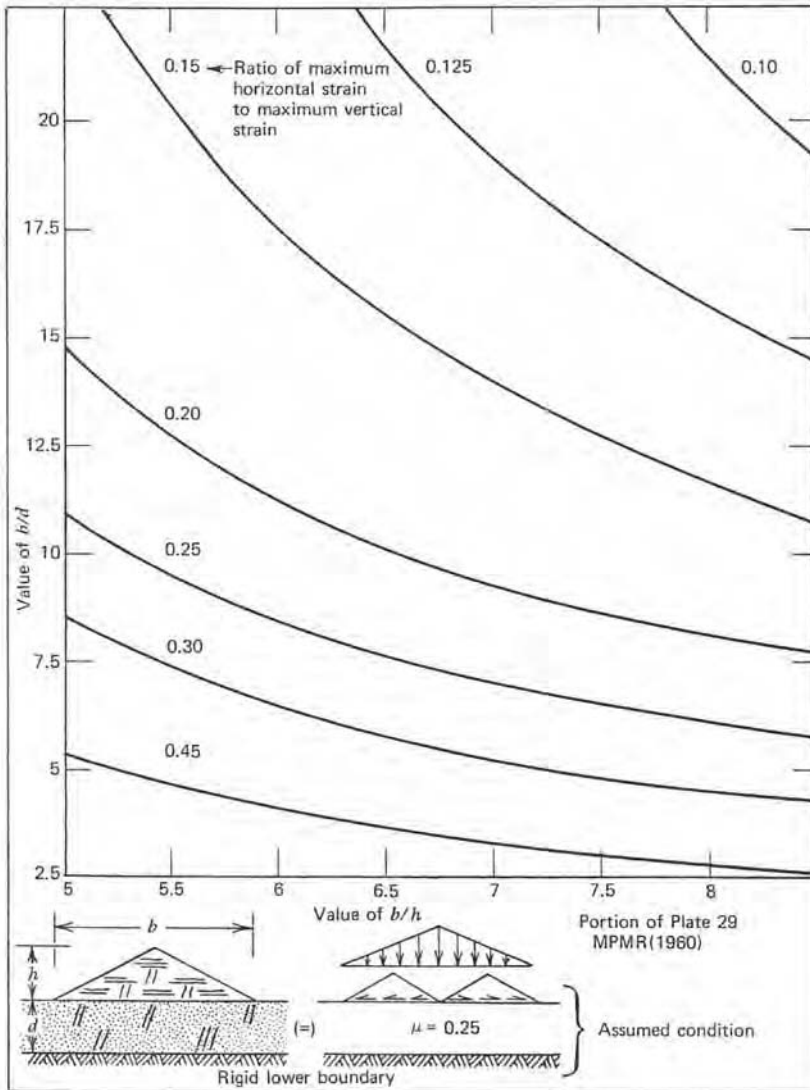


▲ Figura 5.16.



▲ Figura 5.17.

MOVEMENTS OF ARTICULATED CONDUITS UNDER EARTH DAMS ON COMPRESSIBLE FOUNDATIONS



▲ Figura 5.18.

BACKGROUND OF THE STUDY

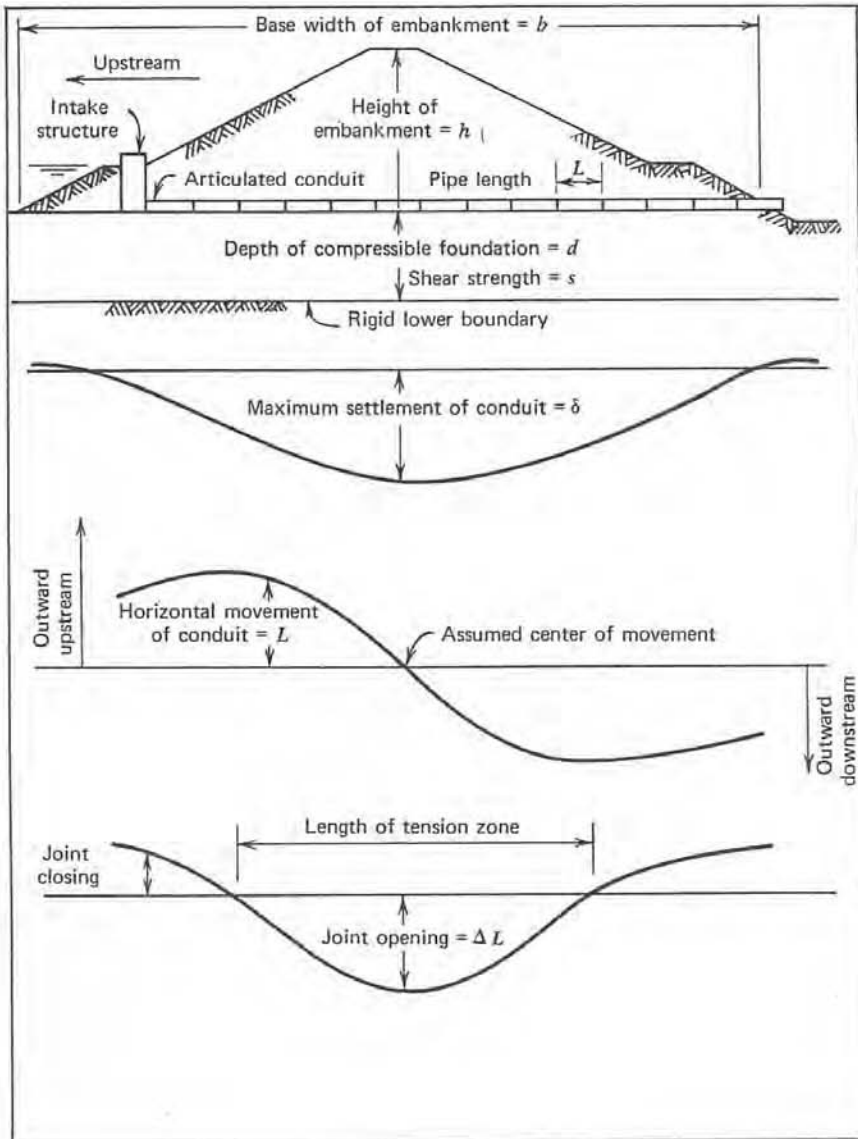
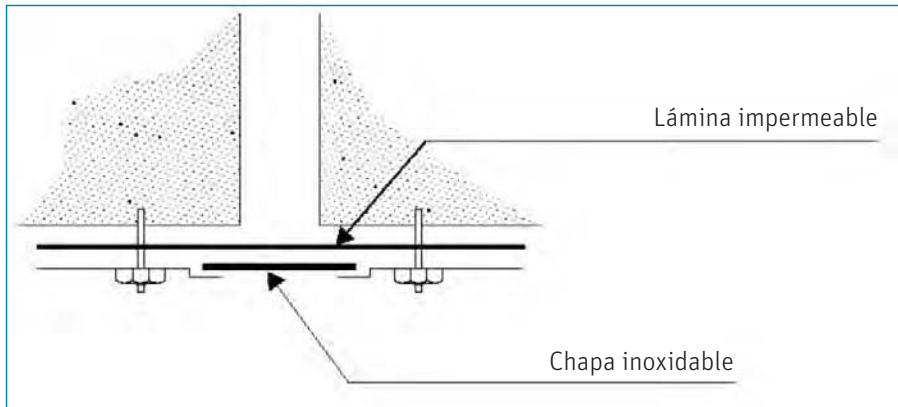


Fig. 1. Notation used for describing conduit movement. *Definitions:* Modulus of elasticity: embankment = E_e ; foundation = E_f ; maximum average vertical strain = $\delta/d = \epsilon_v$; horizontal strain = $\Delta L/L = \epsilon_h$; maximum vertical stress of embankment = $h\gamma_r = \rho$.

▲ *Figura 5.19.*



▲ *Figura 5.20.*

ANEXO Nº 6

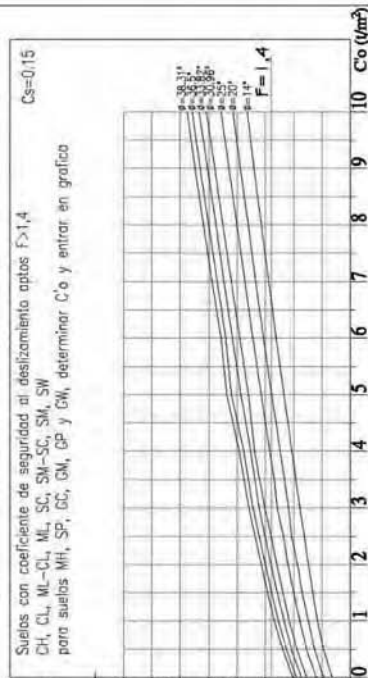
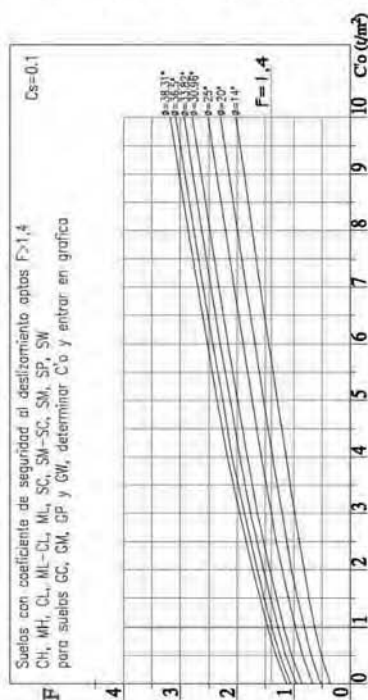
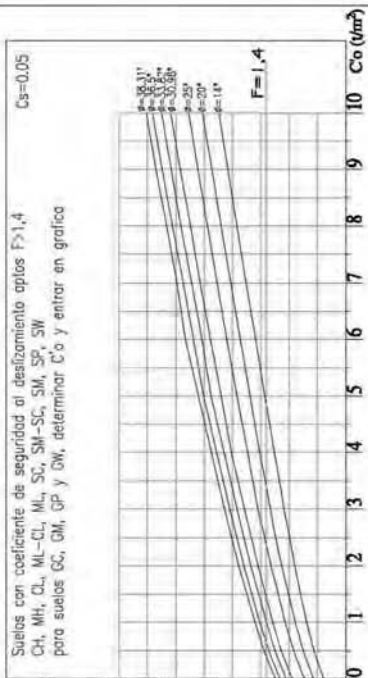
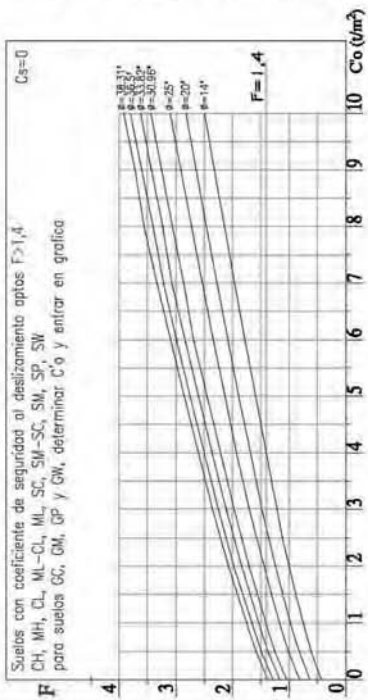
Tablas para la obtención del coeficiente de seguridad al deslizamiento

TALUDES PARA BALSAS IMPERMEABILIZADAS CON GEOMEMBRANAS

talud 1:1,5

ancho coronación=4 m

H=15 m

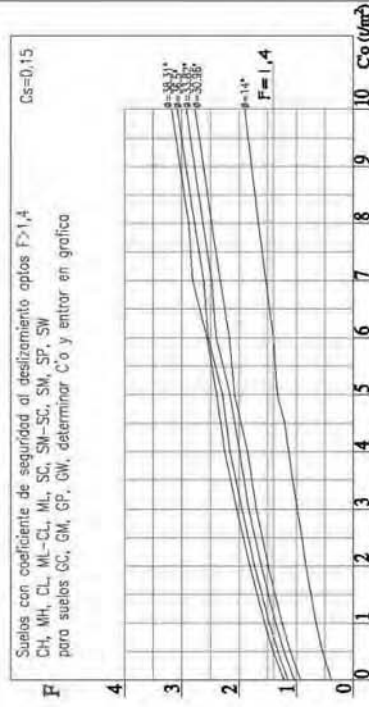
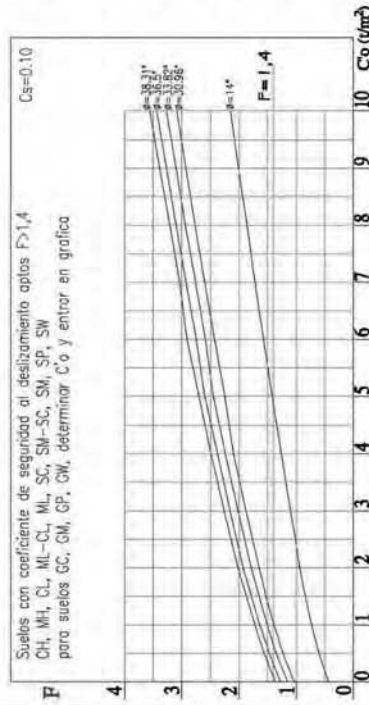
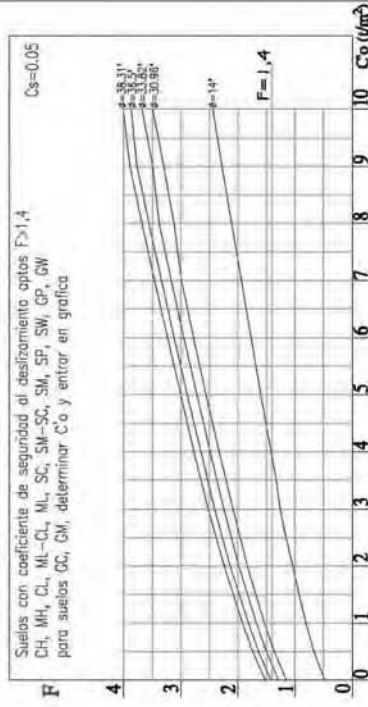
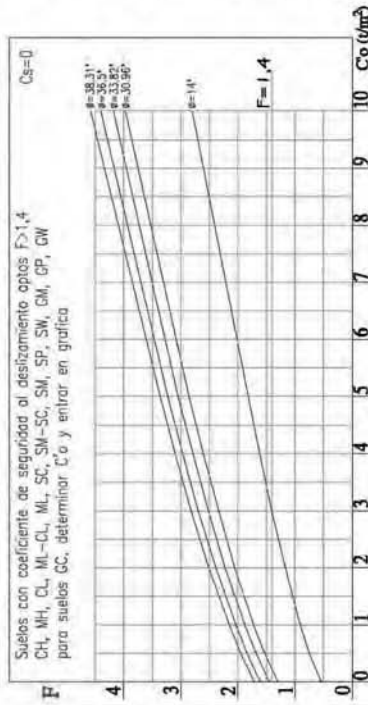


TALUDES PARA BALSAS IMPERMEABILIZADAS CON GEOMEMBRANAS

talud 1:2

ancho coronación=4 m

H=15 m

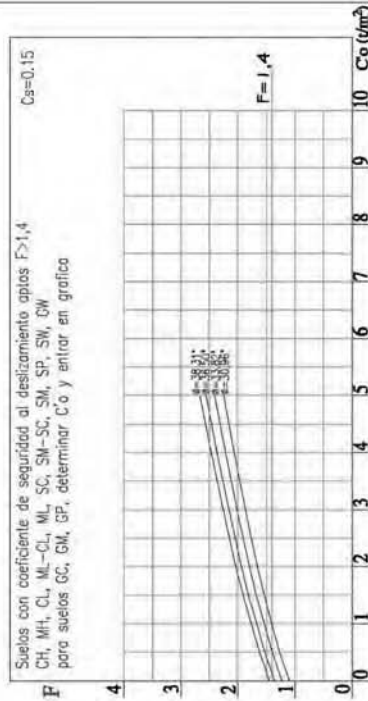
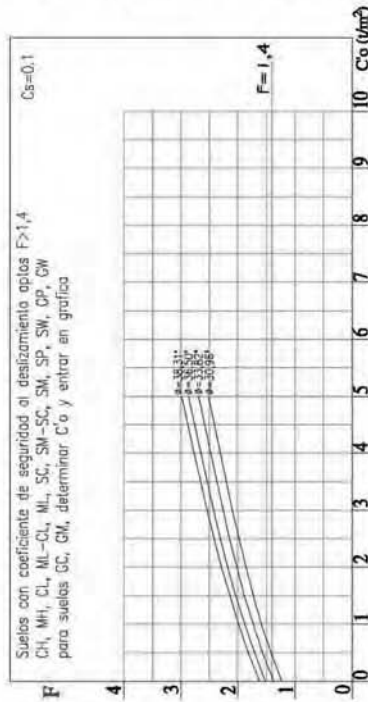
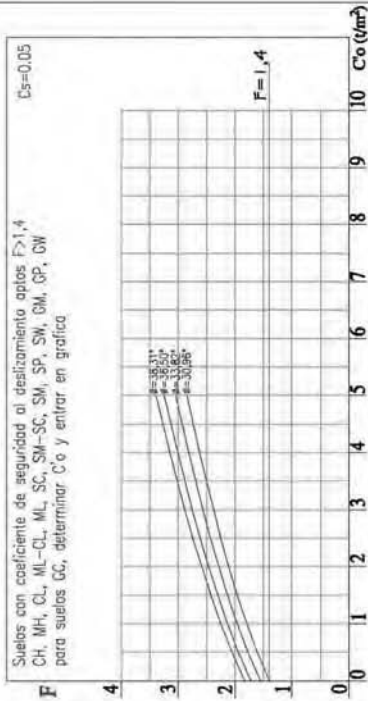
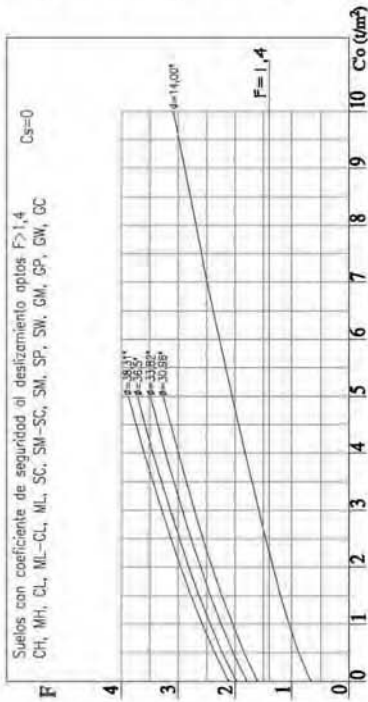


TALUDES PARA BALSAS IMPERMEABILIZADAS CON GEOMEMBRANAS

talud 1:2,5

ancho coronación=4 m

H=15 m

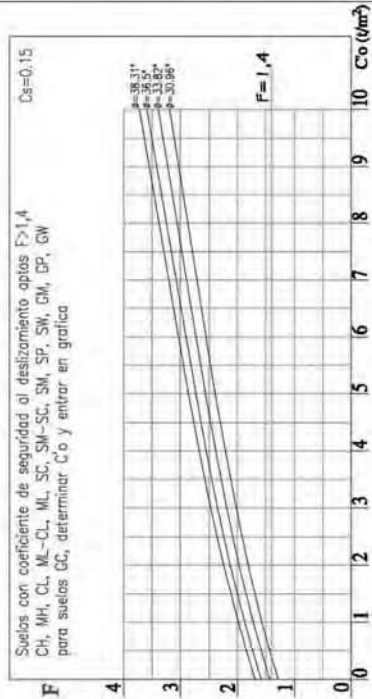
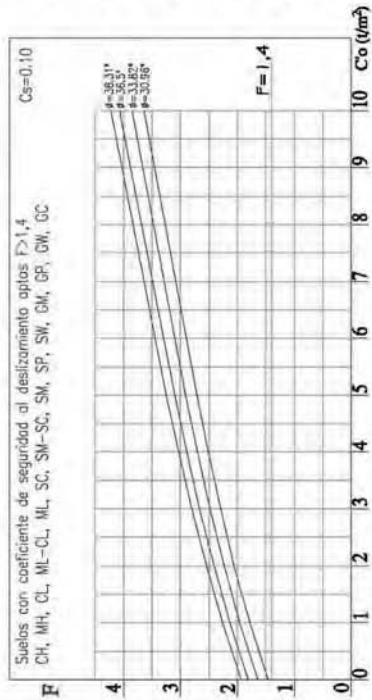
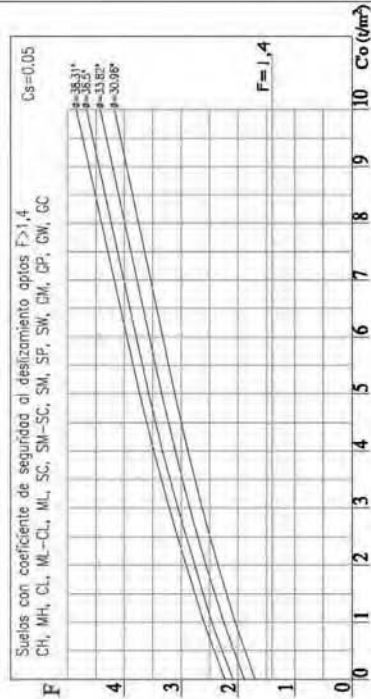
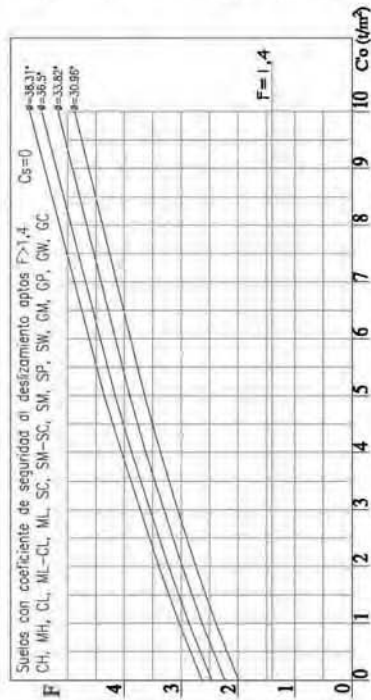


TALUDES PARA BALSAS IMPERMEABILIZADAS CON GEOMEMBRANAS

talud 1:3

ancho coronación=4 m

H=15 m

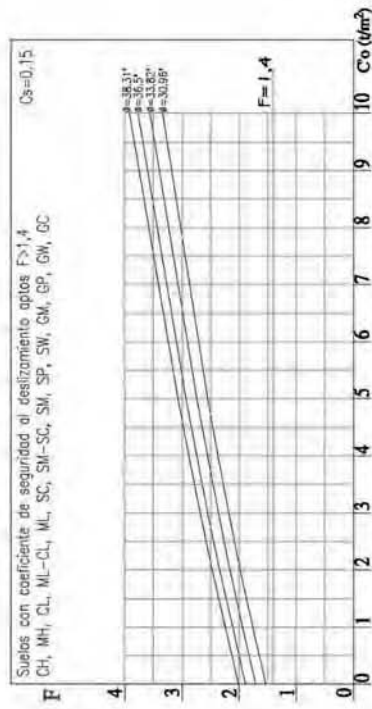


TALUDES PARA BALSAS IMPERMEABILIZADAS CON GEOMEMBRANAS

talud 1:3,5 balsa llena

ancho coronación=4 m

H=15 m

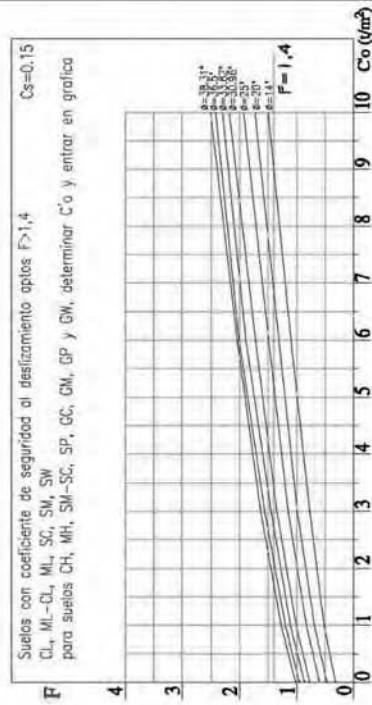
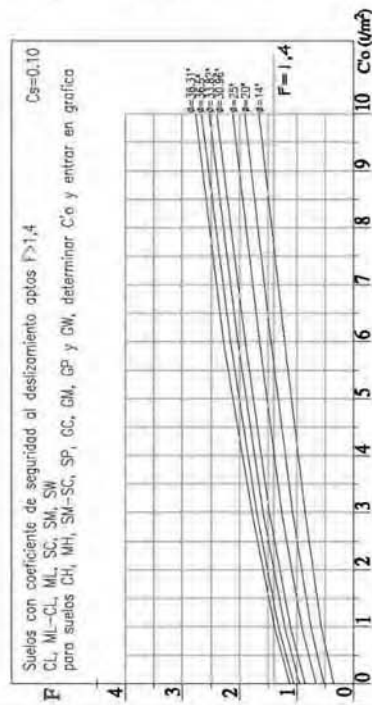
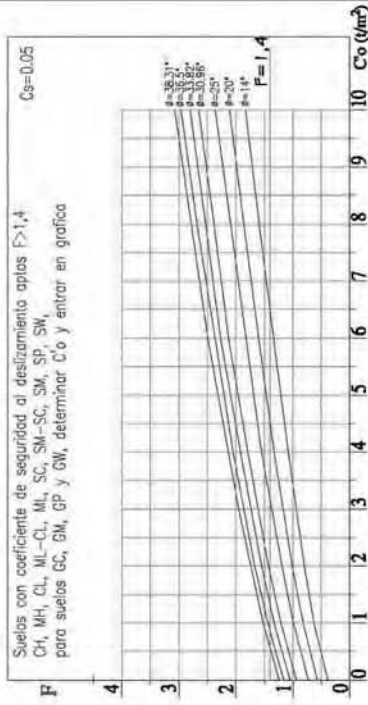
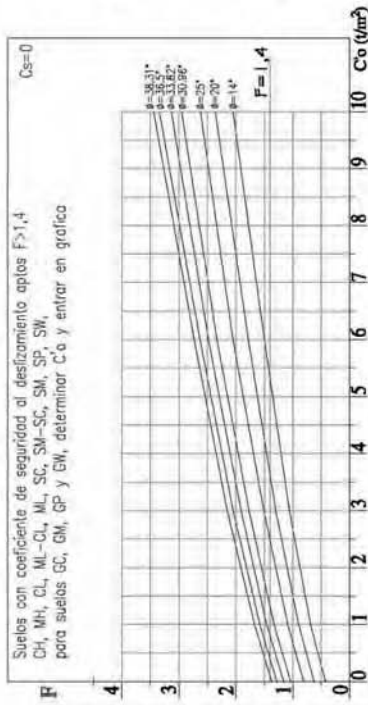


TALUDES PARA BALSAS IMPERMEABILIZADAS CON GEOMEMBRANAS

talud 1:1,5

ancho coronación=5 m

H=20 m

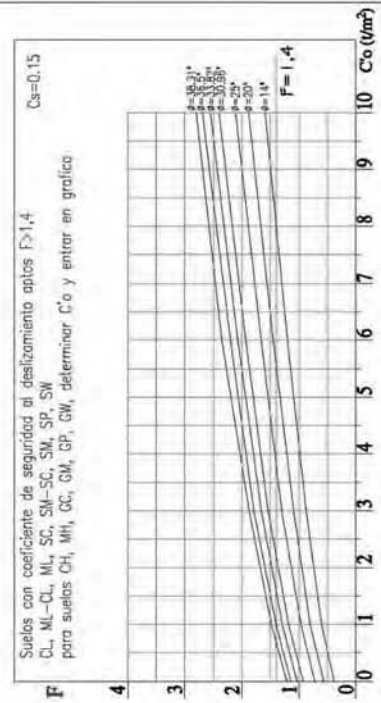
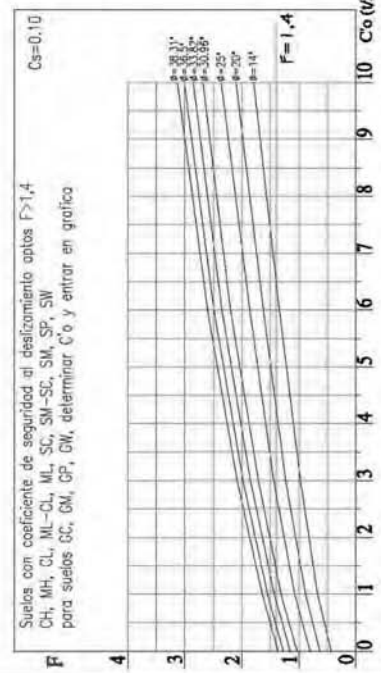
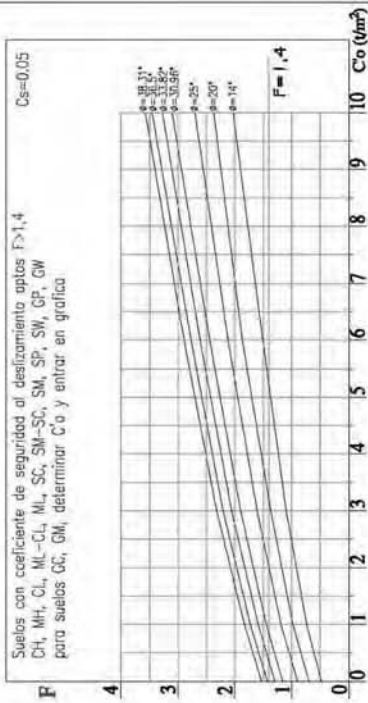
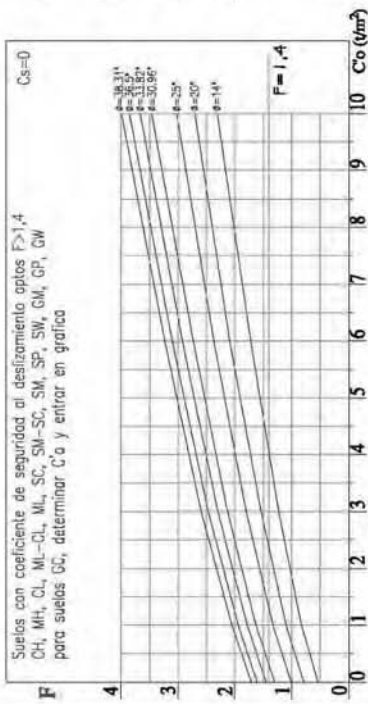


TALUDES PARA BALSAS IMPERMEABILIZADAS CON GEOMEMBRANAS

H=20 m

ancho coronación=5 m

talud 1:2

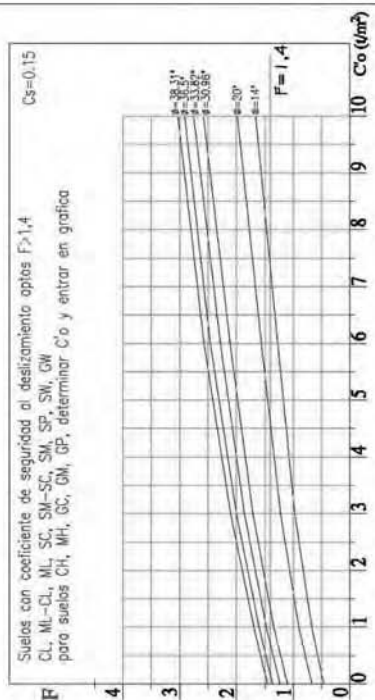
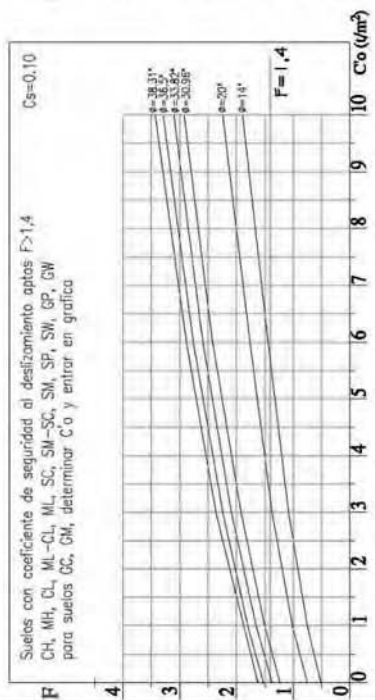
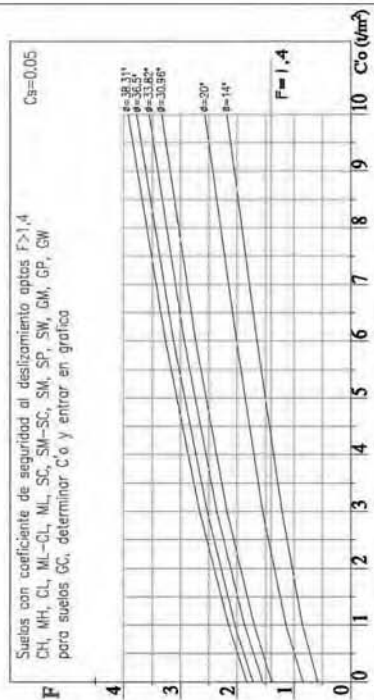
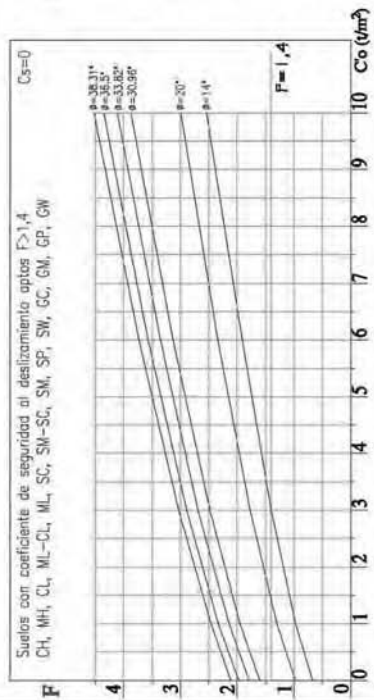


TALUDES PARA BALSAS IMPERMEABILIZADAS CON GEOMEMBRANAS

talud 1:2.5

ancho coronación=5 m

H=20 m

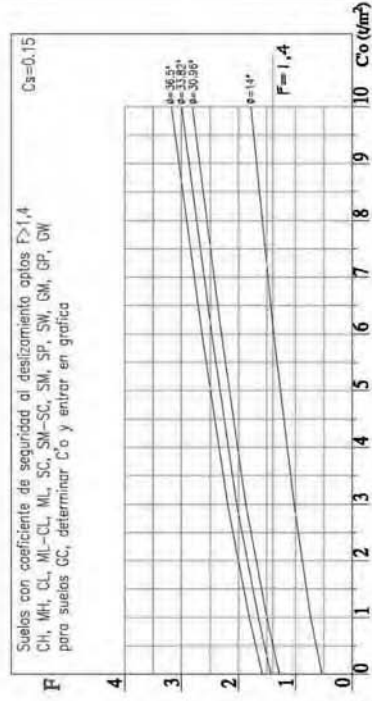
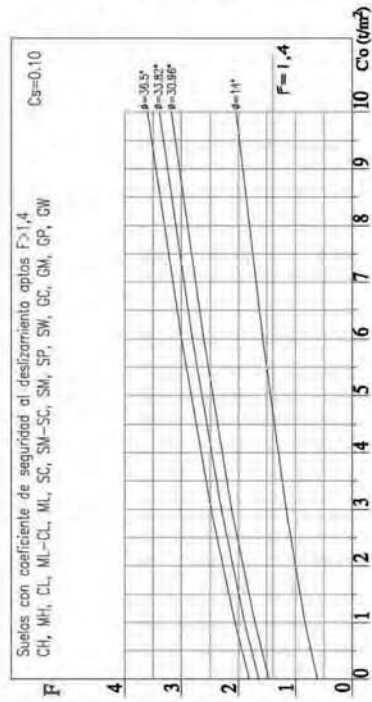
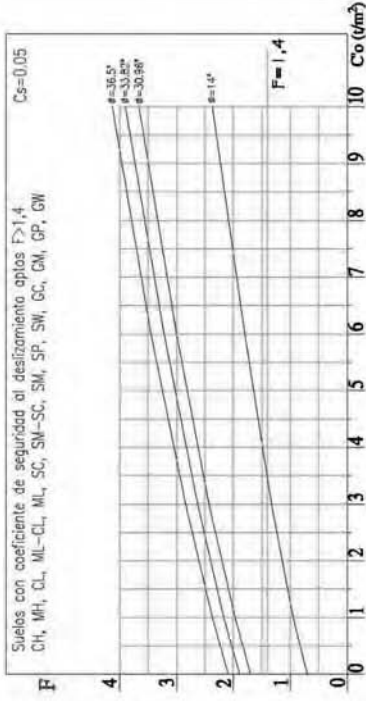
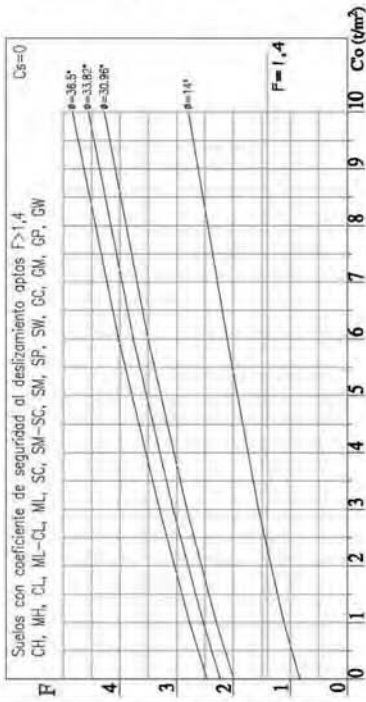


TALUDES PARA BALSAS IMPERMEABILIZADAS CON GEOMEMBRANAS

talud 1:3

ancho coronación=5 m

H=20 m



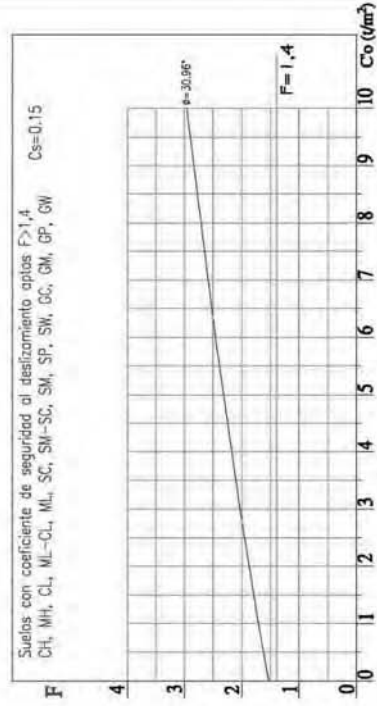
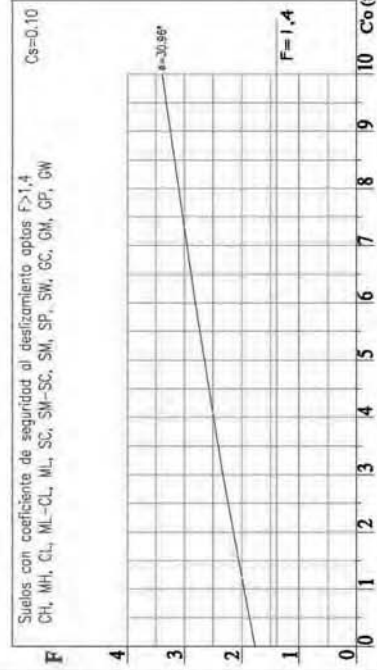
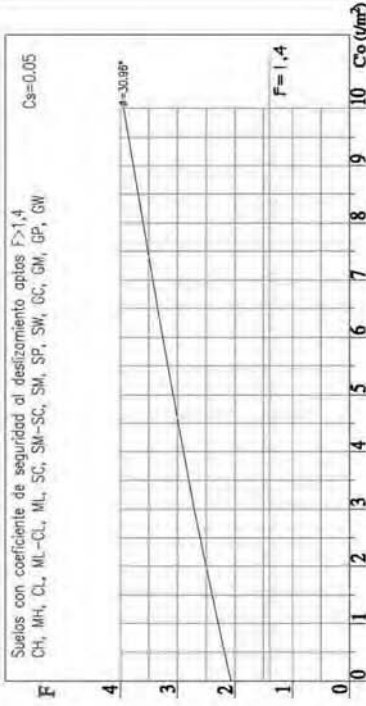
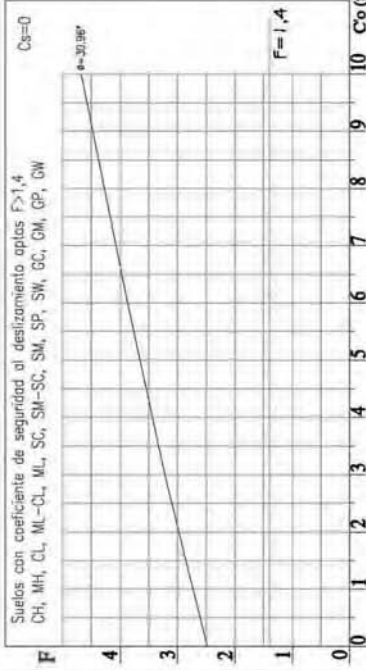
TALUDES PARA BALSAS IMPERMEABILIZADAS CON GEOMEMBRANAS

talud 1:3.5

ancho coronación=5 m

H=20 m

densidad=2,15 t/m³



GUÍA 2

Guía para la explotación, mantenimiento, vigilancia y planes de emergencia de las balsas de riego con vistas a la seguridad

INTRODUCCIÓN

Las investigaciones llevadas a cabo por el Departamento de Ingeniería Rural de la Universidad Politécnica de Valencia en estrecha colaboración con la Conselleria de Medio Ambiente, Agua, Urbanismo y Vivienda, a través de la Dirección General del Agua, en materia de obra hidráulica para riego y, especialmente las balsas de tierra, se ha centrado principalmente en su construcción, atendiendo a las distintas partes de la misma, diques de cierre, impermeabilización, fundamentalmente con geomembranas, elementos hidráulicos de entrada y salida, etc. que entre otros resultados han sentado las bases para el desarrollo de la guía para el proyecto y construcción de balsas.

Dentro de los trabajos arriba mencionados, se ha hecho especial hincapié, en la seguridad de las balsas, de tal forma que se incorporen en los proyectos las técnicas y conocimientos, que permitan construir balsas con las máximas condiciones de seguridad exigibles. Pero de las 3.500 balsas mencionadas sólo unas pocas han sido construidas más o menos acorde con la guía lo que no obsta para que las restantes que son la inmensa mayoría deban ser también suficientemente seguras.

El seguimiento del comportamiento de estas 3.500 balsas construidas a lo largo de 30 años llevado a cabo por la Generalitat, pone de manifiesto que no hay constancia de daños personales por algún tipo de rotura, aunque sí se han producido varias, algunas de las cuales analizaremos posteriormente. Esto se debe por una parte a que las técnicas de compactación han sido razonablemente eficaces y por otra a que en sus reducidas dimensiones el peso de la cohesión como factor de seguridad, tanto a deslizamiento como a erosión interna es muy elevado.

Además la impermeabilización con lámina mantiene seco el espaldón. Un desgarro en ella da una filtración que no llega a producir arrastres antes de que sea observada y tomadas las medidas pertinentes. A su vez el modo de explotación hace que por sus dimensiones estén permanentemente observadas en su totalidad. Al aumentar estas y su calado vemos que en ocasiones estas condiciones dejan de cumplirse.

Por otra parte, la seguridad de la obra, además de construir una obra segura, se complementa con un adecuado plan de mantenimiento y vigilancia, que permita mantener el nivel de seguridad a lo largo de todo el período de explotación de la balsa. De nada servirán unas holgadas conducciones de vaciado de emergencia, si dado el caso que fuesen necesarias, no fuera posible abrir las llaves. Es por ello, que dentro de la línea de investigación en éste área es fundamental, el desarrollo en lo referente a la explotación, mantenimiento, vigilancia y planes de emergencia de las balsas de tierra.

2. OBJETO

El objeto de la presente *Guía* es analizar la problemática de la explotación mantenimiento, vigilancia y planes de emergencia de las balsas de tierra con vistas a la seguridad y presentar este análisis de forma que se puedan extraer de él unas recomendaciones para su aplicación por parte de la Administración Autónoma y las Comunidades de Regantes.

3. ANTECEDENTES

Para el inicio del presente trabajo, se parte de los siguientes aspectos:

- ▶ El análisis en esta materia en sus hermanas mayores, «las presas».
- ▶ La explotación, mantenimiento y vigilancia de las balsas de riego.

3.1. Las presas

Para ellas, existe gran abundancia de normativa, bibliografía, y experiencia, tanto a nivel nacional como internacional.

3.2. Las balsas

No existe prácticamente normativa, ni bibliografía específica para las balsas de tierra. No obstante y como conocedores del sector agrario, y concretamente de las entidades de riego, sí que sabemos que las distintas Comunidades de Regantes, tienen establecida su propia metodología para la conservación de las balsas en buen estado, y además de forma eficiente, siendo prueba de ello, la práctica ausencia de accidentes graves a lo largo de más de treinta años de su implantación en el sector agrario.

4. METODOLOGÍA

Como se ha indicado el grueso en número de las balsas existentes sólo ocasionalmente están acordes con la Guía de proyecto y construcción y son las de mayores dimensiones. La capacidad total de las balsa existentes en la provincia de Alicante es de unos 75 hm³ de los que 50 hm³ corresponden a 156 balsas de más de 50.000 m³, solo 9 hm³ están repartidos en 928 balsas de menos de 10.000 m³ y 10 hm³ en 10 balsas de más de 500.000 m³. Las mayores son las más modernas y responden a almacenamiento o regulación estacional tendencia que irá en aumento pues ya están proyectadas varias

de 2 hm³. En esta guía se intenta dar cabida a todas por lo que se ha seguido una metodología que comprende:

1. Analizar la documentación existente en materia de presas en cuanto a explotación, vigilancia, mantenimiento y planes de emergencia.
2. Viabilidad de su aplicación en su integridad o parcialmente a las balsas de tierra.
3. Analizar las patologías observadas en balsas, para obtener los puntos más sensibles en cuanto a la seguridad de la balsa, y sobre los que se deberá prestar mayor atención, durante la explotación de la obra.
4. Recoger suficiente información de las prácticas de explotación de las Comunidades de Regantes, en la actualidad.
5. Diseñar una propuesta realista y eficaz para su aplicación a las Balsas de Tierra.

5. PRESAS Y BALSAS

A pesar de la similitud de las balsas de tierra, con sus hermanas mayores, las presas de tierra (ambas son obras hidráulicas), existen notables diferencias entre ellas, que es importante destacar, ya que estas determinan no sólo el modo de proyectarlas y construirlas, sino también su explotación, mantenimiento, etc.:

1. Las presas se encuentran en ríos o barrancos, abasteciéndose de agua de escorrentía, que dependen exclusivamente de los caprichos de la naturaleza. Las balsas en su gran mayoría, se alimentan de caudales de pozos o de acequias, que el hombre domina a voluntad, lo que les da una gran seguridad frente a las presas.
2. En las presas, la incertidumbre en la cantidad y en el tiempo, sobre las escorrentías aportadas, hace que los aliviaderos, constituyan un elemento fundamental en la seguridad de la obra, tanto en su dimensiones, que deben tener suficiente capacidad de evacuación, como de su operatividad, ya que un fallo de los mismos conduce irremediamente al vertido por coronación, «talón de Aquiles», de las presas de tierra, basta recordar el suceso de Tous, frente a la inmensa mayoría de las balsas, cuyos caudales de entrada son perfectamente conocidos, y controlados, haciendo del aliviadero un elemento secundario frente a la seguridad de la obra.
3. Frente a cualquier eventualidad en una balsa, se actúa fácilmente sobre el caudal entrante simplemente accionando una pequeña válvula, procediéndose al vaciado de la balsa y su posterior reparación. Esto es impensable en una presa situada en un

cauce natural donde como es bien sabido por todos los regantes valencianos, detrás de una riada puede venir otra peor.

4. Las presas requieren terrenos impermeables, y a pesar de todo, las filtraciones de agua son inevitables, lo que las hace más vulnerables que las balsas de tierra, que en su gran mayoría se encuentran totalmente impermeabilizadas, con materiales artificiales, tanto el dique como el vaso. Esta condición es especialmente favorable cuando la impermeabilización elegida son la geomembranas.

5. Las filtraciones en una presa, mientras no supongan un problema de seguridad de la obra no presentan mayor importancia, ya que los costes del agua son nulos. Por el contrario, en la mayoría de las balsas los volúmenes de agua aportados tienen un coste, en algunos casos importante, por lo que no puede existir ningún tipo de pérdidas por filtración.

6. Las presas de tierra se realizan en emplazamientos, que cumplan las características idóneas para tal fin, en cuanto a impermeabilidad del vaso, características del cimientto, etc. Se seleccionan los materiales con los cuales se construye el dique, aunque estos, tengan que obtenerse de zonas relativamente alejadas del lugar de la obra. En contraposición, en las balsas de tierra, el emplazamiento se elige en función de otros parámetros, que nada tienen que ver con las condiciones hidráulicas del vaso, como son; proximidad a la zona regable, exigencias de cota para el riego, etc. Además, se construyen con el material existente en el emplazamiento elegido, de tal forma que se excava el vaso y con dichos materiales se conforman los diques que cierran la balsa, es decir, se «construyen con lo que hay», lo que en la mayoría de los casos obliga a utilizar como impermeabilización las geomembranas, ya que otro tipo de impermeabilización, haría inviable la obra.

7. El buen comportamiento, nobleza y seguridad de las balsas de tierra, al tratarse de una obra joven, y en las que se han podido adoptar las modernas técnicas de construcción de obras de tierra en general, e hidráulicas en particular, queda demostrada con la existencia de más de 2.600 balsas construidas a lo largo de treinta años con una capacidad conjunta del orden de setenta y cinco hectómetros cúbicos, exclusivamente en la provincia de Alicante, según los estudios de seguimiento del comportamiento de balsas realizados por la Conselleria de Agricultura, sin tener constancia de la existencia de daños personales por algún tipo de rotura.

8. Las balsas de tierra han constituido y constituyen el pilar fundamental de la modernización de los regadíos. Esto ha sido posible, independientemente de su buen comportamiento como estructura, por su bajo coste de proyecto, ejecución y explotación.

9. El número de presas en España es del orden de 1.200, mientras que el número de balsas supera las 60.000.

Todo ello indica la necesidad de implantar una normativa nueva e independiente de las presas a las balsas, en el tema que nos ocupa, que aunque tome ideas y directrices de las presas, las simplifique y complemente para el uso específico que se requiere.

En los últimos años a raíz de algunos accidentes puntuales, y teniendo en cuenta que cada vez más, existen áreas pobladas en torno a las presas y balsas, existe una gran sensibilidad en la población respecto a la seguridad de las obras hidráulicas, recogiendo lógicamente esa sensibilidad las distintas administraciones públicas, de los diferentes países, siendo un claro exponente de esta preocupación EEUU, donde se están realizando numerosos esfuerzos en la revisión del estado actual de sus obras hidráulicas y de las consecuencias que se producirían frente a una potencial rotura.

De forma paralela, se están realizando esfuerzos en ese sentido en la administración central española, concretamente en el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.

6. NORMATIVA

La normativa existente en España se refiere casi exclusivamente a las presas, salvo lo incluido en la modificación del Reglamento del Dominio público hidráulico y la Instrucción de balsas mineras. La normativa de presas solo en algunos puntos resulta directamente aplicable a las balsas de riego, por ejemplo en la clasificación y en los mapas de inundación.

La modificación de Reglamento del Dominio Público prácticamente se limita a incluirlas. Sería por tanto conveniente que se redactase una normativa específica para balsas de riego.

A continuación se relaciona la normativa existente:

- ▶ Instrucción para el proyecto, construcción y explotación de grandes presas. (Orden de 31 de marzo de 1967, publicada en el BOE de 27 de octubre de 1967, núm. 257, p. 14.716).
- ▶ Directriz básica de planificación de protección civil ante el riesgo de inundaciones. (Resolución de 31 de enero de 1995, de la Secretaria de Estado de Interior, publicada en el BOE de 14 de febrero de 1995, núm. 38 p. 4846).
- ▶ Reglamento técnico sobre seguridad de presas y embalses (Orden de 12 de marzo de 1996, publicada en el BOE de 30 de marzo de 1996, núm. 78 p.12.244).

► Real decreto 9/2008, de 11 de enero por el que se modifica el Reglamento del Dominio público Hidráulico, aprobado por el Real Decreto 849/1986, de 11 de abril. Publicado en el BOE núm. 14, de 16 de enero de 2008.

► Instrucción técnica: Depósitos de lodos en procesos de industrias extractivas, para la actividad minera. (Orden de 26 de abril de 2000, BOE de 9 de mayo de 2000).

En esta *Guía* se presenta un protocolo de actuaciones ajustado a las particularidades y singularidades de las balsas de riego que estimamos que puede colaborar positivamente a la futura redacción de la mencionada normativa específica.

7 . LA SEGURIDAD EN LAS BALSAS DE TIERRA

7.1. Generalidades

La seguridad en las balsas de tierra viene asociada claramente y de forma prácticamente unívoca, a los criterios de proyecto, sobre todo de ciertos elementos críticos, y al control de esos elementos durante la ejecución. No obstante dada una balsa proyectada y ejecutada de forma segura, el mantenimiento de la seguridad a lo largo del tiempo, vendrá también condicionada por unas buenas normas de mantenimiento.

7.2. Estado de la situación actual en las balsas de riego y su explotación

Las balsas de tierra para riego en la Comunidad Valenciana, desde las primeras construidas a mediados de la década de los 60, hasta las más de 3.500 existentes, en la actualidad, con capacidades que oscilan, entre unos pocos miles de m³, hasta cantidades del orden del millón de metros cúbicos, en reglas generales presentan un comportamiento estructural satisfactorio, y por lo tanto razonablemente seguro. Este hecho no es casual, sino que se basa en:

1. Que las técnicas constructivas empleadas son razonablemente seguras. Esto no quiere decir, que no haya habido incidencias y accidentes leves, que han contribuido a entender mejor el comportamiento estructural de las mismas y por tanto a mejorar las técnicas constructivas. Por otra parte, la evolución hacia balsas más grandes ha obligado a adoptar medidas de seguridad complementarias.
2. Que los sistemas de explotación, ofrecen las garantías suficientes para que la seguridad se mantenga estable en el tiempo.

No obstante, parece razonable la realización de un esfuerzo complementario para que las Comunidades de Regantes adapten sus sistemas de explotación, a las tendencias no sólo nacionales sino internacionales en materia de seguridad en obras hidráulicas.

7.2.1. Visitas a las Comunidades de Regantes

Para la consecución de los fines pretendidos, se han realizado una serie de visitas a distintas Comunidades de Regantes, que se consideran representativas del conjunto, con la finalidad de conocer de cerca sus prácticas de explotación y mantenimiento. La colaboración ha sido excelente y el resultado muy constructivo. Las conclusiones obtenidas son:

1. Entre las labores del personal encargado de la explotación del riego, está la de visitar periódicamente las balsas, inspeccionando:
 - ▶ Filtraciones recogidas en los drenes.
 - ▶ Estado general del vaso.
 - ▶ Estado de la coronación.
 - ▶ Estado de los taludes.
 - ▶ Estado de los aliviaderos.
 - ▶ Estado de las conducciones en la medida de su accesibilidad.
2. Anualmente se revisa el estado de las geomembranas, procediéndose a las reparaciones puntuales.
3. En la mayoría de los casos se abren y cierran las llaves al menos una vez al año.
4. El seguimiento del envejecimiento de las geomembranas es en la gran mayoría de los casos visual.
5. No suele existir documentación escrita de dichas labores.
6. En materia de seguridad del propio personal, muchas veces realiza estas labores de vigilancia, una sola persona y sin ponerlo en conocimiento de nadie, por lo que cualquier caída al vaso podría tener consecuencias graves. Este es uno de los aspectos, en los cuales tras nuestra visita, el personal encargado tomó conciencia rápidamente tras advertirles de los posibles peligros que corría, estableciendo inmediatamente sus sistemas de seguridad.
7. No disponen de Mapas de Inundación, aunque en la mayoría de los casos son bastante evidentes los daños potenciales.
8. La receptibilidad por parte de las Comunidades, cuando les explicamos que sería interesante la constancia por escrito de sus observaciones, la toma de datos

meteorológicos, para poder correlacionar posibles filtraciones con la pluviometría anual, incluso el establecimiento de protocolos, en caso de incidencias, fue muy positiva.

La clasificación en función de los daños potenciales de la mayoría de las balsas visitadas es de manera obvia de categoría A, de acuerdo a la Normativa Básica de Protección Civil: Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo de Inundaciones:

«Categoría A: Corresponde a las presas cuya rotura o funcionamiento incorrecto puede afectar gravemente a núcleos urbanos o servicios esenciales, o producir daños materiales o medioambientales muy importantes».

Lo cual es prácticamente extensible a la mayoría de las balsas de la Comunidad Valenciana.

En lo que antecede se aprecia que si bien las balsas han estado y siguen estando tuteladas, esta tutela puede no ser suficiente en la actualidad en que la exigencia de seguridad es mayor, las balsas envejecen y las que hay en perspectiva son sustancialmente mayores. En este sentido es importante la receptividad mostrada por las Comunidades a la que esta *Guía*, trata de corresponder.

7.3. Causas de colapso en las balsas y sus remedios

No se tiene noticia de que ninguna balsa de la región haya colapsado por deslizamiento de sus taludes.

Una explicación ya se ha dado anteriormente por la participación de la cohesión hasta alturas del orden de los 20 metros y por estar los diques secos al disponer la impermeabilización en el paramento de aguas arriba.

Las ruinas se han producido como se verá posteriormente por tubificación seguida en algunos casos del colapso del dique. La tubificación se produce por erosión regresiva del dique en vías preferentes de circulación de las filtraciones ya sea en el dique o en el terreno.

En el dique, las vías preferentes pueden ser en su propia masa, debidas a su anárquica heterogeneidad o en el contacto de las conducciones que lo atraviesan. En el terreno, por el contacto con las conducciones enterradas o por disolución de yesos. Este último caso se debe a veces a la circulación de aguas exteriores no a filtraciones de la balsa pero que acaban produciendo asientos que llegan a romper la lámina. El remedio siempre es el mismo: retener la materia sólida arrastrada y anular la capacidad de arrastre del agua disminuyendo drásticamente su gradiente.

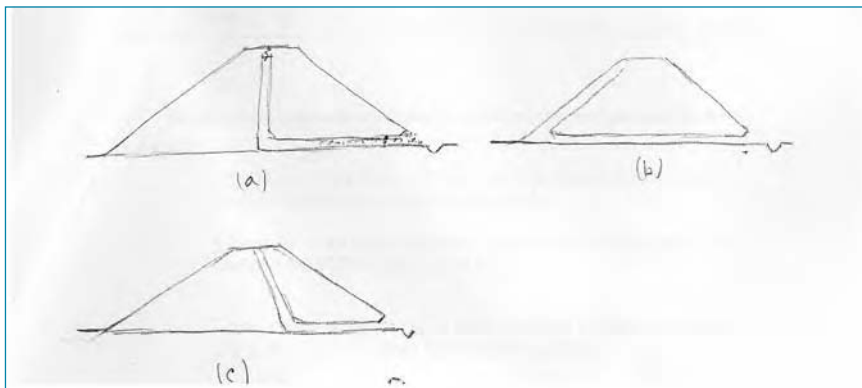
Las vías preferentes en el cuerpo del dique pueden estar en cualquier parte; por ello la protección eficaz es el dren chimenea (Figura 7.3.1.) que retiene los arrastres, baja la presión del agua que recoge hasta un nivel que la hace inofensiva y la conduce al exterior por una vía no erosionable.

El agua que aparece avisa de la avería pero la seguridad ya está a salvo: el dispositivo ha actuado como la válvula de seguridad de una caldera o de una simple olla a presión. En las balsas de nueva construcción este dispositivo debe instalarse sistemáticamente, al menos en las grandes. Su origen se debe a Terzagui y de él son las palabras:

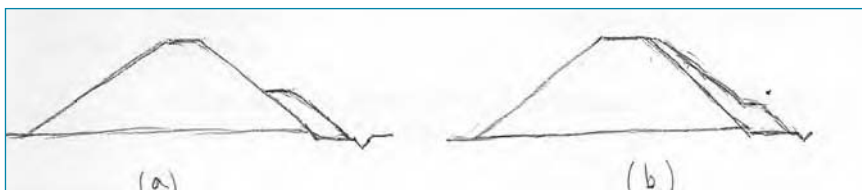
«el peligro de erosión en grietas a través de presas de tierra homogéneas puede eliminarse disponiendo en la presa un delgado núcleo vertical de material filtrante. En 1947 yo proyecte una presa equipada con dicho núcleo. La presa esta situada al oeste de Río de Janeiro. Tiene unos 110 pies de altura y está construida con arcilla laterítica residual».

Terzagui se refería a la presa de Vigario, posteriormente bautizada Presa de Terzagui, adyacente al Dique Vigario una de las seis presas de tierra brasileñas mencionadas en este «paper» (10º ICOLD, Montreal 1970, Q, 36-R36).

Pero la práctica totalidad de las balsas construidas carece de él y algunas lo necesitan. Por lo tanto si por sus dimensiones, su situación o haber presentado alguna humedad o filtración se considera conveniente instalarlo puede hacerse en la forma que se indica en la (Figura 7.3.2.), con lo que se asegura que no se producirá ninguna erosión regresiva.



◀ Figura 7.3.1.



◀ Figura 7.3.2.

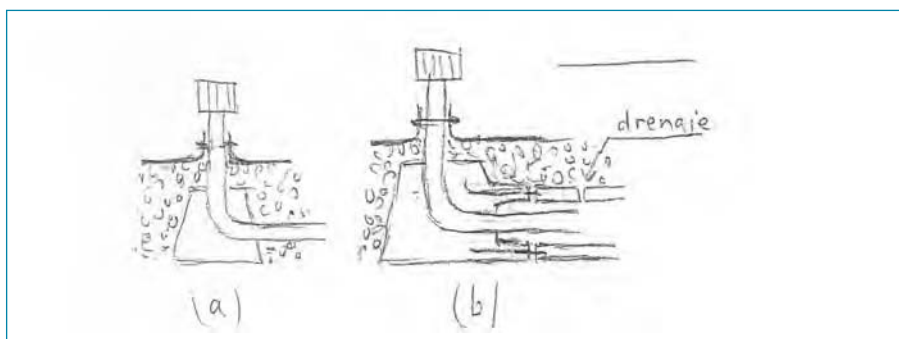
Más frecuente y más peligrosa es la tubificación a lo largo de conducciones que atraviesen el dique o el terreno. La compactación alrededor de ellas suele ser defectuosa por su dificultad. Muchas están hormigonadas lo que las protege de la oxidación pero con frecuencia no hay hormigón en la cara inferior.

Si están sobre roca no experimentan movimientos posteriores pero si están sobre terreno, la rigidez ocasionada por el hormigón puede ser perjudicial, pues los reajustes y asentamientos posteriores del terreno, pueden dar lugar a «zonas flojas» erosionables, y apoyos puntuales que originen flexiones que no sean resistidas y den lugar a fisuras o grietas. La embocadura es un «punto duro» que con frecuencia da lugar a la rotura de la lámina con lo que la avería se produce con evolución rápida. Se une a todo ello que están en presión al menos al dar servicio y la mayoría siempre, pues sólo disponen de válvula a la salida.

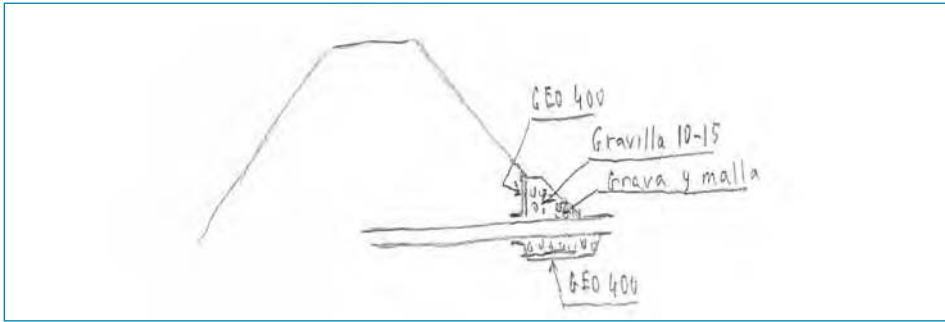
En balsas de nueva construcción y en alguna de las construidas, cuando sus dimensiones no justifican la disposición de una galería visitable la tubería de servicio se dispone dentro de otra de mayor diámetro con lo que se evita que en caso de fugas el agua en presión erosione el dique o el terreno; pero continúa viva la vía preferente que constituye la superficie de contacto entre la tubería seca y el terreno y el punto crítico del enlace de la lámina con la embocadura.

En obras nuevas la galería o el conducto se rodeará de una gravilla 10-15 y ésta a su vez de un geotextil 400 que la separe del material del dique, de modo que el agua con arrastres que llega a él, deposita los arrastres y es evacuada por la gravilla sin producir erosiones. En cuanto a la embocadura, se rodea de gravilla y a su vez de geotextil 400 con el doble objetivo de evitar el corte de la lámina al ser el asiento de la gravilla prácticamente nulo, y que si llegara a cortarse el agua circule por la gravilla hasta el exterior sin producir arrastres (consultar la *Guía de proyecto y construcción de balsas de tierra*).

En las obras construidas, al ser pequeñas puede aprovecharse un vaciado para mejorar la embocadura en lo relativo al corte de la lámina y si tienen tubería de protección drenar a ella la eventual filtración en la toma (Figura 7.3.3.). En cuanto a la conducción puede protegerse el final (Figura 7.3.4.) para que no se produzca erosión regresiva.



▲ Figura 7.3.3.



▲ Figura 7.3.4.

7.4. Patologías de las balsas de tierra

7.4.1. Introducción

Este apartado resulta fundamental para conocer la problemática real de las balsas de tierra, desde un punto de vista estructural, exponiéndose una serie de accidentes e incidencias de los cuales, una vez analizadas las causas, se extraen conclusiones para el proyecto y construcción. Pero también nos sirven para focalizar y discernir entre los puntos críticos y secundarios de inspección en las labores de vigilancia de la balsa. Se exponen a continuación los siguientes casos.

7.4.2. Diseño inadecuado de toma de fondo (1)

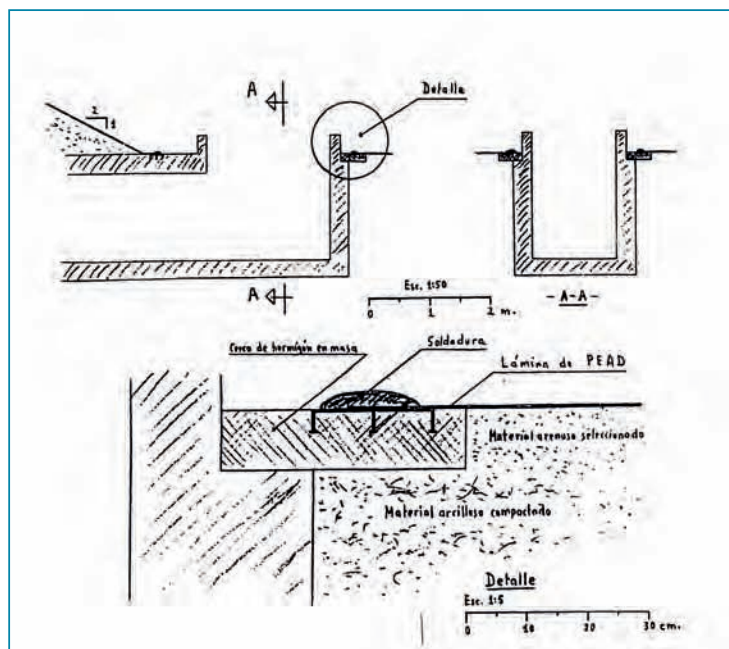
a) Antecedentes

A continuación se describe un caso que creemos que es del máximo interés, en el sentido que marca un punto de inflexión en el diseño de las conducciones que atraviesan el dique de las balsas, que se ha analizado en apartados anteriores. Se trata de una balsa de 30.000 m³ de capacidad y 6,50 m de altura de agua sobre el fondo, impermeabilizada con lámina de PEAD sobre geotextil de 200 gr/m².

En el fondo de la balsa se dispone un drenaje perimetral de PVC de junta abierta de 110 mm, alojada en una zanja rellena con grava y al que se da salida por dos colectores del mismo diámetro, dispuestos aproximadamente a 1,00 m del hastial derecho de la galería de alimentación y toma. El agua entra y sale en la balsa mediante un colector de hormigón armado de sección interior 1,40 x 1,40 m, que por debajo del terraplén enlaza la embocadura de toma y alimentación, situada en el fondo de la balsa, con la caseta de distribución dispuesta aguas abajo.

A esta galería, que está permanentemente en presión, confluyen 8 tuberías de 350 mm y una de 250 mm que conducen a la balsa el agua de los pozos. De la caseta de distribución parten dos tuberías, una de 1.000 mm y otra de 700 mm que envían el agua a la zona

Figura 7.4.2.1. ►
Detalle del enlace de la
lámina a la embocadura
de fábrica



regable. El enlace de la lámina de PEAD con el hormigón de la embocadura, se detalla en la figura 7.4.2.1. y puede apreciarse su debilidad frente a un asiento diferencial.

178

b) Anomalías observadas

La balsa empezó a llenarse el viernes 5 de marzo de 1994, y prosiguió sin novedad hasta el domingo 7, en que a las 18.00 h. empezó a salir un caudal moderado de agua limpia por los conductos de drenaje, faltando 1,00 m para el nivel máximo, existiendo 24.000 m³ embalsados y continuó así hasta el lunes 8 en que a las 8.00 h los drenes salieron llenos de agua sucia y al pie, junto al hastial izquierdo de la galería, rezumaba agua en sentido ascendente. El proceso se aceleró, se abrió un túnel y a las 11.30 h ya no quedaba agua en la balsa. No hubo daños personales.

c) Causas

El accidente se inició, con gran probabilidad, al abrirse una vía de agua junto al hormigón de la embocadura, por asiento diferencial y basculamiento de la base añadida y progresó, rápidamente, al no existir ninguna disposición que evitase el arrastre del material.

d) Soluciones constructivas

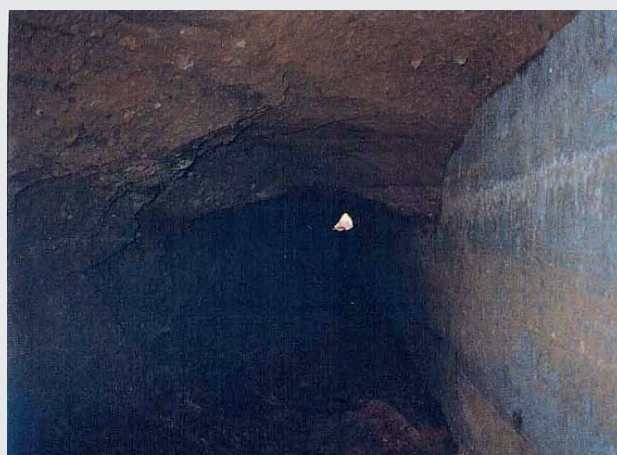
La galería se reconoció por el interior y no presentaba ninguna fisura. La reparación consistió en envolver dicha galería, así como la arqueta en un dren de gravilla separado



▲ *Figura 7.4.2.2.*
Vista del extremo de la tubificación desde el talud exterior.



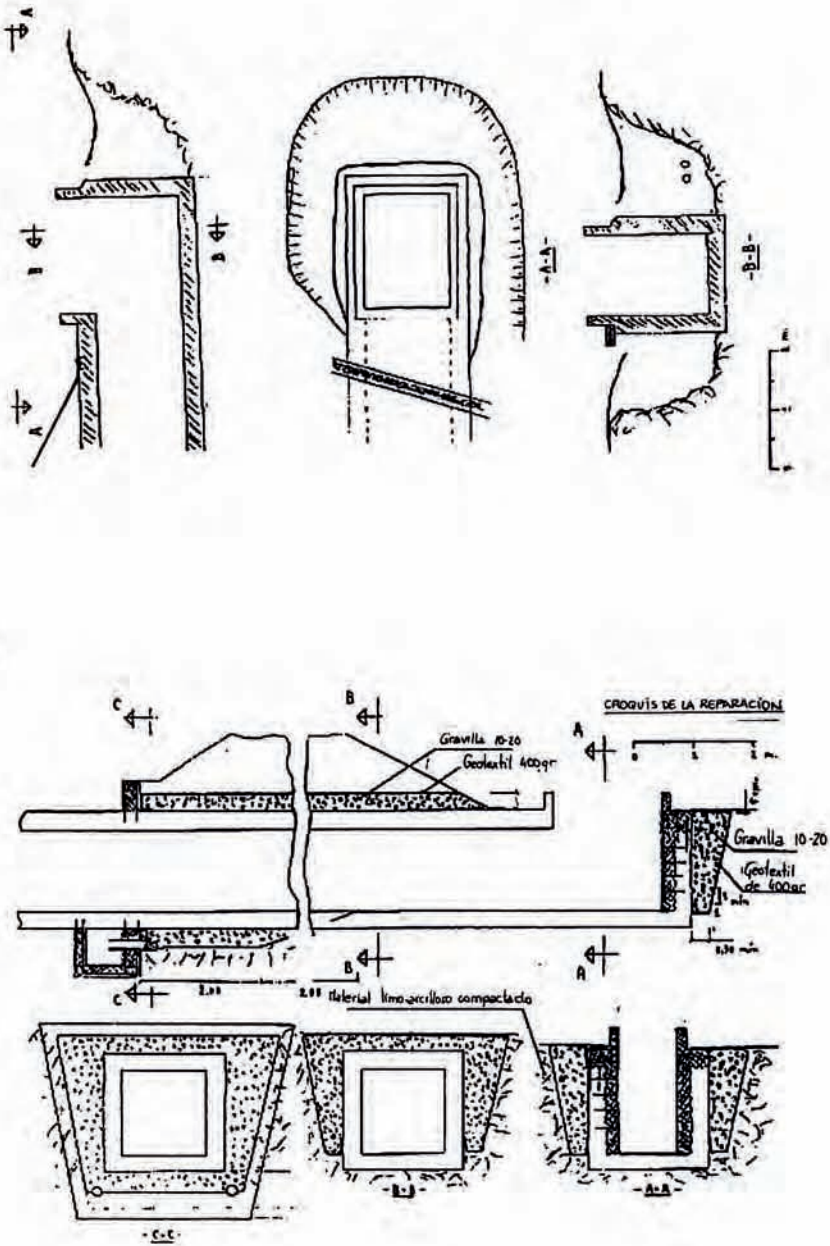
▲ *Figura 7.4.2.3.*
Detalle de la vía creada por el agua junto al paramento de la galería en presión.



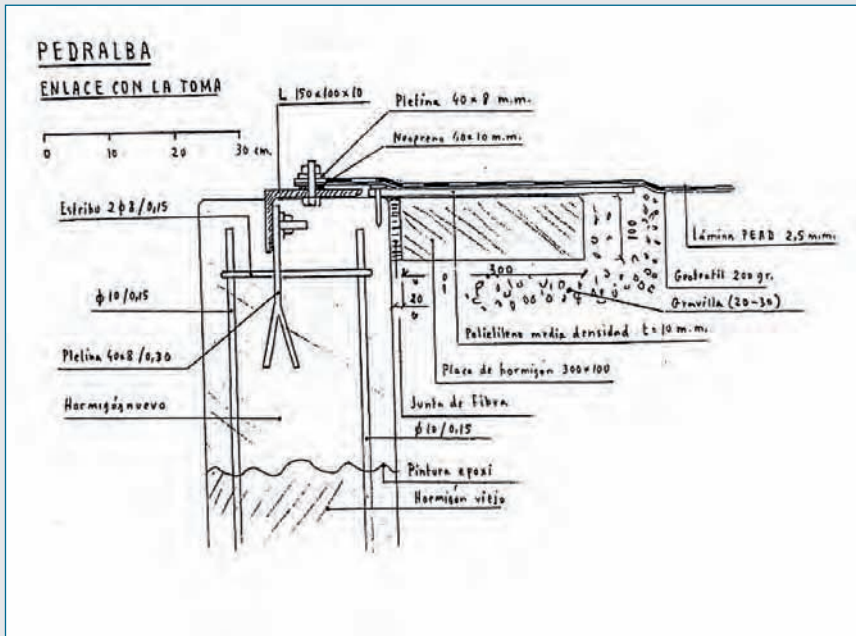
▲ *Figura 7.4.2.4.*
Detalle de la vía creada por el agua, junto al paramento de la galería en presión.



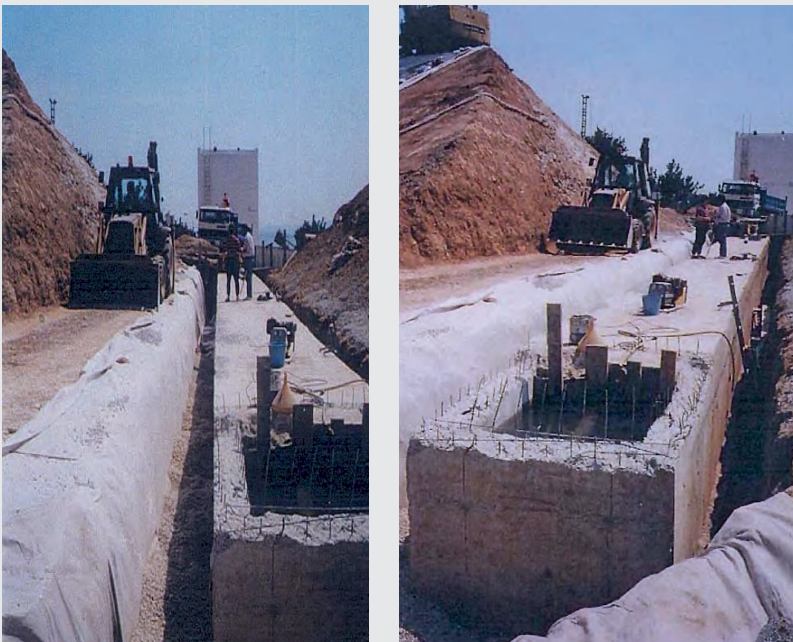
▲ *Figura 7.4.2.5.*
Detalle de la tubificación, junto a la arqueta de toma.



▲ Figura 7.4.2.6. Detalles de la reparación efectuada.



▲ Figura 7.4.2.7. Detalle de la unión de la geomembrana a la arqueta.



▲ Figura 7.4.2.8. Detalle de la reparación con la envoltura de gravillado la galería en presión de salida/entrada y la arqueta de toma.

del material arcilloso por un geotextil (Figuras 7.4.2.6., 7.4.2.7. y 7.4.2.8.), con lo que cualquier fuga, sea de la galería o del enlace de la lámina con la arqueta, tiene un camino franco controlado y no erosionable hacia el exterior. El comportamiento hasta la fecha de hoy ha sido correcto.

7.4.3. Diseño inadecuado de toma de fondo (2)

a) Antecedentes

Se trata de una balsa de 35.000 m³ de capacidad, con un talud interior 1V:4H y un talud exterior 1V:1,5H. El vaso se encuentra impermeabilizado con una geomembrana de polietileno de baja densidad, recubierta con una capa de material granular. La salida se realiza mediante tubería con juntas elásticas, instalada bajo el terraplén. A los pocos meses de su puesta en servicio, colapsa una parte del dique, en la zona coincidente con el desagüe de fondo, causando daños materiales en las parcelas situadas aguas abajo de la balsa.

b) Anomalías observadas

Se produce la rotura del dique en forma de brecha, abriéndose desde el talud interior hasta su salida por el talud exterior, sobre la zona por la que discurre el desagüe de fondo.

c) Causas

Debido a pérdidas en las uniones de la tubería de desagüe y en la unión entre la geomembrana y el desagüe, se produjeron unas filtraciones a través del dique, especialmente, en la zona de contacto entre la tubería de desagüe y el material del terraplén que la rodea.

En esta zona se forma una vía preferente que provoca el arrastre de los materiales del terraplén que rodean al conducto de salida. El proceso evoluciona rápidamente con el hundimiento del terraplén en esa zona, que a su vez desgarró la geomembrana, culminando con el colapso de la balsa.

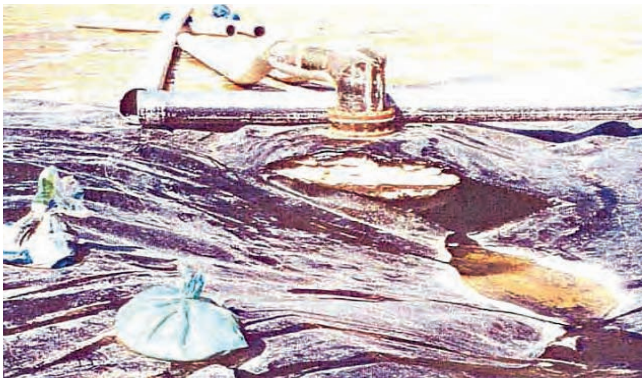


▲ Figura 7.4.3.1. Rotura del desagüe de fondo

7.4.4. Diseño inadecuado de toma de fondo (3)

Balsa de 400.000 m³ impermeabilizada con PEAD.

Por la mañana presentó una fuga por el conducto dentro del cual estaba la tubería de toma. Esta fuga aumentó rápidamente, arrastró material del dique y se produjo finalmente el colapso por la tarde.



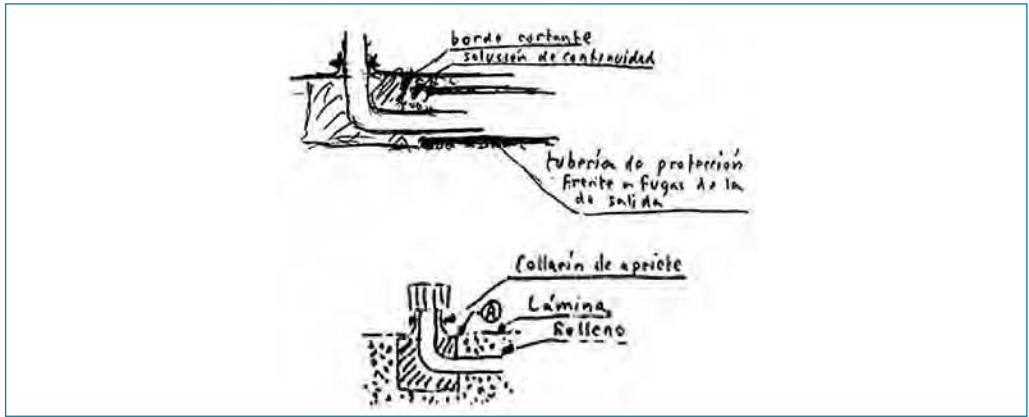
◀ *Figura 7.4.4.1.*
Vista del macizo que cortó la lámina



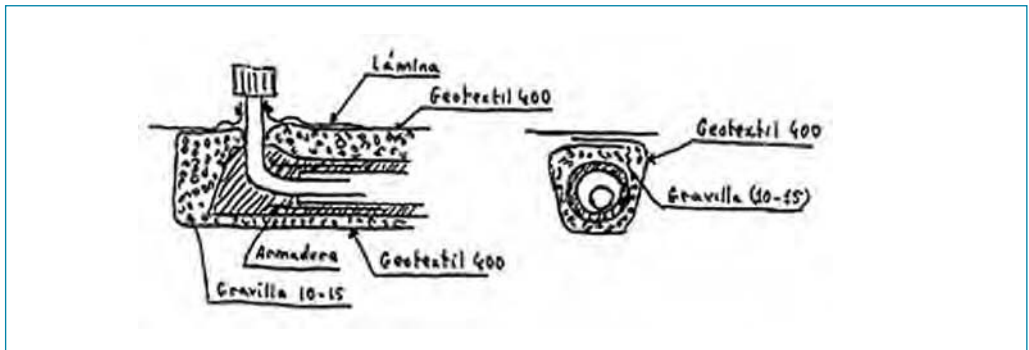
◀ *Figura 7.4.4.2*
Vista de la falta de protección peligrosa en la toma de fondo



◀ *Figura 7.4.4-3*
Vista de la brecha



▲ Figura 7.4.4.4. Croquis con la unión peligrosa en la toma de fondo situación de obra



▲ Figura 7.4.4.5. Solución mejorada, que evita el contacto hormigón-lámina con un dren envolvente de canalización de fugas, sin arrastre de partículas de suelo

7.4.5. Diseño inadecuado de toma de fondo (4)

En las siguiente fotografías se muestran dos casos de accidentes graves, asociados a las tomas de fondo.

Caso 1



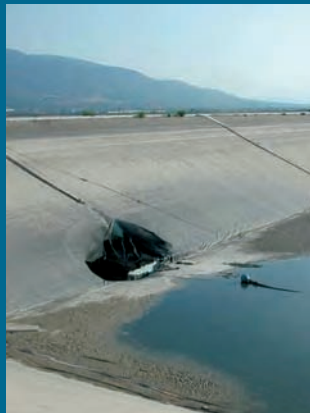
▲ Figura 7.4.5.1.
Tubificación en el desagüe de fondo con tubería de PEAD de 700 mm



▲ Figura 7.4.5.2.
Vista de la rotura anterior, desde el talud exterior



▲ Figura 7.4.5.3.
Vista de la rotura desde el talud interior



▲ Figura 7.4.5.4.
Vista de la rotura desde el talud interior

Caso 2



▲ *Figura 7.4.5.5.*
Vista desde el talud exterior. Tubificación en la zona del desagüe de fondo, con tubería de PEAD. Obsérvese en la parte izquierda, la nada recomendable práctica de emplazar la conducción de llenado por el terraplén y, en este caso, por la zona del desagüe de fondo



▲ *Figura 7.4.5.6.*
Vista de la rotura de la fotografía anterior, desde el talud interior

7.4.6. Diseño inadecuado de toma de fondo (5)

Balsa de Tolomó

Es una balsa de 120.000 m³ de capacidad con lámina de PVC, situada en el término municipal de Aspe (Alicante). Uno de sus taludes es en desmante y a él afluye una vaguada. Durante una lluvia torrencial el agua de la vaguada desbordó la cuneta y arrancó parte de la lámina de impermeabilización (Figuras 7.4.6.1. y 7.4.6.2.).

El agua penetró por la parte descubierta, por debajo de la geomembrana, a la conducción de salida y excavó un túnel aprovechando ese camino preferente (Figuras 7.4.6.3. y 7.4.6.4.).



▲ Figuras 7.4.6.1. y 7.4.6.2.

Vista de uno de los barrancos que afluye al embalse y de la rotura producida



▲ Figuras 7.4.6.3. y 7.4.6.4.

Vista de de la tubificación en la zona del desagüe de fondo desde el interior y el exterior

7.4.7. Grietas en un dique con impermeabilización asfáltica

a) Antecedentes

Se trata de una balsa con taludes interiores 1V:4H y exterior 1V:1,5H con una capacidad de 75.000,0 m³. impermeabilizada con pavimento asfáltico y construida en 1996.

La balsa, de planta sensiblemente rectangular, tiene tres lados en desmonte y un lado en terraplén.

El material del terraplén, en su mayoría margas, procede de la conformación del propio vaso.

b) Anomalías observadas

Después de varios años en funcionamiento, se detectan una serie de fugas, apareciendo grietas transversales en el terraplén, que van desde el talud interior al exterior, cortando la coronación, concentradas cerca de la zona del desagüe de fondo, y que obliga al vaciado rápido de la balsa, sin producirse ningún tipo de incidencias.

c) Causas

La existencia de alguna pequeña fuga, ya detectada en el drenaje, satura parte del talud, provocando unos asientos incompatibles con la rigidez del pavimento asfáltico, lo que conduce a nuevas fugas y mayores asientos en el terraplén que culmina con la aparición de numerosas grietas transversales.



▲Figura 7.4.7.1. Vista general



▲ *Figura 7.4.7.2. Detalle de las grietas transversales en coronación*

7.4.8. Tubificación en un dique con impermeabilización asfáltica

En las siguientes fotografías se observa la tubificación producida en una balsa de asfalto durante el primer llenado.

189



▲ *Figura 7.4.8.1. Vista por el talud interior*



▲ *Figura 7.4.8.2. Vista por el talud exterior*

7.4.9. Tubificación en yesos

a) Antecedentes

La balsa en cuestión tiene una capacidad aproximada de 70.000 m³, impermeabilizada con PVC. Funcionó adecuadamente durante 9 años. Está construida sobre terrenos del Triásico (facies Keuper), con gran proporción de yesos.

A mediados de mayo de 1990, se produjo una gran fuga al pie del talud, estimada en un caudal aproximado de 150 litros/s. La fuga se localiza en las cercanías de un barranco, encauzándose por su propio pie hacia el mismo, sin originar ningún tipo de daño. No obstante, se pusieron en funcionamiento los desagües de coronación, consistentes en una estación de bombeo con manguera armada, evacuando por la red de riego 60 litros/s; quedando totalmente vacía en unos 4 días.

Los antecedentes de roturas en esta balsa, ya se iniciaron con anterioridad. En 1978, se procede a la excavación del vaso en media ladera, y construcción del dique; los taludes interiores se ejecutan con pendiente 1V:4H y los exteriores con pendiente 1V:1,5H; se impermeabiliza con polietileno de baja densidad (PEBD), de 800 galgas de espesor, y se cubre con material granular.

A los pocos meses de la puesta en servicio de la balsa, se produce la ruina de la misma, de una forma similar a la ocurrida en 1990. En 1980, se procede a la reparación

de la balsa, que en la práctica, consiste en el saneamiento del vaso, refino de taludes y sustitución de la geomembrana de PEBD por otra de PVC de 1,0 mm de espesor.

b) Anomalías observadas

Grandes cavidades en el fondo, de forma semiesférica y semielipsoidal de dimensiones que oscilan entre 1,5 y 4,0 metros. En todas ellas, se observaba como la geomembrana había acompañado a la forma de la oquedad, deformándose enormemente, y llegando, en alguna de estas cavidades, a la rotura de la geomembrana. La salida del agua se produjo, fundamentalmente, por alguna de estas roturas.

c) Causas

Las causas de la ruina del embalse, independientemente de las condiciones de ejecución de la obra, tienen que ver con el mal comportamiento que presentan las tierras yesosas para la realización de este tipo de obra. El yeso es soluble en agua, por lo que debido a filtraciones de cualquier origen, bien procedentes de la balsa, y fundamentalmente, de corrientes naturales, produjo la paulatina disolución del mismo, provocando la formación de auténticos conductos subterráneos, de tal forma, que estas oquedades, llegaron a conectar con el fondo del embalse, obligando a la geomembrana a deformarse según la forma de la oquedad. La lámina se alargó notablemente, hasta alcanzar la tensión de rotura del material, momento en que se produce la evacuación del volumen acumulado, distribuyéndose el agua por los distintos conductos existentes en el subsuelo.



◀ *Figura 7.4.9.1.
Deformación de la
lámina de PVC en el
fondo del embalse sin
llegar a la rotura.*

En cuanto al comportamiento de la geomembrana de PVC, ha sido adecuado, produciéndose importantes deformaciones de la lámina antes de alcanzar la rotura, poniendo de manifiesto las bondades de las geomembranas frente a otras impermeabilizaciones rígidas como el hormigón, o semirígidas como la asfáltica.

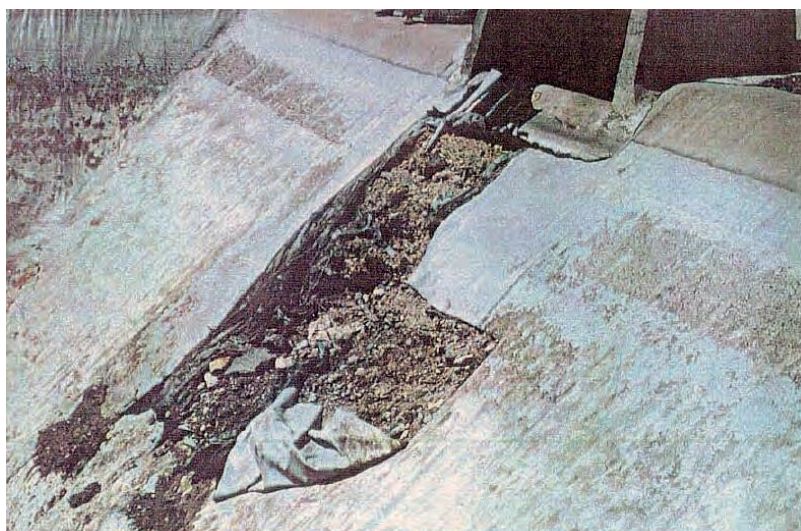
7.4.10. Desgarro de geomembrana por vertido directo inadecuado sobre lámina (1)

a) Antecedentes

La balsa en cuestión se construyó a finales de los años 80. Tenía una capacidad aproximada de 45.000 m³. Los taludes interiores se habían construido con una pendiente cercana al 1V:1H. El embalse estaba impermeabilizado con geomembrana de PVC. La entrada de agua se realizó por coronación, mediante arqueta de hormigón de planta cuadrada, con uno de sus paramentos alineado con la coronación del talud interior, rebajado a una cota algo menor que la propia de la coronación y formando un labio fijo de vertido directo sobre la lámina del talud interior.

b) Anomalías observadas

Se produce un desgarro de la geomembrana en la zona del talud bajo la arqueta de entrada de agua en la zona inicial por la que discurre la lámina de agua entrante sobre la geomembrana. Como consecuencia del desgarro producido, una zona de 6-8 m² queda sin geomembrana, produciéndose una fuerte erosión e incluso socavación en una zona localizada, con arrastre de los materiales que formaban el talud.



▲Figura 7.4.10.1.

Rotura de la lámina de PVC en vertido directo

c) Causas

El motivo del desgarro es el vertido directo del caudal entrante sobre la geomembrana sin tomar precauciones.

7.4.11. Desgarro de geomembrana por vertido directo inadecuado sobre lámina (2)

En la fotografía adjunta, se observan las consecuencias de un vertido directo inadecuado sobre lámina mediante tubería, que temporalmente se resuelve prolongando la longitud del tubo de tal forma que el chorro, se amortigüe contra la lámina de agua.



▲ *Figura 7.4.11.1.*

Rotura producida por vertido directo del chorro contra la geomembrana

7.4.12. Incorrecta colocación de la geomembrana

a) Antecedentes

Se trata de una balsa con una capacidad aproximada de 50.000 m³ y forma aproximadamente rectangular, que se sitúa en el extremo final de un pequeño barranco. Sólo uno de los lados constituye un dique de materiales sueltos, construido artificialmente, mientras que para los otros tres, se aprovecha la topografía del terreno de manera que sólo se acondicionan los taludes interiores para la colocación de la lámina impermeabilizante.

La balsa se impermeabiliza con una lámina de PVC de 1,0 mm de espesor, colocada sobre una capa granular de 10 cm. Dispone de una red perimetral de drenaje, para recoger las posibles filtraciones de agua debido a desperfectos de la lámina. Además, en la balsa se construyen los correspondientes órganos de recogida de aguas de escorrentía, y aliviaderos, que no afectan al estudio del tema.

b) Anomalías observadas

A los pocos meses de la entrada en servicio se observaron las siguientes anomalías:

- ▶ Asentamientos diferenciales en el dique de cierre construido artificialmente.
- ▶ Filtraciones a través de la red de drenaje, que alerta sobre la pérdida de estanqueidad del vaso.

Ante el progresivo aumento de las fugas, se decide el vaciado del embalse. Tras el vaciado del mismo, se procede a su inspección, observándose las siguientes imperfecciones en la geomembrana:

1. Numerosas incorrecciones en la ejecución de la soldadura, presentando zonas quemadas y zonas con uniones abiertas, que permitían fácilmente la introducción de objetos de hasta 10 cm.
2. Numerosos orificios en la lámina.
3. Numerosos «parches» en la lámina de diversas dimensiones.
4. Numerosas juntas entre láminas incorrectamente ejecutadas.

c) Causas

Las causas que originan las citadas incorrecciones en la ejecución de las soldaduras, es atribuible a la colocación de la lámina por operarios no especializados. Los orificios en la lámina tienen su origen en las siguientes causas:

- ▶ La distribución irregular de la capa de refino, que se ha de realizar uniformemente en toda la superficie interior del vaso, ya que en caso contrario, pueden quedar zonas con elementos gruesos sin recubrir en contacto directo con la geomembrana.
- ▶ Debido a la existencia de orificios por defectos de soldadura, u otras causas, pueden comenzar a producirse filtraciones que, a su vez, pueden provocar el lavado de la capa de refino, quedando los elementos gruesos en superficie, en contacto directo con la lámina impermeabilizante. En ambas situaciones, los elementos gruesos en contacto con la lámina, suelen presentar cantos angulosos y aristas

afiladas, que suelen actuar por punzonamiento, ocasionando cortes y fisuras en la geomembrana.

- ▶ Debido al impacto de objetos contra la geomembrana (esquinas de escaleras, elementos auxiliares de montaje, etc.)

Por otra parte, las filtraciones producidas por los numerosos orificios existentes en la geomembrana, junto a la ausencia de un control de la compactación del dique, provoca los asentamientos detectados en el mismo.

d) Soluciones constructivas

Los defectos anteriormente reseñados, se solucionan, evidentemente, reparando los orificios producidos en la geomembrana mediante parches o en su caso sustitución de paños enteros de lámina, previa reparación del paramento de apoyo, en los casos que se considere necesarios. En cualquier caso, los problemas anteriores se habrían evitado tomando las siguientes precauciones:

1. La instalación de la geomembrana debe realizarse por una empresa instaladora que posea amplia experiencia en la colocación, y naturalmente posea operarios especializados a tal fin.
2. Con una geomembrana colocada correctamente, no se hubiera dado el caso de filtraciones, posterior lavado de la capa de refino y asentamiento de la lámina, causas de los numerosos puntos de punzonamiento de la misma. Ello pone de manifiesto la necesidad de establecer un sistema de control e inspección durante el tiempo que duren los trabajos de impermeabilización.

De esta manera, en ningún caso puede darse por terminados los trabajos de impermeabilización, sin haber procedido a una inspección y comprobación de las láminas colocadas, tanto en sus uniones, como en los posibles puntos de punzonamiento.

3. Un control de la uniformidad de distribución de la capa de refino, reduce ampliamente el riesgo de punzonamiento, al evitar el contacto directo entre la geomembrana y los elementos gruesos potencialmente punzantes.
4. La colocación como capa intermedia, entre la geomembrana y la capa de refino, de un geotextil de características apropiadas, acolcha y reduce el contacto directo de elementos gruesos potencialmente punzantes con la geomembrana, reduciendo notablemente el riesgo de punzonamiento.
5. El asentamiento del dique se debe a una ausencia de control en la compactación, que impide alcanzar la densidad óptima en la construcción del terraplén, por lo que éste debe realizarse de modo riguroso, tanto su ejecución como el control de la misma.

7.4.13. Patologías relacionadas con el tipo y calidad de las geomembranas

En este apartado se refleja el comportamiento observado con distintos tipos y calidades de geomembrana.

Nos centramos exclusivamente en los materiales que parecen consolidarse, al menos en la Comunidad Valenciana a fecha de hoy (2008), que son el Polietileno de Alta Densidad (PEAD), el Policloruro de Vinilo (PVC) y el Etileno Propileno Dieno Monómero (EPDM).

PEAD: el comportamiento observado ha sido bueno en general, habiéndose observado esporádicamente roturas longitudinales junto a la soldadura, atribuibles en principio a mala regulación de las máquinas de unión.

Presenta un gran coeficiente de dilatación, lo que se traduce en la formación de grandes bolsas en la horas de mayor temperatura, pero instalado correctamente, no presenta ningún problema, incluso en balsas con capacidad del orden del millón de metros cúbicos y ligeramente superiores, y profundidades del orden de los veinte metros. Su uso esta actualmente muy extendido, siendo los espesores habituales de 1,5 mm para balsas pequeñas y de 2 mm para balsas medianas y grandes

PVC: el comportamiento observado ha sido desigual, existiendo balsas actualmente en servicio, con edades cercanas a los 20 años, y alguna que a los pocos años de su instalación, ha sido necesario sustituir toda la impermeabilización. La diferencia de comportamiento, parece explicarse fundamentalmente sobre la base de la formulación química.

EPDM: aunque en teoría es un gran material, en su aplicación a balsas, y con los espesores habituales de 1,5 mm, se han detectado una serie de problemas:

- ▶ Formación de pequeños orificios, sin aclararse su causa.
- ▶ Incompatibilidad química con los asfaltos.
- ▶ Sistemas de unión en obra.

7.4.14. Corrosión en la conducción de salida

a) Antecedentes

Se trata de una balsa de 190.000 m³, construida en el año 1989. Presenta taludes interiores 1V : 2,5H y exteriores 1V : 1,5H. La anchura de coronación es de 5,0 m y la profundidad interior 12,0 m. La salida de agua se realiza en «pico de flauta» mediante un tubo de hormigón armado de 1,50 m. de diámetro, a modo de conducción de protección, en cuyo interior se dispone la conducción de salida, consistente en una tubería de acero de 400 mm de diámetro y 4 mm de espesor. Se colocó una sola válvula de compuerta

en la arqueta de salida. Este embalse recoge, exclusivamente, aguas provenientes de las depuradoras de la ciudad de Alicante.

b) Anomalías observadas

A los nueve años de la puesta en servicio del embalse, un día, de manera repentina, comenzó a salir agua por la conducción de protección, inundándose rápidamente, puesto que la solera de dicha conducción se encuentra 1,50 m por debajo de la cota del terreno en la zona de la salida. Al no poder actuar de ninguna manera, se procedió a abrir una zanja junto a la arqueta de salida hasta un barranco próximo, para desaguar los caudales que salían de la conducción y que estaban inundando todo el pie del terraplén principal del embalse. Con la incertidumbre y preocupación de no saber de donde procedían los caudales, si de la propia tubería de salida o desde el interior del embalse por una rotura de la lámina junto a la toma. No pudo actuarse y finalmente se perdieron los 120.000 m³ de agua que contenía el embalse. Durante la fase final del proceso de vaciado del embalse, ya pudo advertirse varias circunstancias que indicaban que lo sucedido se debía a una rotura de la tubería de salida: el agua salía limpia, no se detectaban arrastres y muy próximo a la válvula de compuerta se notó un importante burbujeo que hacía pensar en que por allí se producía una salida de agua. Hay que señalar, como agravante de los posibles problemas, el hecho de que los terrenos, tanto del cimiento como de los terraplenes, contenían niveles altos de yesos.

c) Causas

Cuando se terminó el proceso de vaciado, se pudo comprobar inmediatamente que la causa del problema estaba en la rotura de la tubería de acero de la salida, en una zona muy próxima a la válvula de compuerta. La rotura se había producido en la parte superior de la tubería, formándose una especie de orificio de 5-6 cm de diámetro. La inspección de la tubería puso de manifiesto que sufría un fuerte proceso de oxidación, llegando a alcanzar, en algunos casos, tan sólo 2,0 mm de espesor.

La causa última que provocó la rotura de la tubería no se pudo determinar con exactitud, puesto que junto con los evidentes procesos de oxidación, pudieron intervenir otros factores como son las sobrepresiones originadas por bolsas de aire o por acumulación de otros gases en la conducción. Pese a ello, se establecieron una serie de causas que desencadenaron el grave problema originado, problema que podría haber provocado la ruina total de la obra si no hubiera existido la conducción de protección, donde se alojaba la conducción de salida.

- ▶ Existencia de una sola válvula en la conducción
- ▶ Espesor de la tubería de acero insuficiente frente a la corrosión.

- ▶ Inexistencia de protecciones en los materiales a emplear como consecuencia del manejo de aguas potencialmente agresivas.
- ▶ Inexistencia de red de drenaje del vaso, en una zona de terrenos con alto contenido en yesos.
- ▶ Inexistencia de drenaje previsto para la evacuación de los caudales de la conducción de protección, cuando ésta se dispone por debajo de la cota del terreno.

d) Soluciones constructivas

La solución consistió en dos tipos de actuaciones:

En primer lugar reparar la tubería de salida. Para ello, dado el mal estado de la tubería original se decidió colocar un tubo de acero de mayor espesor (6,0 mm) alojado en su interior, con un diámetro de 300 mm, por tanto, en la actualidad se dispone de la conducción de salida en diámetro 300 mm en el interior de la conducción original de 400 mm.

En segundo lugar, para evitar el vaciado del embalse por una nueva rotura, se colocó una nueva válvula de corte. Los graves problemas para poder instalar en el extremo interior de la doble conducción una válvula de compuerta, junto con la inseguridad que su ubicación proporcionaba para su manejo en el caso de incidencias como la que ya había sucedido, determinó la colocación de una compuerta manual en la toma por la parte interior del embalse, accionada mediante un largo eje metálico apoyado sobre el talud interior y maniobrado desde el camino de coronación.

Este sistema, algo rudimentario, ha demostrado ser suficientemente efectivo, pues si bien su estanqueidad no es perfecta, permite actuar sin riesgo alguno para el cierre de la salida de embalse ante una emergencia por problemas aguas arriba de la válvula de compuerta situada en la caseta de válvulas.



▲ *Figura 7.4.14.1.*
Situación actual de la conducción de 300 mm en el interior de la de 400 mm



▲ *Figura 7.4.14.2.*
Extremo del eje de maniobra de la compuerta interior colocada después del incidente

7.4.15. Otros casos de corrosión

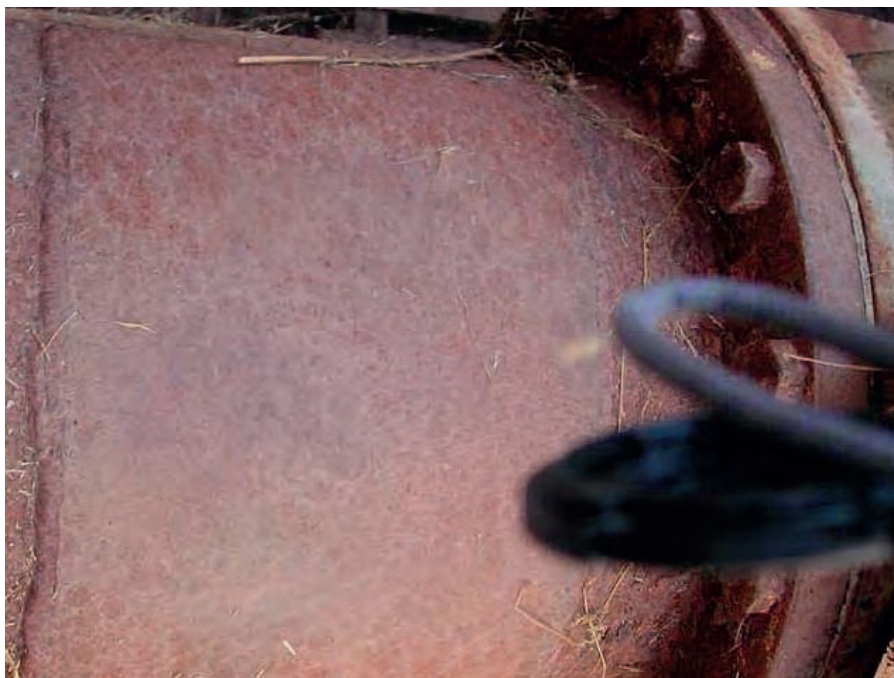
A continuación se presentan dos casos de corrosión.

CASO 1

Este caso viene asociado a un espesor de 4 mm y a los pocos años de su puesta en servicio. Queremos destacar que con espesores superiores a 8 mm, no se han detectado patologías graves de corrosión en las conducciones



▲ *Figura 7.4.15.1.*
Casquete de tubería de 4 mm. de espesor, extraído de la rotura por oxidación de la conducción de salida



▲ **Figura 7.4.15.2.**

Reparación efectuada del caso de la figura anterior, simplemente mediante la colocación de un nuevo casquete, lo que hace sospechar que en poco tiempo se producirá una nueva rotura en la conducción de salida

201

CASO 2

El caso que se presenta a continuación es para una balsa con una edad cercana a los 15 años, y en una arqueta con mala ventilación, donde aparte de los síntomas evidentes de la corrosión, la misma no ha supuesto ningún tipo de incidencia.

Por otra parte, en este caso concreto y habida cuenta de que la geomembrana había llegado al límite, se procedió a la rehabilitación total de la balsa, incluidas las conducciones de las tomas.



▲ *Figura 7.4.15.3*
Fuerte oxidación en conducciones de salida de acero con edades del orden de 15 años

A pesar de la problemática expuesta en las conducciones de acero, consideramos que tomando las precauciones adecuadas (espesores del orden de los 10 mm, galvanizado de la conducción, o mejor aún utilizar acero inoxidable), es la solución mas fiable y segura para las tomas de fondo, tanto para la obras nuevas, como en las rehabilitaciones. La utilización de otros materiales resistentes a la oxidación, pueden plantear otros problemas de mayor gravedad, como pueden ser:

- ▶ El alto coeficiente de dilatación térmica, en materiales como el PEAD soldado, que hace que las uniones tanto en las tomas de fondo, como con las válvulas de corte, ofrezcan especial peligrosidad.
- ▶ La existencia de juntas en otros materiales, constituyen puntos delicados.

7.4.16. Otros fallos en las conducciones

7.4.16.1. Fallo en las uniones

a) Antecedentes

Se trata de un embalse de 76.000 m³ de capacidad, construido en el año 1997. Los taludes interiores presentan una pendiente 1V:2,5H y los exteriores 1V:1,5H. La impermeabilización se realizó mediante lámina de PEAD de 2,0 mm de espesor, colocada sobre un geotextil de poliéster, no tejido, de 200 gr/m². La anchura de coronación era de 5,0 m, la profundidad interior eran 8,0 m y la altura máxima de terraplén eran 15,50 m en la zona de la salida. La salida se construyó del tipo de tubería con juntas elásticas enterrada en el terraplén, mediante tubería de fundición dúctil de 600 mm de diámetro y tubos de 6,0 m de longitud.

Así mismo, la tubería funcionaba de modo reversible, sirviendo también como tubería de entrada, proveniente de una impulsión. Debido a la topografía de la zona de la salida, y a su carácter rocoso, se decidió realizar la unión del conducto de salida con la caseta de válvulas, mediante un tramo aéreo, en tubería de acero. Constaba este tramo de las siguientes partes :

- ▶ Parte inicial, que continuaba la alineación y la pendiente del tubo de salida (1% -2%) en una longitud de unos 10,0 m, elevándose cada vez más sobre la cota del terreno natural, al tener éste una pendiente natural mucho mayor.
- ▶ Parte central, formada por un codo de 90º, con empuje al vacío.
- ▶ Parte final formada por un tramo recto vertical, que descendía hasta la cota del terreno, junto a la caseta de válvulas, entrando bajo zanja enterrada en el interior de la caseta.

Todas las válvulas se disponían en la caseta de válvulas, no existiendo ninguna en el tramo aéreo desde el terraplén hasta la caseta de válvulas. Las uniones de los tramos de

acero y de éstos con la tubería de fundición se realizaron mediante carretes similares a las uniones Gibault, por lo que la tubería no disponía de juntas de tracción.

b) Anomalías observadas

A los dos años de la puesta en servicio, un día se produjo una fuga importante en el tramo aéreo de la tubería de salida. Al no existir ninguna válvula de corte, aguas arriba de esta zona, no fue posible realizar ninguna actuación, por lo que se perdieron los 65.000 m³ de agua que contenía el embalse en ese momento. La proximidad de la autovía A-7 a escasos 50 m del punto de la rotura, junto a la altura que alcanzaba el chorro de agua al salir, obligó a realizar unos trabajos urgentes de defensa de los terraplenes de la autovía, mediante motas de tierra, para desviar las aguas a un cauce cercano.

Al finalizar la salida de agua, se pudo apreciar como la fuga se había originado por un desplazamiento del carrete de unión del codo con el tramo horizontal, quedando desencajados.

c) Causas

Es evidente, que el motivo del desplazamiento del carrete de unión, son los esfuerzos mecánicos a los que está sometido, como consecuencia de la disposición del codo con empujes al vacío. Por otra parte, el haber funcionado durante los dos primeros años sin problemas, hace pensar que debió existir algún motivo que produjo que esos empujes aumentaran de manera significativa. Puesto que los empujes en el codo dependen, básicamente, del diámetro, del ángulo que forma el codo y de la presión del agua que circula, la única variable es la presión en la conducción. Esta presión sufrió incrementos como consecuencia de maniobras inapropiadas en las válvulas, incidencia frecuente en los embalses con tubería de salida reversible y entrada mediante impulsión.

d) Soluciones constructivas

La solución a este problema se estableció a dos niveles:

- ▶ Modificación de las uniones, los anclajes y la geometría del tramo aéreo.
- ▶ Comprobación de la estanqueidad del tubo de salida bajo el terraplén.

En el primer caso, se modificó el tramo aéreo de salida, disponiéndolo como una sola pieza con las uniones soldadas. Se sustituyó el codo de 90° por un codo de 45°, llevando la tubería más cercana a la cota del terreno y se realizaron unos importantes anclajes de hormigón armado en el entronque con la tubería de fundición, en el codo de 45° y en la entrada al terreno natural, junto a la caseta de válvulas. En el segundo caso, se tuvo la precaución de probar la tubería de fundición, para asegurar que el incidente originado no había tenido consecuencias sobre las uniones elásticas de esta tubería.

7.4.16.2. Rotura de la conducción

En el presente caso se produjo la rotura por flexión en las conducciones de fibrocemento, a los pocos días de la puesta en carga de la balsa, en un tramo de las conducciones de salida, exterior al dique, aguas abajo de las válvulas de corte situadas al pie del talud exterior, en un tramo que discurría coincidente con el pie del mismo.

El personal de vigilancia detectó la fuga, cerrando las llaves de corte sin producirse incidencia alguna.

Estos accidentes evidencian las graves consecuencias de la, afortunadamente ya casi extinguida, peligrosa práctica, de enterrar la conducción directamente bajo el dique, sin galería visitable o al menos una tubería de protección de la conducción.



▲ *Figura 7.4.16.1.*
Vista de la rotura por flexión en las conducciones de salida de fibrocemento

7.4.17. Deslizamiento superficial del talud exterior (1)

a) Antecedentes

Se trata de una balsa correctamente ejecutada, contando con un intenso control de las compactaciones. El talud exterior del embalse se construyó con una pendiente 1V:1,5H . Los técnicos encargados de la dirección de obra deciden no refinar el talud exterior y, por lo tanto, no eliminar los últimos 60 cm de tierras del dique que quedan sin compactar. En su lugar, se propuso mezclarlas con tierra vegetal para crear un sustrato que favoreciera el rápido crecimiento de una siembra controlada a base de alfalfa, gramíneas y leguminosas, que, por una parte estabilizara superficialmente el talud exterior, protegiéndolo de la erosión del agua de lluvia, y por otra, disminuyera el impacto ambiental provocado por una superficie estéril.

b) Anomalías observadas

Seis meses después de terminadas las obras, sucedieron varios días de lluvias intensas, produciéndose en algunos tramos del talud exterior un deslizamiento superficial de una potencia que oscilaba entre los 30 y 60 cm de la capa externa del talud y de escasa importancia.



▲ *Figura 7.4.17.1.*
Zona de afección del deslizamiento superficial

c) Causas

Las causas de este tipo de deslizamiento parecen evidentes, tras lo señalado en los antecedentes de este caso. Al saturarse la capa exterior sin compactar, y teniendo en cuenta la elevada pendiente del talud, ésta desliza sobre la capa del terraplén compactada.

d) Soluciones constructivas

En este caso, las soluciones pasan por dos alternativas:

1. Refinar el talud exterior, retirando toda la capa exterior que queda sin compactar.
2. No refinar el talud dejando un sustrato esponjoso sin compactar.

Si se opta por la primera solución, es evidente que desaparece el peligro de deslizamiento de la capa exterior sin compactar. Ahora bien, la posibilidad de siembra en esta superficie compactada y de gran dureza para el desarrollo radicular de cualquier especie, se dificulta y se alarga notablemente en el tiempo.

Si se opta por la segunda solución, en muy poco tiempo y con una siembra apropiada, todo el talud exterior quedará cubierto con una superficie vegetal que disminuirá la erosión del agua de lluvia y mejorará notablemente, el aspecto de la obra desde un punto de vista paisajístico y medioambiental. En contrapartida, se corre el riesgo de deslizamiento superficial, si antes de estar fijada la capa superficial se producen unas lluvias intensas.

7.4.18. Deslizamiento superficial del talud exterior (2)

En esta fotografía se muestra el deslizamiento superficial ocurrido tras unas lluvias.



◀ *Figura 7.4.18.1.
Deslizamiento superficial de
la capa externa del terraplén
tras lluvias intensas*

7.4.19. Deslizamiento en el talud interior durante la construcción

a) Antecedentes

Se trata de una balsa de 640.000 m³, construida en el año 1.998. La balsa se estaba construyendo en unos terrenos con un alto contenido en yeso, presentaba unos taludes interiores 1V:3H y los taludes exteriores 1V:2H, encontrándose los mismos en la fase de refino, habiéndose terminado ya la fase de construcción de los terraplenes. El embalse, de planta aproximadamente pentagonal, disponía de uno de sus diques laterales completamente excavado en el desmonte, con una profundidad interior de 11,0 m. Al otro lado del camino de coronación, continuaba la ladera con una pendiente suave, hasta unos cerros próximos donde unos riscos de roca yesífera, remataban las máximas alturas de esa zona. Una semana después de haber sufrido varios días de lluvia, cuando la obra se ejecutaba con normalidad, se detectó la presencia de humedad a media altura del talud interior en desmonte. Inicialmente presentaba una forma lineal, con muy poco espesor y unos 4-5 m. de longitud. Al día siguiente, la mancha de humedad había evolucionado hacia una forma elíptica, con una dimensión máxima de 6-7 m. Al otro día, la mancha presentaba una forma aproximadamente circular, de unos 8,0 m de diámetro y se podía detectar la presencia de agua, que, formando pequeños «hilillos», discurría por el talud, hasta formar un pequeño charco en el fondo del embalse.

b) Anomalías observadas

A los pocos días de la aparición de la mancha de humedad sobre el talud interior de desmonte, se produjo un deslizamiento en dicha zona, desplazándose los materiales hasta el pie del talud. El deslizamiento se produjo mediante una superficie de rotura circular, sin llegar hasta el pie del talud excavado en el desmonte. Los materiales del deslizamiento presentaban un alto contenido en humedad y una consistencia entre plástica y fluida, formados por margas y arcillas yesíferas, materiales predominantes en la zona.

c) Causas

El deslizamiento ocurrido en el talud de desmonte tiene su origen en el afloramiento de agua que, de forma esporádica, cortó la excavación de dicho talud. Estos afloramientos obedecen al régimen de circulación subsuperficial, característicos de los terrenos yesíferos del Trías, en los cuales el agua, tras la lluvia, circula a través de contactos entre diferentes materiales, caminos preferenciales por disolución de los yesos y, en general, en la transición entre los materiales yesíferos descompuestos (margas arcillosas y arcillas versicolores) y la roca madre de yeso.

Una vez humedecido el talud, al cortar una vía de circulación subsuperficial de las escorrentías, el proceso de deslizamiento es el clásico de rotura circular, movilizado por el aumento de peso del material saturado y la práctica anulación del valor de la cohesión.

d) Soluciones constructivas

Las solución constructiva se desarrolló siguiendo las siguientes fases :

- ▶ Retirada y limpieza de los materiales deslizados.
- ▶ Perfilado y recomposición de los taludes afectados por la zona de deslizamiento.
- ▶ Colocación de un geotextil apoyado sobre la superficie de deslizamiento, perfilada.
- ▶ Construcción de un espaldón de pedraplén, con piedra de tamaño comprendido entre 10 y 50 cm, apoyado sobre el geotextil.
- ▶ Colocación de una capa de hormigón poroso de 15 cm de espesor sobre el espaldón de pedraplén, cuya cara superior coincida con el plano del talud interior del embalse. Se considera hormigón poroso, aquel hormigón que en su dosificación no interviene la fracción arena.
- ▶ Construcción de un pie de hormigón poroso con cemento resistente a los sulfatos, en la zanja de drenaje perimetral interior del embalse, a modo de plinto para apoyo de la capa de hormigón. Este pie de hormigón, tiene una doble función, mecánica, para mejorar la estabilidad de la pantalla de hormigón y, sobre todo, de drenaje, al permitir recoger y trasladar las posibles filtraciones en el hormigón poroso hasta el dren, al pie del talud. El tubo de drenaje perimetral se conserva a través del pie de hormigón poroso.

7.4.20. Asientos en un dique de arcillas

a) Antecedentes

Se trata de una balsa de 95.000 m³ de capacidad, construida en el año 1.984. Los taludes interiores presentan una pendiente 1V : 2,5H y los exteriores 1V : 1,5H. La anchura del camino de coronación es de 4,0 m y la profundidad máxima es de 10,0 m. La altura máxima de desmonte es de 3,0 m y la máxima altura de terraplén 15,5 m. El sistema de impermeabilización consiste en una geomembrana de PVC colocada directamente sobre el talud interior y anclada en coronación mediante zanja enterrada, sobre la que se dispone una acera de hormigón de 80 cm de ancho y 20 cm. de espesor. Sobre ella se levanta un murete de bloques de hormigón de 50 cm de altura, con un «babero» de lámina de PVC por su parte interna, anclado a la coronación del muro y soldado por la parte inferior a la propia geomembrana del embalse.

El embalse es de planta trapezoidal alargada, con sus dos lados principales, uno todo en desmonte y el otro todo en terraplén. Los dos lados menores se encuentran en la transición de desmonte a terraplén. El menor de ellos, presenta una longitud en coronación de 35 m y se encuentra apoyado entre dos zonas de desmonte en ambos extremos de este lado, quedando, por tanto, una zona central de poca longitud en terraplén, pero de altura

considerable (11,0 m), donde se ubica la conducción de salida, en acero, de 400 mm. de diámetro, directamente sobre el terraplén.

El embalse se sitúa sobre unos terrenos fuertemente arcillosos, con cierto grado de expansividad. La problemática que presenta este tipo de terrenos, ya se pusieron de manifiesto durante la construcción, al fallecer un operario en la zanja de la tubería de salida, como consecuencia de un corrimiento de tierras. Una vez entrado en servicio el embalse, empezaron a detectarse grietas sobre la coronación del terraplén, asientos en el camino de coronación y pequeñas deformaciones de la geometría de los taludes.

b) Anomalías observadas

Después de varios años de servicio, tras un período continuado de fuertes lluvias, los terraplenes sufrieron importantes deformaciones, especialmente el lateral más corto, donde se encontraba la salida. Además de apreciarse grietas bastante desarrolladas, en general, paralelas a la línea de coronación, destacaba las importantes roturas que sufría el murete de bloques de la coronación, y la acera de hormigón sobre la que se apoyaba.

La ausencia de red de drenaje impedía saber sobre la existencia de fugas por rotura de la lámina, aunque en el muro de hormigón, que recogía la tubería de salida del embalse al pie del terraplén, se apreció humedad, siendo difícil determinar si procedía del propio embalse, de la tubería de salida o de la propia humedad del terraplén, consecuencia de las últimas lluvias. Ante el estado que presentaba el embalse, se decidió vaciarlo y proceder a una inspección más rigurosa antes de determinar las reparaciones a efectuar.

Una vez vaciado el embalse, las inspecciones realizadas pusieron de manifiesto importantes deformaciones en los taludes interiores, que provocaban tensiones localizadas en algunas zonas de la geomembrana, con posibles fallos puntuales en las soldaduras de unión entre geomembranas y alguna rotura como consecuencia de la caída hacia el interior de algunos bloques de hormigón.

c) Causas

La causa de los problemas detectados obedece principalmente a las características de los terrenos en los que se ubica la balsa. Los materiales muy arcillosos, debido a su plasticidad son deformables, especialmente al variar su contenido de humedad. Estas deformaciones afectan tanto al cimiento, como a los terraplenes y provocan la aparición de grietas y asientos. Por otro lado, años después de su construcción, con motivo de la campaña de estudios geotécnicos realizados en balsas, se determinó el carácter expansivo de estas arcillas, con lo cual se encuentra una explicación más completa a las deformaciones existentes. Las roturas del murete de coronación y de la propia losa de apoyo, se explican como consecuencia de los asientos que el terraplén ha sufrido, al ser incapaz el hormigón, de seguir las deformaciones de su base de apoyo.

Sin embargo, quedaba por explicar el hecho llamativo, de que la mayoría de los problemas se concentraran en uno de los laterales del embalse, cuando los materiales eran los mismos e incluso, los terraplenes presentaban mayor altura. La explicación a este hecho estriba en que el terraplén más problemático se encuentra limitado entre dos puntos rígidos, que son las dos zonas de desmonte o puntos altos entre los que se construyó este terraplén.

Este fenómeno, bastante estudiado en las presas de materiales sueltos, entre laderas escarpadas, se debe a que en las zonas próximas a una ladera con mucha pendiente, los puntos que están relativamente cerca de la ladera, quedan bastante altos con respecto al cimiento de su vertical, y por tanto, experimentaran asientos intensos.

En cambio, el material inmediato a la ladera quedará unido a ella por las irregularidades del contacto. Resultan, como consecuencia, tensiones tangenciales fuertes y podrán producirse grietas de cizallamiento. Estas grietas transversales se han detectado en algunas ocasiones en este terraplén, aunque no de manera importante. En cualquier caso, es evidente que la limitación de las deformaciones de los materiales plásticos, introducen tensiones en el mismo y reajustes en el terraplén.

d) Soluciones constructivas

En este caso, las soluciones constructivas han consistido en la reparación de los daños detectados (reposición de la geomembrana en algunos puntos, reconstrucción del murete y refuerzo de la losa de apoyo). Por otro lado, se han corregido los asientos mediante aportación de material de préstamo, para recuperar la geometría original de la balsa.

Estas reparaciones se han venido realizando en varias ocasiones, desde su puesta en servicio. La balsa sigue presentando en la actualidad problemas de asientos observables a simple vista, aunque bastante menores que los iniciales y se ha detectado en algunas ocasiones humedades junto a la conducción de salida, pero se mantiene en servicio.

Las reparaciones efectuadas han permitido mantener la balsa en funcionamiento, pero evidentemente no son soluciones definitivas que corrijan los problemas de fondo y establezcan mayores niveles de seguridad. La ineludible necesidad de la misma para el riego de un sector de la comunidad de regantes, y los elevados costes económicos que las modificaciones necesarias para su correcto funcionamiento suponen, obligan a la entidad explotadora a mantenerla en servicio, a pesar de las dudas e incertidumbres que su explotación genera en la propia entidad.



▲ *Figura 7.4.20.1.*

Terraplén entre un núcleo rígido alto, junto a los pinos y otro núcleo rígido alto a la derecha de la fotografía

7.4.21. Asientos en diques

En este apartado se presenta una serie de incidencias en taludes de naturaleza arcillosa, con algunos movimientos que evidencian las vallas de coronación, y el pavimento de la coronación, pero que no afectan en modo alguno a la estanqueidad de la balsa, debido a la gran deformabilidad de las geomembranas.

212



▲ *Figura 7.4.21.1.*

Desalineación de la valla de cierre por asientos y desplazamientos en el terraplén



◀ **Figura 7.4.21.2.**
Grieta surgida entre el zuncho de anclaje de la lámina y un pavimento de hormigón en coronación

7.4.22. Descuelgue de lastres de hormigón

En este apartado se presentan algunas incidencias, debido a la incorrecta sujeción de los lastres de hormigón, en unos casos, y a la corrosión de los elementos de articulación de lastres en otros. Es de destacar que esta incidencia en según que casos puede ser el origen de patologías de mayores consecuencias, ya que el deslizamiento de los bloques de hormigón, puede producir, y de hecho así se ha confirmado en algún caso, la rotura y desgarro de la geomembrana., desaconsejándose, esta solución en general, y optando por soluciones mediante bolsas de geosintético rellenas con gravas.



◀ **Figura 7.4.22.1.**
Grieta por desplazamiento hacia el interior del vaso del lastre antisucción eólica, por anclaje deficiente.

Figura 7.4.22.2.▶
Arranque por desplazamiento hacia el interior del vaso, del lastre antisucción eólica, por anclaje deficiente.



Figuras 7.4.22.3.▶
Deslizamiento de lastres de hormigón articulados por oxidación del cable de unión



7.4.23. Cárcavas en el talud exterior

En este apartado se muestra las incidencias provocadas por la lluvia en el talud exterior, o en los desmontes exteriores efectuados para conformar el vaso, sin más consecuencias.



▲ *Figura 7.4.23.1.*
Formación de cárcavas en talud exterior



▲ *Figura 7.4.23.2.*
Formación de cárcavas en talud en desmonte



▲ *Figura 7.4.23.3.*
Formación de cárcavas en talud exterior (vista general)

7.4.24. Vertidos por coronación por escorrentías superficiales

Aunque como se ha dicho son contadas las balsas que se alimentan de escorrentías superficiales incontroladas, si estas no se construyen con las obras de desviación de escorrentías adecuadas pueden ser causa de fallos graves como es el caso que se adjunta.

a) Antecedentes

Se trata de una balsa de 300.000 m³, construida en el año 1984. Presenta unos taludes interiores con pendiente 1V:2,5H y los exteriores 1V:1,5H. La anchura de la coronación es de 6,0 m y la profundidad de 18 m. El sistema de impermeabilización consistió en una lamina de PVC apoyada directamente sobre el terreno. El embalse se ubica junto a un barranco, en la parte interior de una pronunciada curva del mismo. Ocupa gran parte del mismo en una de sus esquinas, alcanzando en esta zona el terraplén una altura de 1,50 m. Para permitir el paso de los caudales de avenida, cortados por el embalse, se colocó un tubo de hormigón de 800 mm. de diámetro, que discurría en un tramo aproximado de 50,0 m, bajo el terraplén del embalse, próximo a su pie, para dar continuidad hidráulica al barranco.

En noviembre de 1987 se produjeron lluvias muy intensas en toda la provincia de Alicante, que provocaron importantes inundaciones en muchas zonas de la provincia. Como consecuencia de ello, durante una noche, en esos días de lluvias intensas, el barranco desaguó unos caudales muy elevados, con importante caudal sólido y arrastre de materiales gruesos, incapaz de circular por la conducción de hormigón instalada. La entrada a la conducción quedó pronto tapada por piedras, ramas, etc , por lo que los caudales fueron elevando su nivel al pie del terraplén, hasta entrar en el embalse. Afortunadamente, el embalse se encontraba a un nivel muy bajo de su capacidad, por lo que gran parte del agua se acumuló en el vaso del embalse. Finalmente, como consecuencia del proceso de vertido y de la energía de los caudales que bajaban por el barranco, el terraplén en esa zona más expuesta, fue fuertemente erosionado, arrastrando los tubos de hormigón y abriendo un nuevo paso para las aguas en la zona de barranco ocupada por la parte inferior de los terraplenes del embalse.

b) Anomalías observadas

Como consecuencia de los efectos de la entrada de caudales de avenida en el embalse, se apreciaron dos tipos importantes de daños:

- ▶ Daños en los terraplenes, consistentes en grandes erosiones y lavado de materiales en las zonas de vertido. En la zona donde se ubicaba la tubería de hormigón, el terraplén había sido arrastrado por las aguas en su parte inferior, dejando ahora taludes verticales muy inestables y con procesos de deslizamientos localizados.

- ▶ Daños en el vaso del embalse, fundamentalmente por múltiples roturas y desgarros de la lámina y por acumulación en el fondo de piedras y otros materiales arrastrados por el agua.

c) Causas

Es evidente que los problemas causados en el embalse, son consecuencia directa de la avenida extraordinaria acaecida en aquellos días. Sin embargo, existen también motivos que explican porqué esta avenida afectó tan negativamente a este embalse.

En primer lugar, la ubicación del embalse aprovechando una fuerte curva del barranco no parece la más apropiada, y hubiera exigido un estudio mucho más profundo y completo de los caudales de avenida, antes de aceptar esta ubicación. En cualquier caso, parecería lógico, que se hubiera cuidado más el replanteo de la obra, especialmente para no reducir la sección hidráulica del cauce.

En segundo lugar, a la vista de lo sucedido, se demostró el mal diseño y dimensionamiento de la conducción de hormigón, prevista para evacuar los posibles caudales de avenida. Dada la responsabilidad en la seguridad y garantía de funcionamiento del embalse, estas conducciones deben proyectarse buscando la máxima seguridad y no la disminución del coste económico de la obra.

En tercer lugar, admitir el vertido de caudales de avenida al interior del embalse, exige un estudio muy preciso de las condiciones en que se puede realizar el mismo y, de manera general, obliga a disponer estructuras de retención previas a la entrada al embalse, estructuras de protección sobre el embalse y aliviadero en consonancia con el vertido previsto. Ignorar estos aspectos, supone asumir riesgos que acaban provocando graves problemas, como los descritos en este apartado.

d) Soluciones constructivas

Las soluciones constructivas en este caso fueron las siguientes:

- ▶ Limpieza del vaso del embalse, retirada de materiales y refino de los taludes interiores.
- ▶ Reconstrucción de los terraplenes afectados con material de préstamo, volviendo a disponer su geometría original.
- ▶ Colocación de nuevos paños de lámina en la zona afectada y unión con la lámina existente en las zonas no afectadas.
- ▶ Ensanchamiento del cauce del barranco aguas arriba del embalse, formando una gran zona de planta aproximadamente rectangular, de 1.000 m² de superficie, en cuyo extremo se encuentra el terraplén del embalse. Todo el perímetro de esta zona, se encuentra protegido por un murete de hormigón y la solera también se encuentra hormigonada. En el lado que constituye el terraplén del embalse, el

murete de hormigón al pie, se continua por encima con el vertido de escollera sobre el talud exterior, hasta la coronación (0,80 m).

- Colocación de una nueva conducción de hormigón de diámetro 1.200 mm.

Hasta la fecha, estas soluciones han sido efectivas, si bien es verdad que no se han vuelto a producir caudales tan elevados. En cualquier caso, un sencillo análisis de la cuenca, de los caudales previsibles en períodos de retorno cortos (25 años) y de la capacidad de desagüe disponible con las soluciones aplicadas, sin verter sobre el embalse, establece serias dudas sobre la seguridad del mismo.



► *Figura 7.4.24.1.*

Detalle de la reparación para la desviación de las aguas superficiales



► *Figura 7.4.24.2.*

Ampliación de la esquina izquierda de la fotografía anterior, en la que se aprecia la embocadura de la conducción de evacuación de escorrentías superficiales

7.4.25. Lámina llevada al límite en el tiempo

En este apartado se presenta una balsa impermeabilizada con PVC, con 15 años de antigüedad, y que en la práctica supone unos costes de rehabilitación superiores a los necesarios si no se hubiese llevado al límite la vida de la lámina.



▲ *Figura 7.4.25.1.*

Balsa con lamina de PVC y edad superior a 15 años llevada al límite de su vida útil, que presenta numerosos parches (esquina inferior izquierda), desgarro total de zonas (esquina superior izquierda), grandes parches(esquina superior derecha). Independientemente de lo anterior, los anclajes antisucción eólica, en la esquina superior derecha, fueron colocados a posteriori, al poco tiempo de entrar en servicio la balsa, funcionando correctamente y no siendo necesario la ejecución de más lastres

7.5. Puntos críticos a vigilar durante la explotación

De las patologías arriba expuestas, se desprende que los casos graves que conllevan a la ruina de la obra, excepción hecha de los vertidos por coronación que presentan un caso singular en las balsas, debido al escaso número existente, vienen asociados al caso de filtraciones a través del dique, pero, que en el caso de las geomembranas, se concentran en las vías preferentes a lo largo de las conducciones y galerías que atraviesan el dique.

Por lo que el punto crítico a controlar son las filtraciones, a través de los órganos de auscultación, que en la gran mayoría se establecen a través de:

1. La red de drenaje, discerniendo en las balsas con sectorización de fugas, entre las ocurridas en cualquier parte de la balsa, y las concentradas junto a las obras de toma.
2. Piezómetros en el caso que los hubiera, aunque en la actualidad, solo se utilizan en casos muy aislados.
3. Visitas a lo largo del dique para observar la existencia de filtraciones, humedades, vegetación, etc. que directa o indirectamente nos indique la existencia de filtraciones.

En cuanto al seguimiento de los movimientos de la obra, y concretamente del dique el control de movimientos, puede ser:

1. Secundario, en el caso de balsas impermeabilizadas con geomembranas ya que deformaciones relativamente importantes, del orden de decímetros, no afectan en absoluto a la estanqueidad de la pantalla y por lo tanto a la seguridad de la obra, siempre que dichas deformaciones no se produzcan en las zonas de contacto con obras de fábrica, y éstas, produzcan el corte de la geomembrana.
2. Estricto, en el caso de impermeabilizaciones rígidas o semirígidas, como el asfalto, ya que pequeños asientos diferenciales pueden provocar el agrietamiento de la pantalla, y el inicio de filtraciones, que en la mayoría de los casos origina un proceso erosivo acelerado, que termina en poco tiempo con la ruina de la obra. (Este es el caso de la balsa de Villajoyosa, pero la buena explotación de la misma por parte de la Comunidad de Regantes, detecto las filtraciones a través de los drenes, procediéndose al vaciado de la balsa, sin mayores consecuencias, continuándose después con la reparación de la obra).

Refiriéndonos a las balsas impermeabilizadas con geomembranas, que son la mayoría, una vez establecidos y superadas las fases de control durante el primer llenado, podemos decir que se entra en una fase de seguridad estable, cuya duración en el tiempo, va a depender en gran medida del estado de la geomembrana. Lo cual obliga a:

1. Un seguimiento del estado y envejecimiento de la lámina por parte de un laboratorio experimentado en geomembranas.
2. La reparación puntual de los desgarros, punzonamientos o pequeñas roturas, que se observen.
3. El cambio de la geomembrana, cuando se haya llegado al tiempo de agotamiento razonable de la estanqueidad y seguridad de la lámina.

Por otra parte existen otras patologías que, en principio, pueden ser secundarias, como el descuelgue de los anclajes de succión eólica, pero que en el caso de ser de hormigón, pueden conducir en su viaje hasta el fondo a provocar roturas y desgarros en la lámina, como se ha observado en algunos casos.

8. REHABILITACIÓN DE LAS BALSAS DE RIEGO

En otro tipo de obras, naves industriales, viviendas, catedrales, puentes, etc. las labores de rehabilitación pueden entenderse a largo, o muy largo plazo. Por ejemplo existen puentes de piedra, con varios siglos en servicio, sin apenas mantenimiento, y sin ningún tipo de rehabilitación.

Este no es el caso de las balsas y concretamente en las de geomembranas, que son las mayoritarias con diferencia, donde la rehabilitación forma parte intrínseca de la explotación. Dicho de otra forma, para mantener en condiciones estables y seguras a las balsas, su mantenimiento es más parecido al de un automóvil, en el que cada un número de kilómetros recorridos, o tiempo, se deben cambiar las ruedas, amortiguación, etc.

En las balsas, cada cierto número de años, dependiendo del tipo y calidad de la geomembrana, se debe proceder al cambio de la misma. Este tiempo según nuestra experiencia oscila para el PVC de buena calidad, en un tiempo máximo del orden de los quince años. Con los materiales actualmente más en uso en nuestra Comunidad Autónoma como es el PEAD, no se tiene suficiente información sobre su tiempo de seguridad razonable o admisible, aunque la información que se posee sobre el envejecimiento en las balsas cuyo seguimiento esta realizando el CEDEX, es bastante satisfactorio en general. En cualquier caso, durante la explotación se debe seguir la evolución del envejecimiento de la geomembrana, y su cambio, en el momento aconsejable. Por otra parte, se debe aprovechar este momento para el cambio de las conducciones de entrada y salida si se estima necesario.

Lo que sí puede hacerse además con relativa sencillez es el mejorar la toma desde el punto de vista de la seguridad y dotar el talud de aguas abajo y a la salida de las conducciones de la protección que se indica en la *Guía para el proyecto y la construcción*.

Otra consideración a realizar es que la operación del cambio de lámina, en la mayoría de los casos, no consiste únicamente en la colocación de una nueva lámina encima de la existente, independientemente de su compatibilidad química, si no que debido a las pequeñas fugas que han ido ocurriendo a lo largo de la explotación de la balsa puede haberse producido, un lavado parcial de la capa de refino y asiento de los geosintéticos, por lo que en muchos casos, se debe proceder a:

1. Retirar la lámina existente y transportar a un vertedero autorizado.
2. Refino del paramento de apoyo, y aporte de material fino cohesivo para el asiento del geotextil y la geomembrana.
3. Colocación del geotextil y la geomembrana.

Por otra parte en esta fase de la explotación, y en el caso de que la balsa no disponga de partes de la obra, ejecutadas de acuerdo a los actuales criterios de seguridad se debe aprovechar para su implantación, por ejemplo:

1. La incorporación de la red de drenaje, en el caso de que no existiera.
2. La ejecución de una galería, o conducción de protección de las de salida de fondo, dependiendo de la magnitud de la balsa, en el caso de que no existieran, etc.

Por último advertir que, entre otros elementos, el excelente comportamiento, y por tanto la seguridad real de las balsas impermeabilizadas con geomembranas, depende lógicamente del buen estado de las mismas. Por lo que resulta indicado arbitrar los medios adecuados para que se pueda hacer frente a la necesaria y urgente rehabilitación de las mismas. Cientos de estas balsas son de reducida capacidad pero resultan esenciales para la correcta distribución del riego y su eficacia.

Algunas de gran capacidad, del orden de 1 hm³, fueron construidas hace ya tiempo y sus láminas están ya al borde de su caducidad por lo que de no ser renovadas se perderá la reserva estratégica que representan. En el campo de las presas se vienen utilizando con éxito, láminas con duración superior a los treinta años. Aunque su coste es superior, parece aconsejable utilizarlas especialmente en las balsas de gran capacidad, ya que darían más estabilidad a la reserva estratégica.

9. VIGILANCIA, MANTENIMIENTO Y PLANES DE EMERGENCIA

9.1. Consideraciones generales

Se construye una balsa para satisfacer una necesidad, obtener unos beneficios o incluso simplemente como adorno. Pero una vez en servicio origina un riesgo, como también un ferrocarril, que es obligado reducir hasta niveles inocuos.

Los primeros y fundamentales pasos para ello son un buen proyecto y una buena construcción. El siguiente es el mantenimiento a lo largo del tiempo de las buenas condiciones iniciales e incluso su mejora. Pero a pesar de ello, aunque con una probabilidad muy reducida, y tanto menor cuanto mejor se hayan atendido los aspectos anteriores, puede producirse su colapso y es preciso por tanto tener previsto como reducir al máximo los daños, muy especialmente las pérdidas de vidas humanas, y esta es la misión de los planes de emergencia.

El mantenimiento y los planes necesitan un seguimiento del comportamiento de las balsas y de la evolución de su entorno pues tanto la seguridad de las balsas como los daños potenciales evolucionan con el tiempo. Los planes de emergencia precisan además

de un equipo eficaz de acción rápida, pues en el caso de las balsas más que el de las presas se necesita rapidez, pues están por así decirlo en la «puerta de la casa».

¿Cómo tener un equipo preparado para actuar al instante ante una eventualidad que lo más probable es que no se les presente en toda su vida?

Quizá lo más eficaz sea que ese equipo esté actuando cotidianamente en la vigilancia, asesoramiento y mantenimiento del grupo de balsas que tenga asignado. No entramos aquí en su composición ni en sus medios, pero si indicaremos que para ser efectivo ha de tener el nivel técnico y la experiencia necesaria, así como la capacidad legal precisa para poder tomar decisiones inmediatas con la mínima probabilidad de error. En el apartado de «Planes de Emergencia» ampliaremos lo expuesto. En los apartados siguientes iremos comentando a nivel de toma de conciencia, orientación y primeros pasos:

- ▶ El archivo técnico.
- ▶ La vigilancia.
- ▶ La clasificación.
- ▶ Los mapas de inundación.
- ▶ Los planes de emergencia.

9.2. El archivo técnico

A semejanza de las presas, la existencia de un archivo técnico en el que se recoja toda la información definitiva sobre la balsa, tal como se ha construido, así como la historia de la explotación desde su primera puesta en carga, es fundamental para el correcto mantenimiento, e interpretación de los hechos en el caso de existir incidencias y para la adecuada organización de la vigilancia y del mantenimiento.

De las balsas de cierto tamaño construidas recientemente se suele disponer del proyecto y de algunos datos de la construcción pero casi nunca de su situación final real (el *as built* internacional) lo que en caso de incidencia puede presentar más un riesgo que un ayuda.

De las pequeñas y antiguas que son la inmensa mayoría se tiene muy poco conocimiento fiable. Es de gran interés llevar acabo una paciente labor, digamos que de «identificación suficiente» y del historial de incidencias si las ha habido.

En la mayoría de ellas será preciso levantar los planos o croquis y acompañarlos de las suficientes fotografías. A título orientativo describimos lo que conviene disponer en una primera fase:

- ▶ Planos de ejecución generales.

- ▶ Planos de detalle, fundamentalmente de las tomas de fondo y obras sumergidas, drenes, etc.
- ▶ Características de la valvulería.
- ▶ Reportaje fotográfico.
- ▶ Estudios geotécnicos.
- ▶ Descripción de los pormenores del primer llenado.
- ▶ Seguimiento de las deformaciones en el caso que se estime necesario.
- ▶ Posteriormente y una vez entrada en servicio, las distintas visitas de mantenimiento y vigilancia.
- ▶ Datos meteorológicos locales, de gran interés para interpretar las lecturas de los drenajes.
- ▶ Lecturas de los drenes y demás elementos de auscultación si existen

9.3. La vigilancia

9.3.1. Consideraciones generales

La vigilancia en sentido amplio es la observación continuada y atenta del comportamiento de la balsa en uno o varios aspectos o en su totalidad, según la finalidad que se persiga. Destacaremos tres tipos principales:

- ▶ Durante la primera puesta en servicio.
- ▶ Enfocada al mantenimiento.
- ▶ Enfocada a la seguridad.

La primera tiene por objeto comprobar el buen comportamiento y en su caso los defectos de la obra según ha quedado finalmente construida. La finalidad de la segunda es mantener en «estado de revista» la balsa y todos y cada uno de sus elementos y el buen funcionamiento del conjunto. La tercera se centra en aquellos comportamientos cuya evolución puede dar lugar al colapso de la obra. Como se aprecia están interrelacionadas aunque claramente diferenciadas.

9.3.2. Primera puesta en servicio

El primer llenado, se realiza lentamente y a pequeños intervalos, manteniendo cada escalón de nivel un cierto tiempo. La medida de este «cierto tiempo» viene dada por que la acción impuesta (el nivel de llenado) haya producido todo su efecto, es decir que las

medidas observadas (filtraciones, asientos, presiones intersticiales, etc.) se hayan estabilizado. Los intervalos y los tiempos de detención después de la estabilización los marcará el técnico que dirija la operación. A título orientativo se pueden seguir las etapas:

1. Hasta 1/3 del calado normal.
2. Hasta 2/3 del calado normal.
3. Hasta 5/6 del calado normal.
4. Hasta el calado normal.

Si el comportamiento en las etapas 1ª y 2ª es bueno y la balsa no es muy grande (<0,5 hm³) puede suprimirse la 3ª. En cualquier caso debe tenerse en cuenta la capacidad de desagüe para poder volver con rapidez a la etapa anterior si se observa alguna anomalía que así lo aconseje. En cada escalón de carga, se realizarán varias visitas diarias, realizándose inspecciones generales en:

- ▶ Coronación.
- ▶ Pie del talud del dique.
- ▶ Talud del dique, etc.
- ▶ Conducciones y obras de entrada.
- ▶ Fundamentalmente, en los órganos de drenaje y control de fugas.

Con niveles muy bajos de llenado, se comprobará el correcto funcionamiento de toda la valvulería, incluida la de emergencia, hasta el punto último de vertido (Para la prueba del desagüe de emergencia se inspeccionará todo el tramo que vaya por canales, acequias, barrancos y cauces públicos o privados, desalojando a las personas o bienes de cualquier naturaleza que se pudiesen ver afectados).

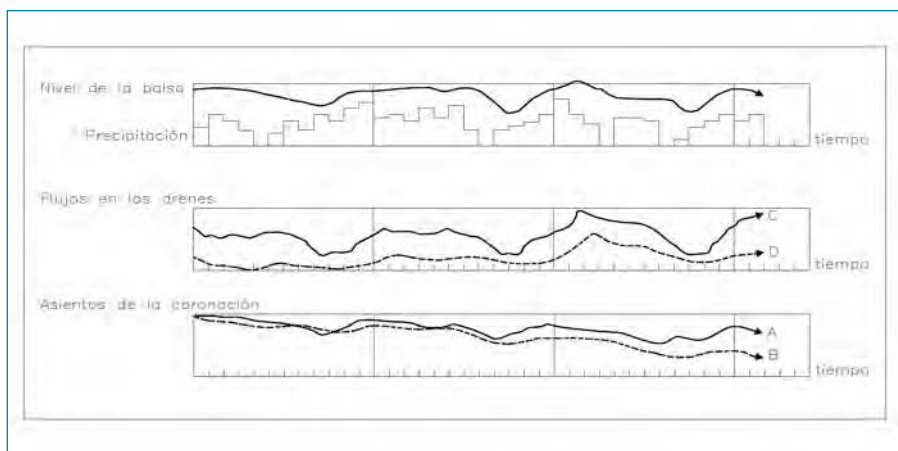
En los casos que sea viable, una vez alcanzado la mitad del nivel de llenado, se procederá al vaciado de la balsa y se inspeccionará con detalle la obra de toma de fondo. Efectuada esta comprobación, y si no se registra ninguna anomalía, se continuará el llenado, hasta alcanzar el Máximo Nivel de Servicio (MNS) (este nivel se corresponde con la cota del labio inferior del aliviadero).

Con la cota de MNS, se comprobará el buen funcionamiento de toda la valvulería de control, volviéndose a comprobar las válvulas de emergencia, y las conducciones de emergencia hasta su punto de vertido, observando el correcto comportamiento (para la prueba del desagüe de emergencia se inspeccionará todo el tramo que vaya por canales, acequias, barrancos y cauces públicos o privados, desalojando a las personas o bienes de cualquier naturaleza que se pudiesen ver afectados).

Una vez alcanzado el (MNS), se procederá a la prueba del aliviadero con la máxima capacidad de entrada de agua que se disponga en ese momento, observándose el co-

recto funcionamiento del aliviadero, anotándose el Máximo Nivel de Embalse durante el funcionamiento del Aliviadero (MNE).

Las balsas no tienen en general grandes capacidades por lo que aunque se haya seguido en su primer llenado el criterio de «estabilización de las medida» está estabilización puede ser del primer componente y la consolidación puede seguir a ritmo mas lento una vez llena. Por ello conviene elaborar unas gráficas del siguiente tipo, que permite apreciar fácilmente la tendencia del comportamiento:



226

▲ *Figura 9.3.2.1. A,B,C,D, representan sitios diferentes*

9.3.3. La vigilancia del mantenimiento

Una vez realizado el primer llenado, y el correcto funcionamiento de la obra en general, se efectuará el siguiente protocolo de seguimiento, con la periodicidad que se estime oportuna:

Inspección visual de toda la balsa:

- ▶ Camino de coronación en la zona del terraplén.
- ▶ Camino de coronación en la zona de desmonte.
- ▶ Inspección visual de las geomembranas y repaso de juntas.

(Nota: la inspección de las geomembranas, se realizará por dos personas, equipadas con chaleco salvavidas, quedando una siempre en coronación, atada a un vehículo, y en constante comunicación con el centro de control de la entidad de riego).

- ▶ Inspección visual del pie del talud del terraplén.

- ▶ Inspección visual del talud del terraplén.
- ▶ Comprobación del funcionamiento de todas las válvulas, incluidas las de las conducciones de emergencia
- ▶ Aliviadero.
- ▶ Drenajes, canales, cunetas y conducciones de evacuación de escorrentías.
- ▶ Tramos del desagüe de emergencia, compuestos por canales, acequias, barrancos y cauces públicos o privados.
- ▶ Nivel del agua.
- ▶ Revisión de los drenes y de la doble conducción o galería.
- ▶ Lluvia, granizo, nieve.

Este último dato tiene interés para la interpretación de los caudales en el drenaje. Debe prestarse especial atención a los síntomas de envejecimiento o deterioro de la lámina. Conviene que se haga un sucinto resumen del reconocimiento efectuado y se feche, con vistas a su utilización en ulteriores análisis y revisiones. Si se observase cualquier comportamiento no habitual, debe comunicarse inmediatamente a un equipo técnico de mayor cualificación. Esta vigilancia, salvo que la balsa sea muy grande o compleja puede llevarse a cabo por el personal que habitualmente maniobra en ella para el riego.

Pero hay otro grado de vigilancia que sólo puede llevarse a cabo por un equipo técnico, cualificado y con experiencia. No entraremos aquí en su composición, creación y mantenimiento. Sólo indicar que actuaría por delegación de los propietarios y se ocuparía de un número suficiente de balsas para tener una actividad cotidiana adecuada. Un tema que queremos destacar e insistir, es el de la seguridad del personal encargado de la explotación de la balsa.

Si bien, no tenemos constancia en España de daños personales asociados a roturas de balsas, si que existen, desgraciadamente, varios casos de personas que han fallecido ahogadas en las balsas, en algunos casos dos personas en el accidente, la que de forma accidental o voluntaria está en la balsa y la que intenta ayudarle en su salida. Esto es debido a que la superficie de las geomembranas, sobre todo si se encuentran humedecidas, presentan un escaso coeficiente de rozamiento, que asociado a las pendientes habituales en los taludes interiores de las balsas 2-2,5 H/1V, hacen que sea imposible salir de la balsa ascendiendo por la geomembrana.

Independientemente de la obligada colocación de elementos eficaces para la salida de personas de la balsa, así como el vallado que impida el acceso a la misma de personas ajenas a la explotación, se deben prestar especial atención a las labores rutinarias de visitas a la balsa, organizándose de tal forma, que el personal vaya adecuadamente protegido con cuerdas, arneses, flotadores, etc. y un nivel de comunicación permanente

con el centro de control de la Comunidad de Regantes, que permita frente a una caída fortuita, resolver la incidencia sin mayores consecuencias.

9.3.4. La vigilancia de seguridad

Esta vigilancia específica se basa en el conocimiento de la balsa y de sus puntos débiles o críticos y debe ser organizada y analizada por personal cualificado para ello y con experiencia. En todo lo anterior y especialmente en las patologías se ha evidenciado que la causa básica de fallo en las balsas es la tubificación seguida o no del colapso del dique.

Las balsas construidas recientemente suelen llevar dren chimenea y algunas protección adecuada de la toma y de los conductos y galerías a través de ellas. Pero la inmensa mayoría carecen de ambos dispositivos y no obstante no han fallado ni han dado indicios de hacerlo. ¿Qué pasara cuando sus láminas ya bastante envejecidas empiecen a romperse? ¿Habrá que situar a algunas en la alternativa de rehabilitarlas o darlas de baja?

No procede dar aquí una farragosa relación de investigaciones, análisis y medidas que convendrá realizar, fundamentalmente porque crearía confusión sin resolver nada, ya que según la balsa bastará con media docena o con ninguna y eso solo un “equipo técnico cualificado” y con experiencia puede decidirlo con poca probabilidad de error después de haberlas estudiado.

Pero no hay que esperar a estos análisis y estudios para vigilar de un modo específico la evolución de las filtraciones y humedades que se presenten y las que aparezcan, con especial atención a si llevan materia sólida, aunque sea poca, o sales en disolución, especialmente yeso.

Como norma cualquier desviación del comportamiento respecto al registrado durante la primera puesta en carga debe ser comunicado de inmediato al equipo técnico para que lo evalúe y proceda en consecuencia. Pero de la gran mayoría de las balsas, no se sabe nada de su primera puesta en carga aunque se tiene alguna noticia de su comportamiento a lo largo del tiempo.

Esta noticia debe quedar incorporada al Archivo Técnico y junto con la observación directa y las eventuales exploraciones que en su caso procedan servirán para que el equipo técnico pueda establecer lo que se estime su comportamiento «Normal» y los aspectos que deben ser específicamente vigilados.

9.4. La clasificación

9.4.1. Consideraciones generales

La legislación vigente obliga a clasificar las presas y balsas según su riesgo potencial en tres categorías, A, B, y C, según los daños que pueda originar su colapso.

Una observación importante: La legislación habla de riesgos potenciales e insiste en esta denominación en la última modificación (BOE núm. 14, de 16 de enero de 2008, página 3.141 y siguientes) pero lo que realmente pide es la evaluación de daños potenciales sin que en ningún momento se tenga en cuenta la probabilidad de ocurrencia, esencial para que se pueda hablar de riesgo como el producto del daño por su probabilidad de ocurrencia.

Aunque puede darse por sentado que el daño potencial (urbanizaciones, vías de comunicación, etc.), irá aumentando con el tiempo sin que se pueda hacer nada práctico para evitarlo lo que si que está en nuestras manos es reducir drásticamente la probabilidad de colapso haciendo las nuevas balsas cada vez mas seguras y mejorando en su caso las existentes.

Pero si por desgracia se produce o amaga algún colapso deben preverse las actuaciones más adecuadas para reducir e incluso evitar las consecuencias, especialmente de afecciones y vidas humanas, y esta es la finalidad y la razón de ser de los Planes de Emergencia. El primer paso es definir, localizar y evaluar los daños potenciales.

229

9.4.2. Los mapas de inundación

Los daños potenciales se estiman a partir de la zona potencialmente inundable y de las características básicas de esta inundación en cada punto: Calado y velocidad del agua. Esto puede llevarse a cabo mediante la utilización de diversos programas informáticos. Para la mayoría de las presas y para las balsas es holgadamente suficiente el SMPDBK (Simplified Dambreak) del National Weather Service (USA) que esta disponible en Internet.

Las variables de entrada son el tiempo de formación de la brecha, el volumen embalsado, el área y la altura de la lámina de agua. En la GUIA del Ministerio se dan unas fórmulas para calcular este tiempo de formación de brecha y de su anchura. En diversos estudios y publicaciones, entre ellos el del Dam Safety Office del Bureau, y los del 22º ICOLD (Barcelona 2006), se proponen otras. También existen análisis para ruina por tubificación, más aplicable a las balsas sobre todo si no se llega a la brecha total.

Conviene tener muy presente que los caudales punta obtenidos son muy sensibles al tiempo de formación de la brecha: por dar una idea en un caso concreto, con 10 minutos se llega 672 m³/s y con el doble de tiempo sólo se alcanzan los 226 m³/s.

Estimamos por tanto muy recomendable hacer el estudio al menos con dos o tres tiempos de rotura y niveles de lámina de agua diferentes para evitar en lo posible una evacuación precipitada y con pánico, evacuaciones que casi siempre dan víctimas. Las roturas observadas de balsas siempre han sido en tiempos mayores, lo que no quiere decir que siempre sea así.

Pero si el equipo responsable, ya a pie de balsa dispone de esa información podrá actuar con más conocimiento de causa. Los volúmenes de las balsas incluso de las grandes son reducidos y si disponen de desagües eficaces la reducción del nivel y volumen, e incluso el vaciado completo son contemplables.

9.4.3. Clasificación de la balsa

Una vez conocidos los daños potenciales, se debe proceder a la clasificación de la balsa en función de los mismos. La clasificación a nivel internacional, coincide básicamente con la adoptada por el Reglamento Técnico sobre Seguridad de Presas y embalses, Orden de 12 de marzo de 1996 y su reciente revisión (BOE núm. 14, de 16 de enero de 2008).

- ▶ Categoría A: Presas cuya rotura o funcionamiento incorrecto puede afectar gravemente a núcleos urbanos o servicios esenciales, así como producir daños materiales o medioambientales muy importantes.
- ▶ Categoría B: Presas cuya rotura o funcionamiento incorrecto puede ocasionar daños materiales o medioambientales importantes o afectar a un reducido número de viviendas.
- ▶ Categoría C: Presas cuya rotura o funcionamiento incorrecto puede producir daños materiales de moderada importancia y solo incidentalmente pérdidas de vidas humanas.

Clasificación que en principio puede ser adoptada para las balsas. Aunque sería conveniente excluir de este procedimiento de clasificación, a las balsas que se encontraran por debajo de un umbral máximo, de capacidad y altura de la balsa. Conviene tener presente que la clasificación es un primer paso para ver que las balsas pueden dar lugar a daños potenciales de cierta importancia, especialmente en vidas humanas, para tenerlas en cuenta a la hora de establecer planes de emergencia.

Por otra parte es casi obvio que cualquier balsa de cierta capacidad (>100.000 m³ por dar una cifra) aunque inicialmente pudiera clasificarse como C, tardará muy poco en ser A, por la modificación de su entorno y en bastante tiempo permanecerá ignorada su nueva situación. Por otra parte el propietario tiende a evitar en lo posible las clasificaciones A y B por el temor a consecuencias administrativas de diversos órdenes no bien conocidas y en ocasiones poco adaptadas a la realidad de las balsas.

Téngase en cuenta que estas consecuencias provienen del mundo de las presas, y con frecuencia se ajustan mal al de las balsas. Conviene por tanto que cuanto antes se redacten condiciones específicas para balsas, no adaptaciones de lo prescrito para las presas que también está actualmente en revisión, y en esa dirección va esta guía..

9.5. Planes de emergencia

La legislación vigente prescribe la implantación de unos Planes de Emergencia con los que se aminoren los daños en el caso del colapso de una presa e incluso llegar a evitarlos en lo concerniente a vidas humanas. Estos planes derivan de los de Protección Civil frente a inundaciones.

Las inundaciones son fenómenos prácticamente periódicos (5-8 años) cuyo origen atmosférico no depende de nosotros y que no podemos dominar y cuyas consecuencias en el caudal de los ríos sólo podemos gobernar si hemos construido en ellos embalses y canalizaciones.

La inundación por colapso de una presa o balsa tiene unas características muy diferentes. En primer lugar sí está en nuestra mano reducir hasta límites extraordinariamente bajos la probabilidad de que ocurra y por tanto el riesgo prestando la adecuada atención a la calidad y seguridad de las obras y su seguimiento como ya se ha indicado. Por otra parte, la inundación por lluvia más que una probabilidad es una seguridad cada 5 u 8 años a menos que se ejecuten las obras pertinentes. Resulta por tanto indicado, y así lo prevé la legislación que la población de la zona que va a ser afectada, esté adecuadamente instruida para colaborar con eficacia con las organizaciones competentes en su propia salvaguardia.

Se trata de un evento al que la persona tendrá que hacer frente 8 ó 10 veces a lo largo de su vida si permanece en la zona afectable. La inundación por colapso tiene una probabilidad bajísima que además puede y debe reducirse aún más sin necesidad de colaboración de la zona afectable. Deben no obstante, como ya se ha indicado, conocerse los daños que el colapso pudiera producir, especialmente en lo referente a vidas humanas y tener previstas por las organizaciones competentes las medidas adecuadas para ello. En lo que cabe apuntar una diferencia importante es en la difusión que se dé a este conocimiento y en el modo de hacerlo, no sea que huyendo de morir ahogado, se muera, eso sí menos bruscamente, de sed.

Conviene no olvidar lo que ya en 2001 en la presentación de la *Guía técnica para la elaboración de los planes de emergencia de presas* escribía entonces el Director General de Obras Hidráulicas y Calidad de las Aguas D. José M^a Piñero Campos: «Por tanto transmitir un mensaje adecuado en la implantación de los Planes de Emergencia, para evitar malas interpretaciones y posibles alarmas no ajustadas a la realidad, es uno de los objetivos

principales de todos los que participamos en este ambicioso proyecto de conseguir las mejores condiciones de seguridad para los ciudadanos potencialmente afectados».

En esto también hay diferencias entre presas y balsas. En España hay en números redondos 1.200 presas con lo que para una superficie de 505.000 km², resulta 421 km² por presa; las presas están «lejos». En cambio, solo en la provincia de Alicante de 5.800 km², hay 2666 balsas es decir una balsa cada 0,5 km²; «las balsas están en la puerta de casa». Una presa está en general en un punto alejado de la población, solitario y en el que la única edificación existente es con frecuencia ella misma.

Se entiende así que se pida que en su plan de emergencia, se disponga de modo obligatorio para cada presa de una sala de emergencia (párrafo 6.6 de la *Guía técnica para la elaboración de planes de emergencia*), cuyo cumplimiento para una balsa de 60.000 m³, convendría matizar. Análogamente en el artículo 34.2 del Reglamento se dice: «Las actuaciones previstas en el plan de emergencia se ensayarán periódicamente, mediante ejercicios de simulación, con el fin de que el equipo de explotación adquiriera los adecuados hábitos de comportamiento».

Esto para unas balsa que no tienen avenidas, que en su mayoría están junto a poblaciones, y cuyo riesgo potencial es bajísimo y puede y debe reducirse aún mas sin necesidad para ello de contar con la colaboración de los habitantes puede entrar en contradicción con el deseo de no provocar alarmas no ajustadas a la realidad tan claramente expuesto por el Sr. Piñero.

Parece por tanto indicado, no ya que se adapte a las balsas la *Guía para presas*, sino que se sea una guía específica para balsas en que se tengan en cuenta sus características.

En el reciente Congreso Internacional, celebrado los días 23 a 25 de abril de 2008 en Mallorca, se apuntó que en el caso de las balsas sería más operativa que una sala de emergencia, una sala móvil, constituida por un vehículo adecuado equipado con los medios de comunicación y alerta, que podría situarse a la vista de la balsa pocos minutos después de ser avisado el equipo de emergencia, que atenderá de modo inmediato la situación y daría las comunicaciones y avisos pertinentes.

Si la balsa es muy reciente tendrá un Plan de Emergencia, que el equipo decidirá si lo activa o no y en que grado. Lo más frecuente será que no tenga tal Plan. En ese caso y a la vista de los mapas de inundación el equipo sin perjuicio de cursar las comunicaciones correspondientes tomará directamente las decisiones más urgentes entre las que destacamos:

- ▶ Interrumpir el llenado de la balsa.
- ▶ Vaciado rápido.

► Aviso urgente incluso personándose en el punto afectable a:

- Carreteras.
- Ferrocarril.
- Núcleos habitados, etc.

En lo que respecta a núcleos habitados conviene tener muy presente el no crear alarmas prematuras o poco justificadas que pudieran dar lugar a desbandadas y pánicos que casi con seguridad darían víctimas.

Estimamos que sería muy operativo que este equipo fuera el mismo que el de mantenimiento por su conocimiento detallado, sin perjuicio de que en un caso concreto fuera ampliado si se estima conveniente.

La capacidad destructiva de una balsa es en principio mucho menor que la de un embalse y cesa en cuanto se vacía pues salvo contadas excepciones no tiene río que la alimente.

Conviene por tanto analizar en qué medida la primera planta de los edificios afectados o de alguno de ellos puede ser un refugio seguro, accesible en pocos minutos.

ÍNDICES

GUIA PARA EL PROYECTO Y CONSTRUCCIÓN DE BALSAS DE TIERRA

1. INTRODUCCIÓN	21
1.1. Objeto y alcance de la guía.....	21
1.2. Breve reseña histórica de las balsas y su evolución	21
1.3. Estructura de la <i>Guía</i>	23
2. TIPOS DE BALSAS.....	24
2.1. Consideraciones generales.....	24
2.2. Balsas Impermeabilizadas con arcillas.....	24
2.2.1. Emplazamiento impermeable y material de excavación adecuado.....	25
2.2.2. Emplazamiento impermeable y material de excavación permeable.....	28
2.2.3. Emplazamiento permeable y material de excavación permeable	30
2.2.3.1. Nivel freático siempre bajo el fondo sin detección de fugas	31
2.2.3.2. Nivel freático siempre bajo el fondo con detección de fugas	31
2.2.3.3. Nivel freático sobre el fondo	32
2.3. Balsas impermeabilizadas con láminas.....	33
2.3.1. Aspectos específicos de las balsas impermeabilizadas con láminas	35
2.3.2. Emplazamiento permeable no erosionable ni soluble.....	36
2.3.3. Emplazamiento erosionable y/o soluble	36
2.3.4. Nivel freático siempre bajo el fondo	37
2.3.5. Nivel freático por encima del fondo, siempre u ocasionalmente	37
2.4. Balsas impermeabilizadas con asfalto	37
2.5. Balsas en cursos de agua	38
3. ESTUDIOS PREVIOS.....	41
3.1. Consideraciones generales.....	41
3.2. Estudios hidrológicos.....	41
3.3. Estudios geológicos	41
3.4. Estudios geotécnicos.....	42

4.	ANÁLISIS DE LA ESTABILIDAD	45
4.1.	Consideraciones generales.....	45
4.1.1.	Balsas impermeabilizadas con arcillas.....	45
4.1.2.	Balsas impermeabilizadas con láminas.....	46
4.1.3.	Balsas impermeabilizadas con asfalto	46
4.2.	Comprobación de diques y taludes	46
4.2.1.	Consideraciones generales.....	46
5.	SISTEMAS DE IMPERMEABILIZACIÓN	48
5.1.	Consideraciones Generales.....	48
5.2.	Impermeabilización con materiales arcillosos	48
5.2.1.	Enlace con las obras de hormigón	51
5.3.	Impermeabilización con láminas.....	52
5.3.1.	Consideraciones generales.....	52
5.3.2.	Punzonamiento	53
5.3.3.	Radiación Solar.....	54
5.3.4.	Compatibilidad química	54
5.3.5.	Anclaje.....	54
5.3.5.1.	Anclaje perimetral	54
5.3.5.2.	Anclajes transversales	57
5.3.6.	Succión.....	57
5.3.7.	Oleaje	58
5.3.8.	Enlace con obras de hormigón y metálicas	58
6.	DRENAJES	61
6.1.	Consideraciones generales	61
6.2.	Drenajes de seguridad estructural.....	61
6.2.1.	El dren chimenea	61
6.2.2.	El drenaje en los conductos a través de los diques y el terreno	66
6.2.3.	El drenaje de fondo	67
6.2.4.	El drenaje de los taludes interiores	68
6.3.	Drenajes de detección y medida de filtraciones	69
6.4.	Sectorización	70

7. OBRAS DE ENTRADA.....	74
7.1. Consideraciones generales	74
7.2. Balsas impermeabilizadas con arcilla	74
7.3. Balsas impermeabilizadas con láminas.....	76
7.3.1. Entradas por coronación	76
7.3.2. Entrada de fondo	78
7.4. Balsas impermeabilizadas con asfalto	78
7.5. Balsas impermeabilizadas con hormigón.....	79
8. OBRAS DE SALIDA	80
8.1. Consideraciones generales	80
8.2. Tomas de agua	81
8.2.1. Tomas en sifón	81
8.2.2. Tomas inferiores.....	81
8.2.3. Tomas en torre.....	85
8.2.4. Cámara de válvulas	88
8.2.5. Tomas flotantes	89
8.3. Desagües de fondo	92
8.4. Aliviaderos.....	93
8.4.1. Consideraciones generales	93
8.4.2. Tipos de aliviadero.....	94
8.4.2.1. Aliviaderos fusibles.....	96
9. VALLADO PERIMETRAL Y DISPOSITIVOS QUE PERMITAN LA SALIDA DE PERSONAS Y ANIMALES QUE ACCIDENTALMENTE CAIGAN EN LA Balsa	97
10. CONSTRUCCIÓN	98
10.1. Consideraciones generales.....	98
11. AUSCULTACIÓN.....	99
11.1. Consideraciones generales	99
12. PRIMERA PUESTA EN CARGA Y SIGUIENTES	103
12.1. Consideraciones generales.....	103

13. SEGURIDAD.....	104
13.1. Consideraciones generales.....	104
13.2. La mejora de la seguridad de las balsas.....	105
13.3. Los planes de emergencia.....	105
14. REHABILITACIÓN.....	108
14.1. Consideraciones generales.....	108
15. PATOLOGÍAS.....	112
ANEXOS	
ANEXO Nº 1. Tabla de propiedades mecánicas de los suelos compactados del <i>Bureau of Reclamation</i>	115
ANEXO Nº 2. Estimación de las escorrentías y caudales naturales que afecten o puedan afectar a la balsa.....	116
2.1. Planteamiento general.....	116
2.2. Fórmula de cálculo (cáculo hidrometeorológico).....	117
2.3. Intensidad media de precipitación.....	118
2.4. Tiempo de concentración.....	119
2.5. Escorrentía.....	120
ANEXO Nº 3. Detalle cualitativo y cuantitativo del estudio geotécnico.....	128
3.1. Consideraciones generales.....	129
3.2. Balsas impermeabilizadas con materiales arcillosos.....	129
3.2.1. El material arcilloso.....	130
3.2.2. El material para espaldones.....	131
3.3. Balsas impermeabilizadas con láminas.....	131
3.4. Balsas impermeabilizadas con asfalto.....	131
3.5. Balsas impermeabilizadas con hormigón.....	132
ANEXO Nº 4. Compactación de los diques.....	132
4.1. Consideraciones generales.....	132
4.1.1. Materiales arcillosos y limo-arcillosos.....	132
4.1.2. Materiales incoherentes de graveras más o menos arenosas.....	132
4.1.3. Materiales de terrazas.....	132

4.1.4. Pedraplenes y escolleras.....	132
4.1.5. Materiales procedentes de la excavación para crear vaso	132
4.2. APENDICE. forma de realizar los ensayos de compactación de un suelo constituido por grava.....	132
ANEXO Nº 5. Paso de conductos a través de los diques y del terreno	136
5.1. Consideraciones generales.....	136
5.2. Problemática específica	137
5.2.1. La resistencia	137
5.2.2. El orden de magnitud de las cargas y soluciones aconsejables	137
5.3. La erosionabilidad.....	138
5.3.1. Detención de los materiales erosionados	138
5.3.2. La deformación vertical por asiento.....	139
5.3.3. Apertura de juntas por asiento	140
ANEXO Nº 6. tablas para la obtención del coeficiente de seguridad al deslizamiento.....	154

GUÍA PARA LA EXPLOTACIÓN, MANTENIMIENTO, VIGILANCIA Y PLANES DE EMERGENCIA DE LAS BALSAS DE RIEGO CON VISTAS A LA SEGURIDAD

1. INTRODUCCIÓN	167
2. OBJETO	168
3. ANTECEDENTES.....	168
3.1. Las presas	168
3.2. Las balsas.....	168
4. METODOLOGÍA	168
5. PRESAS Y BALSAS	169
6. NORMATIVA.....	171
7. LA SEGURIDAD EN LAS BALSAS DE TIERRA.....	172
7.1. Generalidades.....	172
7.2. Estado de la situación actual en las balsas de riego y su explotación.....	172
7.2.1. Visitas a las Comunidades de Regantes.....	173
7.3. Causas de colapso en las balsas y sus remedios.....	174
7.4. Patologías de las balsas de tierra	177
7.4.1. Introducción.....	177
7.4.2. Diseño inadecuado de toma de fondo (1).....	177
7.4.3. Diseño inadecuado de toma de fondo (2).....	182
7.4.4. Diseño inadecuado de toma de fondo (3)	183
7.4.5. Diseño inadecuado de toma de fondo (4)	184
7.4.6. Diseño inadecuado de toma de fondo (5)	187
7.4.7. Grietas en un dique con impermeabilización asfáltica	188
7.4.8. Tubificación en un dique con impermeabilización asfáltica	189

7.4.9. Tubificación en yesos.....	190
7.4.10. Desgarro de geomembrana por vertido directo inadecuado sobre lámina (1)....	192
7.4.11. Desgarro de geomembrana por vertido directo inadecuado sobre lámina (2)....	193
7.4.12. Incorrecta colocación de la geomembrana.....	193
7.4.13. Patologías relacionadas con el tipo y calidad de las geomembranas	196
7.4.14. Corrosión en la conducción de salida	196
7.4.15. Otros casos de corrosión	200
7.4.16. Otros fallos en las conducciones.....	203
7.4.16.1. Fallo en las uniones	203
7.4.16.2. Rotura de la conducción	204
7.4.17. Deslizamiento superficial del talud exterior (1)	206
7.4.18. Deslizamiento superficial del talud exterior (2).....	207
7.4.19. Deslizamiento en el talud interior durante la construcción	208
7.4.20. Asientos en un dique de arcillas.....	209
7.4.21. Asientos en diques.....	212
7.4.22. Descuelgue de lastres de hormigón	213
7.4.23. Cárcavas en el talud exterior.....	215
7.4.24. Vertidos por coronación por escorrentías superficiales	216
7.4.25. Lámina llevada al límite en el tiempo.....	219
7.5. Puntos críticos a vigilar durante la explotación.....	219
8. REHABILITACIÓN DE LAS BALSAS DE RIEGO.....	221
9. VIGILANCIA MANTENIMIENTO Y PLANES DE EMERGENCIA	222
9.1. Consideraciones generales	222
9.2. el archivo técnico	223
9.3. La vigilancia.....	224
9.3.1. Consideraciones generales.....	224
9.3.2. Primera puesta en servicio.....	224
9.3.3. La vigilancia del mantenimiento.....	226
9.3.4. La vigilancia de seguridad.....	228
9.4. La clasificación	229

9.4.1. Consideraciones generales.....	229
9.4.2. Los mapas de inundación.....	229
9.4.3. Clasificación de la balsa.....	230
9.5. Planes de emergencia.....	231

