

B-07

EXTRACCION PERIODICA DE LOS SEDIMENTOS DEPOSITADOS EN BALSAS DE AGUA BRUTA

Bastante Ceca M. J. (1) Guillen Torres J. (2)

¹ Dra. Ingeniera Agrónoma y Licenciada en Ciencias Ambientales, profesora de la Universitat Politècnica de València. Pertenece a la Junta Directiva de la Asociación Española de Dirección e Ingeniería de Proyectos. E-mail: mabasce1@dpi.upv.es.

² Dr. Ingeniero Agrónomo, profesor titular de la Universidad de Zaragoza. Expresidente CR Lasesa. Vicepresidente de la Asociación Española de Dirección e Ingeniería de Proyectos. Certificado Nivel B como Director de Proyectos del sistema 4LC de IPMA. E-mail: jquitor@unizar.es

Resumen

La utilización generalizada de láminas de impermeabilización de polietileno de alta densidad (PEAD) y el desarrollo tecnológico de distintos sistemas para la extracción periódica y mecanizada de los sedimentos depositados en balsas de agua bruta, permite augurar que la vida útil de las citadas láminas superará ampliamente los 40-50 años, siempre que hayan sido correctamente instaladas y no sobre-envejecidas con el mantenimiento periódico ordinario, como es la extracción de sedimentos.

Hasta hace poco, esta operación se llevaba a cabo cuando se cambiaba la lámina de PVC (entre 6 y 12 años), adscribiéndose administrativamente como la ejecución de una obra de ingeniería. Hoy se trata de un servicio de simple mantenimiento ordinario, obligado por los términos de la propia concesión del agua. La operación se complica, técnica y económicamente, cuando el espesor o la potencia del sedimento aumentan.

Superan la docena los grados habilitantes de las universidades españolas para la redacción de un proyecto técnicamente seguro de balsas, y a mínimo coste; pero no nos consta que el análisis se haga para la actual vida útil de las láminas impermeables de estas infraestructuras, y cómo influirá el diseño inicial en el posterior coste de operación y mantenimiento.

En la comunicación se analizan algunas de estas variables, con distintos escenarios, y concluyendo con algunas sugerencias que podrán servir, a los prescriptores y promotores, para optimizar esos diseños en la globalidad de vida útil y, sobre todo, en las ya construidas y en operación, para reprogramar el escenario de gasto corriente que permita financiarlo a tiempo.

1- Introducción. Objetivo del trabajo.

Se pretende recopilar la experiencia de los autores y de una importante red de profesionales contactados que son responsables de la operación y mantenimiento de balsas de agua bruta con destino a riego, agua de boca a través de estaciones de tratamiento de agua potable (ETAP), agroindustria, y ganadería intensiva; con vistas a transmitir una serie de circunstancias que la experiencia ha puesto de manifiesto y que, al menos hasta ahora, parece que no son consideradas relevantes en los libros de texto y apuntes de las asignaturas impartidas en los distintos grados y masters que habilitan para el proyecto y

dirección facultativa de balsas de agua; pero que condicionarán, de una forma considerable, la operación y mantenimiento de la infraestructura durante toda su vida.

La realidad española es que la práctica totalidad de las infraestructuras de almacenamiento de agua ya están hechas, con un grado de seguridad magnífico; pues los reventones han sido testimoniales; casi todos por defectos en la construcción, más que en el proyecto, y de cuyos siniestros existen varias publicaciones de renombre en la literatura técnica de habla hispana, donde se recopilan, analizan a posteriori y con mucho rigor, las posibles causas que los provocaron, visto los efectos.

Por otro lado, la experiencia operativa de los mejores y más reconocidos profesionales suele estar reducida al conocimiento profundo de un pequeño número de balsas; y si se trata de prescriptores, las contadas construcciones suelen tener un marcado acento de autor. En definitiva, experiencias personales de no más de una veintena de actuaciones, tienen dificultad, o excesiva prudencia profesional, para hacer públicas las experiencias propias, y para acceder a las de otros colegas, por idéntica razón.

2- Descripción del tema.

En este capítulo se han recopilado una serie de ideas, extraídas de las experiencias que les han sido transmitidas a los autores, y que éstos han seleccionado, de una forma cronológica y secuencial. El objeto es que se analice, y consideren también, en el proceso de diseño, construcción y explotación de balsas de agua bruta, la **obligación legal que tiene el concesionario de la masa de agua** para las infraestructuras, en cuanto respecta a la extracción de los sedimentos depositados en el fondo.

2.1- Parámetros del proyecto considerando la eficiencia en la operación

Las láminas (geomembranas) de polietileno de alta densidad (PEAD) se han hecho con el mercado de impermeabilización de balsas, tanto por sus propias características mecánicas, de durabilidad, como por su fácil instalación, reparación, y precio ajustado.

Las **geomembranas** de PEAD puestas en el mercado español, en general, son de una alta calidad; y si se colocan sobre una subbase adecuada, bien refinada, con una tela de geotextil de fibra virgen (por ejemplo, de polipropileno no tejido y gramaje no inferior a 250 g/m²), sin elementos rígidos sobre la lámina (como pueden ser riostras, muertos, o escalas), es instalada por profesionales que hayan estudiado y dibujado previamente como se van a extender los rollos, dónde y cómo se harán los pliegues, y finalmente verificada la unión estanca por doble soldadura mediante aportación de material por extrusión, puede asegurarse que su durabilidad se estima en, no menos, de 40-50 años; siempre que no se acelere después en explotación, por labores inadecuadas de mantenimiento ordinario, y a la vista del estado actual de conservación de aquellas que ya llevan dos décadas instaladas, dejando aparte las de los primeros años.

Desde el punto de vista operativo en explotación, cabría sugerir que probablemente la **máxima eficiencia** (capacidad, inversión y explotación) se logrará con PEAD, banquetas y pista perimetral en coronación con forma de paralelogramo. Taludes interiores de una pendiente comprendida entre 2:1 y 1.5:1. El talud exterior el que resulte por cálculo definido previamente el interior; no es necesario rampa hormigonada ni escalera de acceso al fondo de vaso. En la mayor parte de los casos, las bermas tampoco aportan estructuralmente nada. La máxima cota de lámina de agua, se calculará atendiendo también al histórico de vientos, preferiblemente sin elementos perimetrales (pretilos) con función de vuelta-olas, de

forma que la probabilidad de que se encharque la pista perimetral sea inferior al 1% de la vida útil.

Se sugiere que la **obra de toma** cuente con desacelerador, reja filtro y desarenador practicable; este último, incluso si es agua procedente de pozo. La **salida de agua**, preferiblemente a cota cero y en una esquina, bien horizontal o vertical. No es recomendable prever un volumen muerto ni la instalación de brazos articulados para captación flotante, pues el problema de extracción de sedimentos está tecnológicamente resuelto, de una forma barata y solvente.

La **pista perimetral** que corona la banqueta deberá permitir el paso de camiones y auto grúas, por lo que la anchura no debe ser inferior a 5.0 m y las curvas con radio interior no inferior a 20 m. Subbase y capa de rodadura de calidad, de forma que permita 10 Tm por eje en toda su anchura. El vallado de protección anti-intrusismo, será instalado por la parte exterior de la pista perimetral. No interponer pretil, murete, muertos, ni bolardos entre pista perimetral y vaso.

Se diseñará una **red de drenajes** segmentada, de forma que sea fácilmente identificable la superficie de procedencia de la fuga, si esta se produce. Deben colocarse también para los taludes; y de forma independiente y a otras arquetas para descargar las aportaciones del entorno tras periodos lluviosos. La arqueta de recogida de efluvios debe tener una sección suficiente y provista de pates para la cómoda inspección y medición de caudales cuando estos afloren.

Resulta imprescindible que en el **estudio de viabilidad**, antes del proyecto, se incluyan los costes de operación específicos de la obra proyectada, y se actualicen algunos planteamientos arcaicos como la previsión de sustituir la lámina a los 10-15 años, el origen y evolución prevista del precio de la energía para garantizar el servicio, las expectativas de subvenciones para ampliar, modernizar o remodelar la infraestructura, etc. Finalmente, deben analizarse esos escenarios casi exclusivamente desde un punto de vista de **Valor actual neto (VAN) de las salidas de caja**, pues estas infraestructuras nunca han tenido dificultad en la financiación externa para cubrir la inversión inicial, ni se prevé que la tengan en los próximos años.

Resulta relevante una elevada **calidad técnica del proyecto**, pues reducir en la contratación el coste del mismo, pensando que ya se resolverá con la Dirección de obra, augura sobrecostes diversos, de entre uno y dos órdenes de magnitud superior a la presunta reducción primigenia; y lo que todavía es peor: se terminará buscando una solución de compromiso, modificando el proyecto en la construcción (con la inestimable colaboración del contratista y sin atender al que vaya a ser el responsable de explotación) para que los costes no se disparen al tener la financiación cerrada. Solo ha título de ejemplo, uno de los autores de esta comunicación ha visitado durante los tres últimos años y tenido acceso documental a **más de 400 balsas en explotación superiores a una Hectárea** de superficie impermeabilizada, y **se pueden contar con los dedos de una mano, las que se han ejecutado de acuerdo al proyecto** inicial; y pocas más las que han recogido los cambios realizados durante la construcción en los planos fin de obra.

2.2- Supervisiones de acabado durante la construcción

Como se ha indicado anteriormente, no es objeto de este trabajo tratar el tema estructural ni de seguridad de las balsas, pues los resultados a este respecto, creemos son inmejorables.

Ahora bien, el trabajo se focaliza en **minimizar el VAN** de inversión más gasto corriente de la infraestructura, considerando toda su vida útil (40-50 años). Y sobre todo haberse

garantizado en proyecto que la alcance. A este respecto, resulta fundamental la zavorra aportada como subbase, su compactación, su refinado y buen acabado de taludes y fondo se hagan con extremado celo y buen oficio; para ello no queda más alternativa que colocar a un supervisor de la propiedad, suficientemente capacitado y responsable, de forma permanente a pie de obra durante toda la construcción, al objeto de que se coloque el material de calidad contratado y no otro, ni de otra forma, ni con un acabado distinto; y además, lo documente.

En las atarjeas abiertas para la instalación de los **drenes**, debe asegurarse la sección y protección de la cámara, integridad, continuidad y segmentación de los tubos, antes de completar su cierre.

En cuanto a la colocación de **lámina impermeable** se hará de forma que solapen todas con un mismo criterio, previendo la utilización ulterior de lanzas de agua en el sentido del desagüe de fondo. Los pliegues de dilatación deben estar preestablecidos con orientaciones lógicas y croquizadas, no al albur del instalador. La estabilización de las geomembranas extendidas antes de soldarlas, se hará mediante sacos con arena, nunca con bordillos ni lastres de hormigón. Al terminar, los sacos se retiran llenos, o se rajan para que quede la arena en el fondo hasta la primera limpieza. Ningún vehículo autopropulsado circulará por la lámina extendida. La soldadura será de doble línea, con aportación de material extrusionado, y verificación neumática de todos los tramos.

Resulta necesario instalar, desde un principio, algún **sistema antialgas**. Los hay de principio físico como pueden ser ultrasonidos, bolas o piezas flotantes en superficie que impiden la entrada de la luz, Aditivos líquidos de superficie que reflejan la radiación, redes de microaireación, etc. Y también de principio químico con residuo cero, como pueden ser los tratamientos con permanganato potásico (KMnO_4), hipoclorito sódico (NaClO , lejía), peróxido de hidrógeno (H_2O_2 , agua oxigenada), iones cobre (no sulfato de cobre), etc.

No deberá utilizarse sulfato de cobre u otra sustancia que convierta los sedimentos en residuos, pues en este caso deberán ser retirados y tratados a través de un gestor de residuos. Aun así, la adición de algunos aditivos de residuo cero, hace que algunas comunidades autónomas interpreten que con la operación los sedimentos se han convertido en residuos, aunque no sean peligrosos. Del mismo modo, la retirada de algunos organismos vivos, como briozoos también son considerados residuos.

Si se trata de un área con aguas colonizadas por bivalvos exógenos, deberá preverse desde el proyecto, la forma de su control en las canalizaciones y, en su caso, la limpieza de los elementos rígidos de la balsa, pues en la lámina PEAD no suelen fijarse, y la solución no puede ser vaciar durante una semana al año paranada, y volver a empezar.

2.3- Operación durante la explotación

Tal como se ha indicado de forma reiterada, aquí se recogen aquellas tareas que no están expresamente recogidas dentro de las obligatorias para la seguridad de la infraestructura, y que entendemos resulta conveniente llevarlas a la práctica, no solo para mantener la balsa en perfectas condiciones de explotación y la garantía de calidad del agua acopiada, sino para disminuir el gasto corriente global. En otras palabras, un **mantenimiento predictivo** que ahorra costes futuros de más de dos órdenes superiores por el correctivo que aplicará de no hacerse nada.

Entendemos que la primera actividad es definir el alcance y **presupuestar el gasto corriente**. Dentro del mismo, con una partida para prever caja que pueda atender las

limpiezas periódicas y repercutirla de forma proporcional al consumo de agua que ya se ha realizado con anterioridad y es el que ha propiciado esos sedimentos.

Una de los aspectos más positivos, en cuanto a operación se refiere, es la estabilidad profesional, **poca rotación y movilidad de los técnicos** que se encargan de estas tareas. Ello les permite una visión a largo plazo y plantear actuaciones con esa perspectiva; aunque muchas veces chocan con la posición de las Juntas de gobierno de las comunidades de regantes, y de los Directores financieros en las empresas agrarias, que anteponen el hoy, aun cuando suponga importantes sobrecostes para pasado mañana; pero que ya justificarán en su día, como si de una avería sobrevenida se tratara, sin reconocer nunca que ha sido consecuencia de un grave error de gestión.

Con carácter mensual deben revisarse los **drenes**. Se acepta como estándar sistémico y admisible, unas pérdidas por la impermeabilización de hasta el 1‰ diario de la capacidad de la balsa, para esperar hasta fin de temporada y proceder a su reparación. Si son superiores o el agua arrastra finos, habría que desembalsar y reparar antes, para garantizar la estabilidad de la infraestructura.

Es muy importante el seguimiento diario de estos drenes mientras se llena la balsa por primera vez y un mes posterior, para tener la garantía de que no se han dejado fugas en la impermeabilización; y también durante los primeros periodos de lluvia, para verificar el buen funcionamiento tanto del sistema de drenaje de la impermeabilización de la balsa, como del de las escorrentías externas.

También mensualmente debe revisarse el **sistema anti algas** y verificar la ausencia de algas y plantas acuáticas, para evitar que se conviertan el fondo y los taludes orientados al sur, en una selva subacuática. Si existen algas y plantas acuáticas, es preferible retirarlas a la vez que se extraigan los sedimentos. Si se matan y no se retiran, encarece sobremedida la extracción posterior, pues no llegan a descomponerse los tallos leñosos, formando con los sedimentos arcillosos una especie de argamasa para hacer adobes, de complicada y cara extracción.

Anualmente debe evaluarse el espesor (y volumen) de **sedimentos depositados** en el fondo y parte inferior del talud interior, al objeto de realizar la extracción de éstos cuando aún son manejables. La razón es de puro sentido común y de **equidad generacional**, pues se trata de una infraestructura de vida y financiación intergeneracional (25-50 años) que no debe hipotecar el futuro de la siguiente generación dejándole una balsa colmatada de sedimentos.

La **retirada periódica de esos sedimentos viene impuesta**, muchas veces de forma explícita, en las autorizaciones administrativas de las infraestructuras de almacenamiento (mantenimiento de las mismas) y en las concesiones de agua. Recuérdese que el art. 59.1 de Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas, establece que **“todo uso privativo de las aguas no incluido en el artículo 54 (pluviales estancadas, manantiales y de pozo hasta 7.000 m³/año) requiere concesión administrativa”**.

Además el mantenimiento durante la operación también viene recogido, de forma genérica, en la legislación básica del Estado, véase el art. 32.1 de la Orden del Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente de 12 de marzo de 1996 por la que se aprueba el Reglamento técnico sobre seguridad de presas y embalses; Por otro lado la Norma Técnica de Seguridad para la Explotación, Revisiones de Seguridad y Puesta Fuera de Servicio de Presas y Embalses (borrador 2011) ya engloba en su alcance la gran mayoría de balsas de riego, en sus art. 3º y en el 7.3. En el art. 21.2 obliga a que, **“quede garantizada tanto su conservación y su explotación”**. Sigue el art. 24.1 que instruye **“El titular debe mantener**

las instalaciones en un estado que permita realizar adecuadamente todas las actividades relacionadas con su explotación". Y concluye con el 24.3 que dicta "**El Plan de mantenimiento de las balsas deberá incluir, además, las determinaciones relativas al sistema de impermeabilización**".

Bajo ningún concepto deben **dejarse secar los sedimentos**, pues se forman cuerpos como cascotes de botijo roto colmatados por macromoléculas de arcilla, que una vez secos, al humectarse después ya no se disgregan, complicando o impidiendo la extracción posterior de esos sedimentos por vía húmeda o sin desembalsar.

2.4- Composición de los sedimentos

Se trata de sedimentos inertes, de origen y desarrollo natural y cuyo destino posterior, una vez realizado el oportuno estudio, y en su caso tras la solicitud de las autorizaciones pertinentes, puede ir: como corrector de texturas, enmienda o acondicionador complementario de suelos agrícolas, para reponer el sustrato o suelo erosionado por torrenteras, para rellenos no estructurales, y en el algún caso particular, para llevarlo directamente a vertedero público.

Cuando se trata de aguas para riego, la analítica del agua almacenada suele hacerse en un laboratorio oficial agroambiental en el que se determina la salinidad, cationes, aniones, pH, índices, nitratos, amonio, fosfatos, potasio, hierro, cobre, manganeso y cinc. A los sedimentos se les someterá, en su caso, a una determinación de fertilidad (pH, CE, MO, P, K, Mg), de textura (arena, limos y arcilla), de salinidad (cationes) y de micro-elementos.

En algunos casos, los análisis de agua recogida de la balsa (cuando así lo requiere la administración competente) se realizan en un laboratorio oficial según el criterio de calidad del Real Decreto 1541/1994, que modifica el Anexo I del Real Decreto 927/1988, Reglamento de Administración pública del agua y planificación hidrológica.

Ese Real Decreto 1541/1994 establece los objetivos o niveles de calidad de las aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable. Con este análisis se tiene un dato objetivo para garantizar que con las **escorrentías de los sedimentos extraídos** no van a contaminar químicamente cauces de agua superficial ni acuíferos de los que se abastece una población. Así se cuantifica la concentración de los parámetros siguientes: pH, Conductividad, Sólidos en suspensión, Demanda Química de Oxígeno, Amonio, Nitratos, Cianuros, Hierro, Manganeso, Cobre, Zinc, Arsénico, Cadmio, Plomo y Mercurio.

En algunos casos especiales, también se cuantifican trazas de Boro, Cromo, Fosfatos, Detergentes, Sulfatos, Cloruros, Plaguicidas e Hidrocarburos Policíclicos Aromáticos.

La **analítica** de estos sedimentos, cuando no se han aportado aditivos al agua, son muy homogéneas de una balsa a otra, en cuanto a textura y parámetros de fertilidad se refiere. Por el contrario, los minerales, cationes y micro elementos dependen del origen de captación del agua, y si se ha aplicado algún tratamiento anti algas.

A título de ejemplo, se muestran, en el Cuadro 1 adjunto, dos analíticas de sedimentos, uno extraído de una balsa con toma directa de la cuenca central del Río Ebro y con aguas de elevada rotación, sin que nunca se les haya echado ningún aditivo para el control de algas, y el segundo de la cuenca baja del Guadalquivir, en el que la analítica apunta que se han añadido distintos aditivos para el control de algas.

En algunas balsas de aplicación ganadera también aclaran el agua utilizando un floculante alimentario como el sulfato de aluminio ($Al_2S_3O_{12}$) con pureza del 99% que aporta un 15-

19% de Al₂O₃, si es cristalizado (sólido). Los sedimentos de aguas así tratadas suelen ser considerados como residuos por algunas comunidades autónomas.

Analítica	Parámetro	Metodo	Unidad	C. Ebro	C. Guadalq.
TEXTURA . Criterio USDA (masa seca al aire)	Arena (0,05 a 2 mm)	Sedimentación	% pp	2,99%	1,79%
	Limo grueso (0,02 a 0,05 mm)	Sedimentación	% pp	6,18%	2,20%
	Limo fino (0,002 a 0,02 mm)	Sedimentación	% pp	61,85%	60,58%
	Arcilla (< 0,02 mm)	Sedimentación	% pp	28,98%	35,43%
	Suma			100,00%	100,00%
FERTILIDAD (masa seca al aire)	pH al agua 1:2,5 por potencionmetría	MT SUE 007	N/A	8,10	7,80
	Prueba previa salinidad (CE 1:5, 25°C) electrometría	Orden 05/12/75	dS/m	0,80	1,00
	Materia organica oxidable por espectrofometría	MT SUE 002	g/100 g	2,70	5,42
	Fosforo soluble en bicarbonato sodico (OLSEN) por espect	MT SUE 003	mg/kg	47,00	17,00
	Potasio (Extracto acetato amonico) por ICP OES	MT SUE 008	mg/kg	176,00	390,00
	Nitrógeno en forma de Nitratos (N-NO3) porespectrofotome	MT SUE 005	mg/kg	8,00	10,00
MINERALES NO SILICATADOS (masa seca al aire)	Carbonato calcico equivalente por volumetría	MT SUE 004	g/100 g	51,00	56,00
	Caliza activa por volumetría	MT SUE 006	g/100 g	12,65	18,35
CATIONES DE CAMBIO (masa seca al aire)	Magnesio (extracto acetato amónico) por ICP OES	MT SUE 008	mg/kg	191,00	890,00
MICROELEMENTOS (masa seca al aire)	Hierro (Extraido con EDTA)	ABS. ATOMICA	mg/kg	131,00	109,20
	Cobre (Extraido con EDTA)	ABS. ATOMICA	mg/kg	4,50	46,40
	Manganeso (Extraido con EDTA)	ABS. ATOMICA	mg/kg	18,88	43,00
	Cinc (Extraido con EDTA)	ABS. ATOMICA	mg/kg	0,58	10,98

Cuadro 1. Detalle analíticas de los sedimentos extraídos de dos balsas de cuencas distintas y captaciones de agua superficial, que pueden considerarse como ejemplos tipo de la composición de sedimentos y rangos de variación cuando el agua no ha sido tratada y cuando se han adicionado productos anti algas.

Puede observarse que en ambos casos los sedimentos encajan incluso con la normativa del valor límite de concentración de metales pesados en suelos agrícolas para ser usados tal cual (salvando la textura), esto es sin dispersarlo ni mezclarlo; y tomando como referencia la regulación establecida para la aplicación de lodos procedentes de depuradora que se muestran en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Anexo I-A del valor límite de concentración de metales pesados en los suelos, expresado en mg/kg de materia seca de una muestra representativa de suelos, tal como se define en el Anexo II-C del Real Decreto 1310/1990, de 29 de octubre, por el que se regula la utilización de los lodos de depuración en el sector agrario.

Parámetros	Valores límite	
	Suelos con Ph menor de 7	Suelos con Ph mayor de 7
Cadmio	1	3,0
Cobre	50	210,0
Níquel	30	112,0
Plomo	50	300,0
Zinc	150	450,0
Mercurio	1	1,5
Cromo	100	150,0

2.5- Extracción de los sedimentos

El propietario u operador de la infraestructura deberá establecer como pretende extraer los sedimentos depositados, siendo consecuente con el plan de viabilidad y la vida útil que se haya establecido para la lámina impermeable; si se trata de PEAD, unos 40-50 años.

Antes de iniciar ninguna actuación, el propietario u operador deberá conocer si alguno de los peces, anfibios, bivalvos, etc. que pueblan su balsa, tienen algún tipo de **catalogación** y qué es lo que la comunidad autónoma tiene regulado al respecto, incluido para las especies invasoras. También es conveniente conocer si la zona donde se van a depositar los sedimentos extraídos cuenta con alguna **especie endémica** o con algún grado de vulnerabilidad que es necesario proteger.

La extracción de sedimentos, por cualquiera de los procedimientos que luego se expondrán, es considerada una **actividad peligrosa**; por lo cual debe disponerse con antelación del preceptivo estudio de riesgos, plan de prevención, salud laboral y de emergencia; y que las medidas de protección estén integradas en los procedimientos operativos que van a aplicarse. Las sanciones por quebrantar la legislación a este respecto pueden superar, solo ellas, de forma unitaria y ampliamente, el coste total presupuestado para la limpieza.

Otro aspecto a considerar son los **seguros**, los cuales deben cubrir cualquier evento sobrevenido y que sean de aplicación inmediata en caso de siniestro acaecido en la limpieza de la infraestructura, bien para las personas, los bienes de terceros o la propia balsa. Esto no suele cubrirlo el seguro de responsabilidad civil del propietario de la infraestructura, ni tampoco de forma total cuando se ejecuta con gremios que solo cubren parcialmente la actividad.

Lo expuesto casi obliga a que estos trabajos sean realizados mediante contrata a una **empresa de servicios especializada**; y si se quiere hacer directamente, a designar un **ingeniero de plantilla** o uno externo para que organice, documente, y dirija la actividad.

En balsas pequeñas de un único propietario que pueden estar vacías varios meses, la extracción de sedimentos suele realizarse por **vía seca**, utilizando manualmente rastrillos y escobones. El riesgo de dañar la lámina por los tacones de las botas al andar y de las palas al cargar es elevado, aun suponiendo que la operativa de extracción de las sacas, o contenedores, con los sedimentos se haga con una auto grúa y que ningún vehículo autopropulsado pise la lámina impermeable.

En la extracción por **vía húmeda**, esto es desembalsando y retirando los sedimentos en dispersión mecánica, el riesgo disminuye con respecto a la vía seca, siempre que no se introduzcan elementos de tracción mecánica (mini cargadoras, tractores, etc.) para empujarlos hasta el punto de extracción.

La utilización de **elementos con ruedas motrices** conlleva un rápido envejecimiento prematuro de las láminas, pues ninguna subbase está perfectamente refinada para mover arrastrando o cargado el sedimento. Téngase en cuenta que cada m³ pesa entre 1.100 a 1.600 kg, dependiendo de los áridos gruesos que lo compongan, y que las dos ruedas motrices lo van a trasladar, en una buena medida, a esfuerzos tangenciales sobre la lámina, lo cual va a producir tensiones con los áridos que sobresalgan de la subbase. Este sobreesfuerzo se multiplica en los cambios de dirección con el volante y hay que tener en cuenta que los puntos de concentración para la extracción suelen ser uno, o un par a lo máximo, para toda la balsa; lo que implica que por las zonas próximas a la extracción, los viajes con carga pueden ser cientos para una sola extracción periódica y quede literalmente machacada una amplísima superficie.

Las consecuencias de estas actuaciones sobre la lámina son algunos **pinchazos** que para visualizarlos requieren lavar la lámina con **lanzas de agua a media-alta presión**. Otro riesgo más si no se sigue el sentido favorable de las soldaduras, pues la fuerza ejercida por el agua puede abrir una soldadura cuando se coge a contrapelo. Y si al construir la balsa no se pensó en realizar todas las soldaduras para que no se dañen con esta acción de empuje a la zona más profunda, está asegurado que algún tramo se lavará a contrapelo.

La **reparación de estos pinchazos** puede hacerse soldando un retajo de polietileno de baja densidad (PEBD), o mejor aún, mediante cordón de polietileno extrusionado y fundido hasta reponer el material y estanqueidad de la lámina. Si se hace bien, no queda menoscabada ni la funcionalidad ni la durabilidad de la lámina.

El problema causado, no se ha hecho patente con los pinchazos citados y se ha solucionado con el parcheo; sino que habrá otros muchos puntos que se habrán tensionado, sin llegar a rasgarse, desaparecerá aceleradamente el negro de humo de ese área de la lámina, se **oxidará** y, recuérdese que el guijarro sigue debajo, el agua se mueve y la lámina también; por lo que se perforará en cualquier momento posterior, mucho antes de alcanzar la vida útil que previó el fabricante.

Tampoco es solución cambiar la lámina del fondo de la balsa y mantener las de los taludes, pues por muy bien que se hagan los pliegues de dilatación y la soldadura, siempre van a quedar tensiones que terminarán produciendo fisuras en la lámina primigenia junto al encuentro soldado.

Otra forma tecnicada de extraer los **sedimentos es sin desembalsar**. Utiliza robots submarinos, algunos de ellos con tracción motriz directa sobre la lámina, otros traccionan sobre cadenas de goma, y otros llevan ruedas locas, traccionando desde la pista perimetral. Todos ellos se caracterizan por succionar el sedimento disperso en agua, pero sin arrastrarlo por el fondo, con lo que las acciones verticales sobre la lámina son mínimas (en todos los casos menor que el esfuerzo transmitido por el tacón de una bota) y los tangenciales admisibles en el caso de tracción directa con un buen operador, y nulos cuando el avance es a través de una oruga o con ruedas locas. Si bien todos estos robots cuentan con circuito cerrado de televisión (CCTV), la visión es limitada en aguas con partículas en suspensión o elevado contenido en algas y fitoplancton, por lo que puede darse el caso de que en algún momento arrastren algún elemento sólido (bordillo, piedra grande, perfil metálico) que se encuentre en el fondo, y al que nunca debiera haber llegado

Si la extracción de los sedimentos se va a hacer **por contrata**, conviene conocer un poco la estructura de precios que ofertan las distintas empresas que prestan estos servicios. Podemos resumirlo de la siguiente forma:

- ✓ Ofertas con un alzado (desplazamiento) y luego a precio horario del equipo de trabajo, sin compromiso de plazos, ni de rendimientos.
- ✓ Ofertas con un alzado muy elevado y luego precios unitarios bajos para un volumen preestablecido, pero no válidos en cuanto el volumen de sedimentos se incrementa.
- ✓ Ofertas con un alzado que cubre el desplazamiento y montaje de los equipos, y luego precios unitarios fijos para aplicar al volumen realmente extraído

En general, el **coste final unitario** de extracción de los sedimentos suele ofrecer un mínimo entre 15 y 20 cm de espesor, llegando a duplicar ese unitario cuando el espesor supera los 60 cm. y a triplicarlo cuando pasa de los 120 cm.

Además de lo anterior, debe **exigirse a la empresa especializada** la formalización de un contrato que especifique el alcance, así como si necesitan algún tipo de ayuda o solo que se les de la llave del recinto, las garantías, responsabilidades que asume, y en su caso las fechas que tendrá la balsa vacía sin operatividad.

2.6.- Extracción de algas y plantas acuáticas

Cuando el desarrollo de algas y plantas acuáticas está arraigado, la extracción de estas encarece notablemente el precio de limpieza.

Esta situación **impide de facto la extracción por vía húmeda**, salvo que antes se dejen secar con la balsa vacía, luego se rompan con lanzas de agua a presión o mediante la introducción de maquinaria, con el grave riesgo para la integridad de la lámina que ello conlleva.

Las empresas que ofertan la **extracción sin desembalsar**, disponen de equipos que las arrancan y acarrear hasta el talud, trabajan con ruedas locas y traccionan desde la pista perimetral. Pero una vez allí hay que retirarlas a brazo, cada m³ pesa algo más 1 Tm y en cada maniobra con horca no se sacan más de 20 kg. De ahí el elevado precio unitario de extracción.

Una vez retiradas, debe implementarse de inmediato algún sistema anti algas, pues se trata de especies muy oportunistas, de fácil reproducción, de rapidísimo desarrollo en aguas templadas, ricas en oxígeno y con luz, que es como queda la balsa tras su limpieza. De no hacer nada, al mes (entre abril y noviembre) habrá una pradera homogénea de unos 5 cm; y en unos pocos meses se habrá generado una cosecha idéntica a la retirada.

2.7.- Depósito y destino de los sedimentos extraídos

Tal como se viene indicando, los sedimentos de agua bruta en balsas de riego, cuando no se les han añadido aditivos, son considerados como “no residuos” según se establece para los sedimentos reubicados en el interior de las aguas superficiales a efectos de gestión de las aguas (Ley 22/2011 de 28 de julio de residuos y suelos contaminados, según su artículo 2^a, punto 3).

En aquellos casos de **pequeñas balsas** en que se recogen los **sedimentos secos**, ya están adecuadamente contenidos, para darles uno de los destinos que se indicará más adelante.

Dejando al margen los que obvian toda regulación, respeto ambiental, y empujan los sedimentos por el desagüe de fondo, con la esperanza de que nadie les denuncie, en **balsas medianas y grandes** se suele respetar escrupulosamente la legislación, y los sedimentos son absorbidos mediante una o varias bombas; los fluidos extraídos (dispersión mecánica y suspensión coloidal) son conducidos hasta una pequeña represa hecha en el terreno circundante. Aquí se produce una sedimentación natural en la que los elementos inertes (gravas, arenas, arcillas y limos) quedan en el fondo.

Si la balsa tiene en el fondo **bordillos, bloques u otros elementos** que se utilizaron durante la construcción para evitar el efecto vela de las geomembranas, se recomienda retirarlos en cuanto sea posible, pues no le hacen ningún bien a la lámina; en el proceso de limpieza solo van a encarecerlo, y quizá a producir roturas, si alguno de ellos se encuentra en un lugar no esperado. Algunas empresas ofrecen la tecnología y un servicio de alquiler de equipos para retirar los bordillos y placas distribuidos por el fondo, que están alejados de los taludes. Para las líneas que siguen el encuentro talud-fondo, puede hacerse con pales con la base protegida y auto-grúa emplazada en la pista perimetral

Los **depósitos orgánicos naturales** y rápidamente biodegradables, procedentes de hojarasca, polen, plancton, algas y otras plantas acuáticas que han llegado o se han desarrollado en el interior del vaso, salen troceados en pedazos minúsculos por la acción de las turbinas, terminándose de oxidar en unas pocas horas; en cuanto se oxidan y deshidratan no suelen sobrepasar el 3% en peso del sedimento seco (véase Cuadro 1 anterior), y al quedar en superficie son arrastrados por el viento.

Algunas empresas de servicios disponen de **sacas drenantes** con porometría entre 40 y 60 micras, donde descargan el fluido extraído. En ellas se retienen los áridos y limos más gruesos, así como las macromoléculas de arcilla. El agua que emana de las sacas con una componente vegetal alta si es el caso, al contacto con el aire se oxida y el aspecto del agua fluyente cambia rápidamente de un color de negro crudo de petróleo, a un color gris ceniza.

Otras empresas de servicios especializados también ofrecen **llevar los fluidos extraídos hasta el punto final de distribución, y de forma continua**, en alguna finca próxima, y hasta distancias del entorno de 1 km, si existe algo de pendiente favorable.

Los estériles que quedan en la represa próxima a la balsa, una vez deshidratados (secados por evaporación natural), pueden ser **utilizados** directamente como corrector de la textura de suelos agrícolas, para rellenar zonas erosionadas de carácter no portante ni estructural, o para llevarlos a vertedero autorizado.

2.8.- La oferta del mercado en marzo 2019

Para **balsas pequeñas y vía húmeda**, de hasta unos 500 m² de fondo y hasta 20 cm de espesor de sedimentos, siempre que pueda desembalsarse, existe una amplísima oferta, con procedimientos manuales (lanzas y escobillones), mecanizando exclusivamente la extracción (chupado) de los sedimentos empujados con anterioridad a un punto del fondo. Precios unitarios promedio global: desde unos 31 €/m³, aunque es difícil encontrar un único contratista que preste el servicio completo

Para balsas de hasta 2.000 m² de fondo y hasta 20-30 cm de espesor, siempre que pueda desembalsarse, existe suficiente oferta, con procedimientos mecanizados (mini cargadoras, tractores adaptados, lanzas, escobillones y autobombas), para arrastrar los sedimentos a un punto del fondo y luego absorberlos hasta pista perimetral para descarga en proximidades. Precios unitarios promedio global: desde unos 26 €/m³, aunque a veces se requiere más de un contratista para completar el servicio.

Para balsas de hasta 6.000 m² de fondo y hasta 20-30 cm de espesor, siempre que pueda desembalsarse, escasa oferta, con procedimientos mecanizados (mini cargadoras y tractores adaptados, lanzas, escobillones y autobombas), para trasladar arrastrando los sedimentos hasta uno o varios puntos del fondo, para luego absorberlos hasta pista perimetral y descarga en proximidades. Precios unitarios promedio global: desde unos 21 €/m³. Existen varios contratistas que se encargan del proceso completo.

Para **balsas medianas y vía húmeda** de hasta 10.000 m² de fondo y hasta 20-30 cm de espesor, siempre que pueda desembalsarse, mínima oferta, con procedimientos mecanizados (mini-retros y tractores adaptados, lanzas, escobillones y autobombas), para trasladar los sedimentos a varios puntos del fondo y luego absorberlos hasta pista perimetral con descarga en proximidades. Precios unitarios promedio global: desde unos 16 €/m³ desembalsando y algo por debajo de esa cifra sin desembalsar. Los contratistas suelen encargarse del proceso completo.

Para **balsas grandes**, desde 10.000 m² de fondo y más de 20 cm de espesor, solo hemos localizado una empresa que ofrece este servicio, con procedimientos mecanizados (robots subacuáticos), para trasladar los sedimentos directamente desde su lugar inicial hasta el punto de descarga, sin arrastrarlos por el fondo y **sin desembalsar**. Precios unitarios promedio global: desde unos 11 €/m³ y un único contratista realiza el proceso completo.

3- Conclusiones.

La operación durante la explotación de las balsas de agua bruta debe ser considerada junto a la inversión, para establecer aquel escenario de construcción y explotación que presente un mínimo VAN, cubriendo las necesidades hídricas, y de ahí determinar los parámetros básicos.

En las balsas existentes, impermeabilizadas con PEAD, debería reestudiarse también ese mínimo VAN, asumiendo la presencia del coste hundido de la inversión y de costes aplazados por una falta de mantenimiento en los años pasados.

Es una obligación (impuesta y no potestativa) del concesionario de la masa de agua (como bien público y escaso), mantener las infraestructuras, y entre ellas se encuentra la de mantener la calidad del agua, lo que implica la extracción periódica de los sedimentos.

La extracción de sedimentos conlleva riesgos ciertos: físicos para las personas, para las infraestructuras, y para el medio ambiente. Deben ser considerados y tomadas las medidas preventivas y correctoras antes de iniciar cualquier actuación.

Los sedimentos del fondo de las balsas de agua bruta para riego, en las que no se han echado aditivos, son clasificados por normativa básica del Estado como “no residuos”.

La legislación autonómica ha establecido, en algunos casos, el tratamiento como residuos de aquellos cuando se les ha echado aditivos con residuo cero, o hay constancia de especies invasoras como los briozoos.

Si la falta de capacidad técnica impide a un propietario realizar por sus medios la extracción de sedimentos y decide hacerlo por contrata, deberá asegurarse de la solvencia técnica de ésta, así como que todos los compromisos y el riesgo externalizado a cambio de un precio, queden formalizados en un contrato suscrito con antelación y haya un seguro que garantice la integridad de la infraestructura. La extracción tiene su mejor precio unitario para espesores de sedimentos entre 15 y 20 cm.

Existe amplia oferta para la limpieza de balsas pequeñas por vía húmeda, y suficiente para balsas medianas; pero a partir de una superficie impermeabilizada superior a 1 hectárea, si se quiere conservar la lámina, solo es factible la extracción sin desembalsar. En este caso se ofrecen los precios unitarios más bajos del sector, pero a esta fecha, se están comprometiendo plazos de actuación de hasta 18 meses desde la firma del contrato.

La estabilidad laboral de los técnicos de explotación permite una visión a largo plazo y a planificar actuaciones con esa perspectiva, aunque muchas veces chocan con el posicionamiento cortoplacista de las Juntas de gobierno y de los Directores financieros, lo que dilata la toma de decisiones y encarecerá la actuación cuando se lleve a cabo

4- Recomendaciones A-Z.

Desde el punto de vista de óptima operatividad de una balsa de riego, en cuanto a eficiencia en la calidad del agua acopiada, existe cierto consenso entre los profesionales que trabajan directamente o asesoran a las Comunidades de Regantes y sociedades agrarias a este respecto. Puede esquematizarse con un formato de **hoja de ruta “A-Z”** como sigue a continuación.

- a. En el estudio de viabilidad, antes de la construcción, se deben incluir los costes de operación y mantenimiento en función del tipo de lámina impermeable y la topología del vaso. Para terminar comparando únicamente VAN para los distintos escenarios.
- b. Probablemente, la máxima eficiencia la logrará con PEAD, banqueteta y pista perimetral en coronación con forma de paralelogramo. Los taludes interiores de una pendiente

- comprendida entre 2:1 y 1.5:1. El talud exterior el que resulte por cálculo definido previamente el interior.
- c. No es necesario rampa hormigonada, ni escalera de acceso al fondo de vaso.
 - d. La obra de toma de fábrica, equipada con desacelerador, reja filtro y desarenador; este último, incluso si es agua procedente de pozo.
 - e. La obra de fábrica de salida de agua, preferiblemente a cota cero y en una esquina, bien horizontal o vertical. No recomendables prever volumen muerto, ni brazos articulados para captación flotante.
 - f. La anchura de pista perimetral no inferior a 5.0 m y curvas con radio interior no inferior a 20 m. Subbase de calidad, de forma que permita el acceso de camiones y auto grúas con 10 Tm por eje.
 - g. Vallado de protección anti-intrusismo por la parte exterior de la pista perimetral. No colocar pretilas, murete ni bolardos entre pista perimetral y vaso.
 - h. Prestar una especial atención a la subbase aportada, a su compactación y al refino y buen acabado de taludes y del fondo.
 - i. Colocación de red de drenajes segmentada y bien construida, de forma que sea fácilmente identificable la superficie de fuga, si esta se produce. Deben colocarse también para los taludes y de forma separada para las que procedan de lluvias. La arqueta de recogida de efluvios debe tener una sección suficiente y provista de pates para la cómoda inspección y medición de caudales.
 - j. Colocación de láminas de forma que solapen todas con un mismo criterio, previendo la utilización ulterior de lanzas de agua, en el sentido del desagüe de fondo. Los pliegues de dilatación deben estar preestablecidos y croquizados, no al albur del instalador
 - k. Fijación de las láminas extendidas antes de soldarlas, mediante sacos con arena, nunca bordillos ni lastres de hormigón. Al terminar los sacos se retiran llenos, o se rajan para que quede la arena en el fondo hasta la primera limpieza.
 - l. Soldadura con aportación de cordón extrusionado, de doble línea, y verificación hidráulica de todos los tramos.
 - m. Instalar algún sistema anti algas. No utilizar sulfato de cobre u otra sustancia que los convierta en residuos. En este caso, deberán ser retirados a través de un gestor de residuos
 - n. La adicción de algunos aditivos de residuo cero, hace que algunas comunidades autónomas interpreten que los sedimentos se han convertido en residuos, aunque no sean peligrosos. Del mismo modo, la retirada de algunos organismos vivos, como briozoos también son considerados residuos.
 - o. Máxima cota de lámina de agua, calculada atendiendo también el histórico de vientos, preferiblemente sin pretilas ni vuelta-olas, de forma que la probabilidad de que se encharque la pista perimetral sea inferior al 1% del tiempo.
 - p. Inclusión, desde la puesta en operación de la infraestructura, de una partida de gasto corriente para prever caja que pueda atender las limpiezas periódicas y que sea repercutida de forma proporcional al consumo de agua ya realizado.
 - q. Inspección periódica de los drenes (mensual), sedimentos acumulados (anual) y desarrollo algas y plantas acuáticas (mensual).
 - r. No vaciar la balsa dejando que los sedimentos se sequen y cuarteen, pues se complica y encarece su posterior extracción por vía húmeda o sin desembalsar. Si existen algas y plantas acuáticas, es preferible retirarlas a la vez que se extraigan los sedimentos. Si se matan y no se retiran, encarece considerablemente la extracción posterior.
 - s. Extracción de sedimentos cuando alcancen los 15-20 cm de espesor. Evitar la transferencia de esfuerzos tangenciales a la lámina (ruedas motrices) por la degradación que le produce. Si se utilizan lanzas de agua a presión, debe ser a media presión, alto caudal, y en el sentido marcado por los solapes.
 - t. Si la extracción va a realizarse sin desembalsar, es recomendable retirar del fondo los lastres de la construcción que allí se hubieran ubicado.
 - u. Los sedimentos no pueden ser evacuados por el desagüe de fondo, pues terminarían en un cauce público, y esto es ilegal.

- v. Debe preverse, en su caso, que se hace con la fauna existente en el vaso, en base a la normativa autonómica.
- w. La extracción de sedimentos es una tarea peligrosa, por lo que requiere el correspondiente estudio de riesgos, plan de prevención y su integración en los procedimientos que se vayan a implementar.
- x. En la contratación de la extracción de sedimentos, debe dejarse explícito qué es lo contratado, cómo se determinará el precio, la posibilidad de abortar el contrato, las garantías expresamente cubiertas, la relación de salvedades o excepciones que no han sido transaccionadas y cómo se resolverán, en su caso, las eventuales divergencias.
- y. Retirados los sedimentos y algas existentes, debe quedar activado, desde el primer momento, algún sistema anti algas, pues en su defecto, en un mes aparecerá una pradera homogénea, de muy rápido desarrollo, de difícil control y de elevado coste de extracción.
- z. Los sedimentos extraídos, una vez oxigenados y parcialmente deshidratados, son materiales estériles que pueden utilizarse para mejorar la textura de algunos suelos agrícolas, sin que les sea de aplicación la legislación relativa a abonos.

5- Bibliografía

Son muchas las publicaciones para el caso de lodos procedentes de ETAP, sin embargo no se han encontrado publicaciones editadas de aplicación directa para sedimentos de balsas de agua bruta sin aditivos.

Por el contrario existe abundante documentación técnico-comercial y de imagen, de varias empresas que presan servicios de extracción de sedimentos en balsas de agua bruta por vía seca, vía húmeda, y alguna sin desembalsar.

Se puede acceder a sus páginas Web, o vídeos en YouTube, a través de cualquier buscador, utilizando, entre otras, las **palabras clave**: “limpiar balsa”; “limpieza balsa”; “extracción sedimentos balsas” y evitando las palabras “fango” “lodo” que derivan siempre a sedimentos que son clasificados como residuos, procedentes de otros procesos que nada tienen que ver con el que nos ha ocupado.