

Construcción de balsas en suelos evaporíticos.

Ramón de los Santos Alfonso.

1. Introducción.

La geografía española y entre ella, la murciana, poseen zonas importantes de suelos evaporíticos. Estos suelos se caracterizan por tener un alto grado de salinidad, debido a la evaporación de agua salada, formado en algún momento de su génesis, donde posteriormente actuaron movimientos terrestres en los procesos geológicos, seguidos de erosiones, sedimentos, etc., y formaron un variado nivel de suelos evaporíticos. Dentro de estos suelos, tenemos los yesos, formado por sulfatos normalmente, hidratados.

Son abundantes en toponimias que aluden a estos suelos desnudos de vegetaciones, como “salinas” “saladares” “caleras”, etc. La población de Algezares proviene de la palabra de origen árabe: “Yesares”.

Estos suelos son marginales desde el punto de vista productivo y despiertan expectativas de intereses para realizar en ellos construcciones de balsas. El número de fracasos de balsas en estos suelos, son importantes, abundando numerosos casos de roturas y abandono en algunos casos, por esto, su estudio requiere de consideraciones particulares que deben tenerse en cuenta en su diseño y construcción.

2. Alteraciones de suelos yesíferos.

Estos suelos sufren deformaciones y cambios de tensiones por humedad, hinchándose, perdiendo cohesión, dando un alto índice de alterabilidad en presencia de agua, donde la temperatura alta del suelo expuesto al medio natural, cambia su estructura, bajando su peso unitario, aumentando la porosidad.

Los suelos de yesos expuestos directamente a los efectos del clima, son rocas sensibles que cambian sus tensiones y se degradan químicamente, reduciendo su volumen de forma rápida (colapso), al perder parte de sus componentes por disolución.



Fig nº 1. Erosión en pasillo de coronación.

Otro de los problemas que pueden presentarse y que no son visibles, es la de formar en algunas áreas de oquedades ocultas y profundas en el subsuelo (karstificación), pudiendo dar lugar a hundimientos del terreno natural, de manera total o parcial.

La erosión depende en gran medida, del grado de salinidad, pendiente, vegetación, mezclas de suelos, etc, siendo laminar y en cárcavas, muy acusada en algunos sitios, donde la red de drenaje es muy abundante y por tanto de una repuesta rápida en escorrentías superficiales.

La forma del color puede ser variada, siendo característica la presencia de cristales de sales o bien formaciones y deposiciones blancas, dependiendo de la disolución sufrida.

3. Fallos estructurales de suelos yesíferos.

En general, es difícil conseguir una estanqueidad total en una balsa, porque en un porcentaje determinado, existen pasos de agua que atraviesan la barrera impermeable y consiguen ponerse en contacto con el terreno natural, subyacente con la impermeabilización, filtrándose y contactando el potencial hidráulico, conforme la altura de nivel de agua en la balsa y su profundidad, localizándose su trayectoria en altos porcentajes cercana a la toma de salida. Fig nº 2.



Fig nº 2. Salida de balsa sin sistema de drenaje

Se puede afirmar, que en mayor o menor medida, resulta muy difícil asegurar una impermeabilización de un 100 %. Dependiendo de las características del suelo, estas líneas de flujos de agua en el suelo, pueden resultar perjudicial o no. En el caso de un suelo arenoso el drenaje natural está asegurado y en los demás suelos, es necesario crear un sistema de drenaje que alivien estas sub-presiones y eviten erosiones internas.

En los suelos yesíferos, el contacto de humedad permanente con el suelo natural, va a resultar muy perjudicial, pues va a producir disoluciones del suelo, con pérdida de material sólido, formando depresiones, huecos, fallos de estructura, donde la falta de soporte va a suponer tracciones en la pantalla impermeabilizante y rotura de la misma, que darán lugar a fugas masivas de agua a través de la pantalla impermeable.



Fig n° 3. Pérdida de soporte.

En las balsas con suelos yesíferos, los diseños de redes de drenaje para desalojar la presencia de agua por debajo de la pantalla impermeable, que son útiles en otros suelos, pueden presentar altas disoluciones de la conducción de la zanja donde se aloja el geotextil que contiene la gravilla y el tubo dren, perdiendo el soporte del fondo de la zanja con pendiente adecuada para evacuar el agua contenida. Fig n° 4.



Fig n° 4. Colapsos en drenes

La discontinuidad de pendiente en el dren da lugar a un estancamiento del agua contenida en los drenes, al igual que en la parte externa, dando lugar a un colapso del suelo, pudiendo afirmarse que esta técnica de drenes puede tener resultados no deseables en suelos salinos, si no se protegen las bases del fondo con material impermeable, para asegurar la pendiente de la canalización del agua hasta el colector de salida de los drenes.

4. Rotura de la balsa de Sangonera La Seca.

En Septiembre de 2.003, se produjo la rotura de la balsa de Sangonera La Seca, construida en suelos salinos, donde se evacuaron 175.000 m³ de agua en media hora,

cortando la autovía que une Andalucía con Francia, durante varias horas. En esta avenida no hubo daños personales. Fue una noticia que copó los noticiarios nacionales. En la Figura nº 5 tomado en vuelo aéreo por Protección Civil, al día siguiente del siniestro, se muestra la balsa siniestrada. El hecho de la falta de accidentes graves en la autovía, se debió a que la salida de la balsa no poseía una red natural de desagüe que concentrase el caudal desalojado, sino que la llanura de inundación se extendió en superficie, pasando la autovía, con una altura de agua inferior a los 50 centímetros. De haber tenido un paso de agua en caso de rambla, la obra de fábrica tenía que haber admitido un caudal imprevisible en algunos casos a los estudios de su cuenca para este tipo de obra, colapsando la estructura y provocando en algún caso, la rotura de la misma, por lo que hubiese revestido mayor gravedad.



Fig nº 5. Rotura Embalse Loma de las Salinas.

Esta balsa fue construida a principios del 2.000, con una capacidad de 200.000 m³. Las pérdidas materiales de la rotura produjeron 127 reclamaciones de afectados, varios accidentes de tráfico derivados del paso del agua sobre la autovía, limpieza viaria y RENFE, el valor del agua perdida, la falta de riego no aplicado en cultivos, la inutilización de la balsa durante el periodo de reparación y el costo de reparación de la misma.

Las causas de la rotura de la balsa fueron debidas a las fugas de agua por debajo de la lámina impermeable, provocando un socavón en el terraplén coincidente con la salida tubería de fondo y colector de la red de drenaje.

En la figura nº 4 podemos observar las depresiones que señalan la red de drenaje en forma de espina de pescado, así como dos hundimientos de solera que forman charcos, uno junto a la tubería de salida y la otra, en el pie del canal de entrada de agua. La pérdida del suelo de la solera se disolvió por el agua proveniente de los fallos de impermeabilización, dando lugar a tensiones en la lámina hasta romper y provocar la fuga masiva de agua por la parte coincidente con la tubería de salida y drenaje. Fig nº 6.



Fig n° 6.

La forma del hueco por donde escapó el agua fue abovedada, abriendo una boca como podemos observar en la figura n° 7. Se aprecian las distintas tongadas compactadas por la “costra” de sales precipitadas en cada fase. En un primer plano aparece la arqueta de regulación de la salida que estaba “abrazada” por la tubería de salida de PE, de 700 mm de diámetro, que sujetó la arqueta de ser arrastrada por el agua, según se aprecia, en la figura siguiente.



Fig. n° 7.

El yeso, en su estado natural, es muy compacto y presenta resistencia a la excavación.

A unos pocos cientos de metros más arriba de esta balsa (1), existe otra balsa siniestrada y abandonada (2), que se encuentra al inicio de una rambla muy erosionada, donde se formó el vaso de la balsa cerrando con un dique el inicio del barranco. Actualmente esta balsa está inutilizada. Fig n° 8.

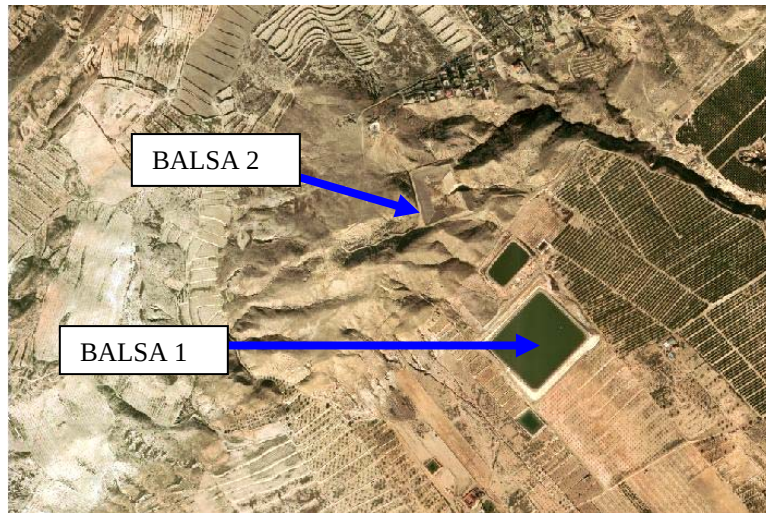


Fig. nº 8.

La forma de la rotura en esta segunda balsa fue en brecha y la salida del agua discurrió por la rambla. Fig nº 9.



Fig. nº 9

Esta segunda balsa poseía una altura de agua de 15 metros y una capacidad de 125.000 m³ de agua. La rotura coincidió con la salida de la toma del desagüe de la balsa. No se observa red de drenaje en la solera de la balsa. El origen de la rotura podría deberse a un fallo de la impermeabilización de la lámina, produciendo una fuga de agua importante hasta conseguir la rotura.



Fig nº 10

Es por tanto, que en el caso de roturas en balsas, la zona más vulnerable se localizaría en la confluencia de la salida de tuberías, donde previamente, han sido excavados a niveles inferiores del terreno natural.

5. Rotura de la balsa del Saladar.

Los suelos yesíferos modifican su estructura al disolverse en contacto con el agua. Las posibilidades de rotura de balsas en suelos yesíferos es muy alto, con respuestas inmediatas, como ocurrió con la rotura durante el primer llenado en la balsa del Saladar, en Albacete, con capacidad de 1 Hm³ (Fig nº 11)



Fig. nº 11.

Esta balsa se realizó con el fin de abastecer de agua potable a la población de Albacete. La impermeabilización se realizó con tratamiento asfáltico, mediante la aplicación de riego de imprimación (ECI) y dos capas sucesivas de 6 cms de mezcla bituminosa asfáltica (MBA) con árido inferior a 12 mm, textura cerrada con porcentajes de huecos inferiores al 1% para conseguir una permeabilidad inferior a 10^{-8} m/s. Figura nº 12. Podemos observar como la obra de fábrica constituida por una arqueta para la

salida del agua de la balsa, se encuentra liberada del terreno mediante excavación en todo su alrededor, al objeto de ser tratada con mayor atención.



Fig nº 12.

Es la entrega del material con función impermeabilizante a la obra de fábrica, de especial tratamiento, puesto que son zonas sensibles. Fig nº 13. En esta zona, se darían los fallos y fuga de agua en un alto porcentaje. Fig nº 13.



Fig nº 13.

En esta obra de fábrica, que se corresponde con la arqueta de salida, a pesar de su tratamiento manual de refuerzo con ECI, MBA, ocurrió que en su puesta en carga, durante su primer llenado, cedieron dichas juntas produciendo diferenciaciones de materiales, hormigón / asfalto, produciendo fugas de agua a su interior y alcanzando el agua al terreno natural. Fig nº 14. Se puede observar el escalón de la obra de fábrica que asoma por encima del nivel del agua, por donde se produjo el fallo de la impermeabilización y donde el agua realizó una auscultación en las cercanías, produciendo el fallo del paño lateral del talud.



Fig. nº 14.

6. Roturas de balsas en suelos salinos.

En general, la mayoría de los suelos presentan una heterogeneidad de composiciones que van a influir en como se rompen. La forma de rotura de balsa en suelos salinos se realiza en bóvedas, donde las capas de tongadas con las deposiciones de las sales de yesos, realizan una diferencia de consistencia. A la hora de horadar el agua estas zonas, tendrá más facilidad en la forma de lavados y concentraciones de estas sales, según posición en que se encuentran estas capas. Cuando la composición del suelo empleado en la construcción las sales están dispersas, sin concentraciones, como ocurre en el caso de margas yesíferas, la resistencia a ser horadada es menor, siendo inicialmente en bóveda para seguir en altura, mediante derrumbes que darán lugar a la forma de brechas. Fig nº 15.



Fig. nº 15.

7. Conclusiones.

Falta una norma o guía para la construcción de balsas en suelos yesíferos.

Aconsejable:

- ✓ Considerar en los análisis geotécnicos, el nivel de sales, su composición.
- ✓ En la fase de Anteproyecto:
 - Limitación de crecimiento vegetativo
 - Terrenos erosionados de forma laminar. Cárcavas. Dolinas. Hoyas.
 - Pasos de agua de lluvia con erosiones.
 - Nacimientos de aguas salobres cercanos
 - Ubicación sin excesivas pendientes. Mejor en terrenos llanos.
 - Movimientos del terreno con formaciones abruptas, colinas.
 - Cambios de tonalidades en suelo.
 - Estabilidad de estructuras cercanas (edificios, carretera, etc).
 - Exceso de desmonte con relación al terraplén.
 - Densidad superior a $1,7 \text{ t/m}^3$
- ✓ En la fase de Proyecto:
 - Limitación de altura del dique.
 - Pendientes de taludes suficientes. Mínimo 2,5:1 en interiores y 1,5:1 en exteriores.
 - Canalizaciones de agua de lluvia.
 - Drenajes exteriores.
 - Protección de pasillo de coronación mediante zahorra.
 - Vertido directo sobre lámina. Detalle de lámina con obras de fábrica.
 - Drenajes con soleras impermeabilizadas y con pendientes $< 0,5 \%$.
 - Pendientes de solera única con $< 0,25 \%$.
 - Empleo de hormigones sulfo- resistentes.
 - Empleo de materiales no corrosivos frente a los álcalis (geotextil de PP, tubos de aceros galvanizados, tubos de PE, PVC, PP, PRFV, etc).
 - Re-vegetación de taludes exteriores aprovechando la capa vegetal de la zona ocupada y siembra con plantas autóctonas.
- ✓ En la fase de Construcción:
 - Adecuar los materiales según necesidades constructivas. Fig nº 16.



Fig nº 16.

- Técnicas específicas aplicables para casos concretos, como son “tierras armadas con geotextiles”. Fig nº 17.



Fig nº 17.

Con esta técnica se consigue la formación de taludes estables en terrenos con alto índice de erosión como son las margas (Fig nº 17 y 18). Contra menos altura se de en la formación de terraza, mayor protección existe, conforme se apreció en el proceso registrado de lluvia durante la construcción al montar estas terrazas. Fig nº 19.



Fig nº 18



Fig nº 19.

La técnica consistió en aprovechar troncos de árboles derribados, previamente limpiados de ramas, donde se acoplaron mantas de geotextil en su parte interior, siendo elaborados de la siguiente manera: colocado el tronco transversalmente en la base con la base aplanada, se extendió la manta y se acompañó la parte del tronco de la manta en su parte interior, hasta culminar la altura del tronco, donde se realizan un par de dobles de la manta, plegándolo para clavetear con tachuelas o puntillas apoyadas en arandelas para asegurar suficiente contacto al tronco, siempre cercana a la parte superior del cilindro pero en el lateral, en el interior, al objeto de asegurar la falta de movimientos en la manta. Después se extendió el resto de la manta por la base y se procedió a rellenar con tierra, con cuidado de no arrastrar la manta para que no se arrolle, echando tierra encima de la misma, al principio con cuidado y después sin importar mucho, dando lo mismo la naturaleza del relleno, se completa un poco más de la altura del tronco dejando planos horizontales, culminado el proceso, se compacta sin excesivo celo en cárcavas y con mayor requerimiento en faldones de terraplenes.



Fig nº 19.

En general, es indiferente la naturaleza del relleno y su compactación, continuando el montaje con sucesivos troncos y mantas en forma de terrazas, hasta conseguir culminar la altura propuesta. Todos los planos de geotextiles sirven para drenar las sucesivas capas que se coloquen. Los troncos, al estar cubiertos, sufren un proceso lento de putrefacción e incluso si desaparecieran con el tiempo, los geotextiles de los laterales caerían protegiendo las zonas inferiores y si a eso le unimos que al ser los geotextiles porosos, permiten ser traspasados por raíces, tendremos un entramado seguro y eficaz para conseguir la estabilidad del terreno. Una vez terminado el proceso, se procedió a cubrir de tierras por la parte superior con tierra natural los diferentes escalones de troncos trabajados, quedando un talud 1,5:1. En los pies de esta tierra vertida, se formó una escollera de piedra para proteger deslizamientos. Siendo el aporte de tierra procedente del desbroce y con suficiente resto de material vegetal, se procedió durante todo el proceso de construcción de la balsa, en los tiempos muertos de la cisterna, a dar sucesivos riegos en esta zona, para que ayudaran a la nascencia de los restos de raíces y semillas de plantas autóctonas de la zona (esparto, tomillo, romero, coscojas, pinos...) y asegurar con su enraizamiento el terreno, quedando protegido de esta manera por plantas xerofíticas que forman un entramado de tamiz de fuertes raíces sobre el terreno y el geotextil. De todas formas, en la parte baja se formó una escollera, donde se plantaron vegetación propia de ribera, como granado, adelfas, taray, etc, para fortalecer esta zona.



Fig nº 20.

En resumen, se procuró el aprovechamiento de los recursos disponibles en el medio complementando técnicas que permitiesen el aprovechamiento de recursos naturales de la zona, la seguridad, la adaptación al ambiente natural y la economía de la obra.



Fig nº 21.