

## Comunicación Técnica

### Proyecto para la eliminación de la contaminación química en el Embalse de Flix (Tarragona)

**Autor principal:** Gracia Ballesteros Fernández

Institución: ACUAMED

Teléfono: 911024700

E-mail: [gballesteros@acuamed.com](mailto:gballesteros@acuamed.com)

**Otros autores:** Francisco J. Hijós Vitrina, M<sup>a</sup> Gabriela Mañueco Pfeiffer, Mariano de Andrés Rodríguez-Trélles

## **1. INTRODUCCIÓN**

El embalse de Flix, situado en el tramo bajo del río Ebro, retiene actualmente en su vaso algunos centenares de miles de metros cúbicos de lodos. Son elementos residuales y están constituidos por compuestos químicos mezclados con otros de carácter inerte. Los contaminantes pertenecen a tres grupos principales: organoclorados, metales pesados (principalmente mercurio) y radionucleidos. Están en concentraciones relativamente elevadas, susceptibles de transmitir su contaminación al agua circulante por el río; esa transmisión parece que se ha producido de hecho, existiendo un registro de episodios puntuales en los que se han sobrepasado los límites de tolerancia de contenido de componentes agresivos en el ecosistema. Ante esta situación, la Administración Pública ha iniciado un proceso para concebir, analizar, desarrollar, comparar y escoger alternativas de actuación para corregir y evitar o mitigar la transmisión al medio de esos elementos nocivos.

Como consecuencia de ello, y en aplicación de la ley 11/2005 así como en cumplimiento del programa A.G.U.A., el Ministerio de Medio Ambiente encomienda a la sociedad “Aguas de las Cuencas Mediterráneas, S.A.” (acuaMed), como actuación prioritaria y urgente, la eliminación de la contaminación química del embalse de Flix, lo cual requiere la redacción de un proyecto en el que se incluya la realización de los trabajos que permitan el conocimiento cualitativo y cuantitativo del problema, para, a continuación, plantear posibles alternativas de recuperación ambiental y seleccionar la más adecuada, que será la que se desarrolle como proyecto. Este, una vez haya superado la tramitación medioambiental correspondiente, podrá ejecutarse. La descripción de algunos aspectos concretos de este proyecto se describe en esta comunicación.

## **2. ENTORNO DE LA ACTUACIÓN**

Al igual que en otros países desarrollados, la legislación española sobre vertidos ha ido evolucionando en el tiempo hacia una mayor exigencia, lo que ha obligado a los agentes generadores de residuos a adecuarse a límites cada vez más estrictos. Pero la mera acumulación histórica de vertidos autorizados en cada momento puede conducir a situaciones no previstas de creación y permanencia de un volumen de residuos que hacen vulnerable el ecosistema ante fenómenos naturales concretos, como avenidas, vientos o cambios térmicos bruscos.

Esta acumulación es un hecho en el embalse de Flix; la fabricación de productos químicos en sus orillas se inició a finales del siglo XIX y, desde entonces, los productos generados han sido muchos y variados, con arreglo a los avances de la tecnología y las tendencias de la demanda. Los procesos iniciales tenían como base el cloro y la sosa obtenidos de la sal común como materia prima, mediante un proceso electrolítico que utiliza mercurio; más recientemente se ha introducido el apatito como materia prima masiva adicional para producir fosfato bicálcico; este apatito contiene naturalmente cierto porcentaje de radionucleidos, que durante el proceso se concentran físicamente en el vertido. Por otra parte, en rigor no puede excluirse que alguno de los materiales contaminantes depositados tenga su origen incluso en arrastres procedentes de río arriba.

La morfología del río Ebro ha evolucionado notablemente a lo largo del siglo pasado en esta zona. Cada vez que se construye una presa de embalse en un río, se producen dos consecuencias inmediatas, la primera de ellas es que el remanso producido en sus aguas induce una mayor sedimentación de los arrastres sólidos que su corriente habitual transporta; los embalses tienden por ello a colmatarse, y la segunda es que se produce un efecto laminador de avenidas perjudiciales para el propio cauce. La presa de Flix no

es distinta en este aspecto, y por consiguiente la fuerza erosiva y de arrastre que mantiene de forma natural el río Ebro a su paso por la zona quedó influida y reducida después de su construcción. Hasta entonces, la mayor parte de los vertidos de la fábrica eran arrastrados por la corriente hacia aguas abajo, mientras que después la gran mayoría han venido quedando retenidos en el vaso del embalse. Durante los años siguientes a la entrada en servicio de la presa de Flix, los arrastres sólidos del Ebro procedentes de aguas arriba fueron todavía notables; parte se depositaban en grandes cantidades en Flix y parte atravesaban esa barrera durante las grandes avenidas y se mantenía así una carga sólida en el río.

Al construirse las presas vecinas y superiores de Mequinenza y Ribarroja es cuando se produce un cambio decisivo en la morfología del Ebro, en el sentido de que estas nuevas presas constituyen una trampa de sedimentos (y también de vertidos producidos agua arriba) que quedaron y siguen quedando retenidos en sus grandes embalses de forma mayoritaria; y también un elemento laminador de avenidas, que suaviza de forma notable el régimen del río, a lo que contribuyen los otros embalses que van implantándose en la cuenca. Hay, pues, tres agentes fundamentales que intervienen en la colmatación histórica del embalse de Flix: los vertidos de la fábrica, los arrastres sedimentados del Ebro y la suavización del régimen del río, todos ellos inducidos por la intervención antrópica.

Desde el punto de vista geológico, el cauce del río está encajado en un substrato terciario perteneciente al Oligoceno, constituido por bancos alternantes de areniscas, margas y calizas, poco permeable e indefinido en profundidad a efectos prácticos. Por encima se sitúan terrenos coluviales de poco espesor, fundamentalmente terrazas, y aluvial del propio río; este terreno cuaternario es en general más permeable y predominan en él los materiales granulares, gravas y arenas, sobre los limos y arcillas; estos últimos materiales finos son más abundantes en las laderas y durante los últimos años, desde el cierre de la presa de Flix, han ido formando en la margen izquierda una zona palustre ganada al río en la que han crecido carrizos y tarayes, y en la que anidan variadas especies animales terrestres y acuáticas, constituyendo un Lugar de Importancia Comunitaria (LIC) desde el punto de vista medioambiental que se denomina Reserva de Sebes. Es una superficie emergida pero muy poco consistente, que no permite el paso de personas ni el asentamiento de maquinaria. Por otra parte, desde el punto de vista hidrogeológico, puede considerarse que el río, en esta zona, es "ganador de flujo subterráneo", existiendo un movimiento general de las aguas desde las laderas hacia el embalse y no al contrario.

Este es el escenario en el que se ubica el proyecto. Este escenario estático tiene su dinamismo en el flujo del río Ebro que lo atraviesa, quedando sus aguas en riesgo de contaminación por arrastre o disolución de esos contaminantes acumulados. Si este riesgo se convirtiera en realidad, provocaría perjuicios directos a los usuarios situados aguas abajo, que pueden extenderse hasta el Delta y difundirse en el Mediterráneo. Más de medio millón de personas se abastecen de las aguas del río (obviamente después de los pertinentes controles y tratamientos); y decenas de miles de hectáreas de cultivos, situados principalmente en el Delta, sufren también sus efectos al crearse alarmas, justificadas o no, acerca de la salubridad de los productos agrícolas regados con esta agua. Menos sensibles son los perjuicios a los usos industriales, entre los que destaca la refrigeración de la central nuclear de Ascó, que requiere un mínimo del orden del centenar de metros cúbicos por segundo de agua, cantidad semejante a la que se entiende necesaria para mantener en buen estado ecológico el Delta del río, por lo que este caudal puede considerarse un mínimo que debe asegurarse en todo momento como

caudal del Ebro. Pues bien, aún con este caudal tan escaso se produjo en 2001 un episodio de contaminación, cuyas causas no son conocidas con certeza.

En el marco de los impactos que se pueden derivar de la existencia de la contaminación histórica en el embalse de Flix es preciso poner el acento en los efectos ambientales que puede producir su movilización (súbita o extendida en el tiempo de manera suave y continua) aguas abajo y, en especial, en el Delta del Ebro y el propio mar Mediterráneo. La fragilidad e importancia de estos enclaves no necesita una especial descripción por estar sobradamente documentada. La existencia de riesgos para el Delta por sí sola ya justificaría abordar el proyecto de limpieza.

Con todas estas consideraciones de partida, se acomete la búsqueda de soluciones para reducir el riesgo de contaminación, continua o episódica; ocurrirán éstos cuando el agua arrastre los contaminantes que se han almacenado en el embalse. Se actúa desde la hipótesis de que el problema a resolver se reduce y centra en el almacén acumulado de vertidos ya existente. Es pues, un problema de ciertas proporciones, pero limitado en su alcance.

### **3. HECHOS RELEVANTES**

En el año 1893 se presenta en la Exposición Mundial de Chicago un nuevo procedimiento electrolítico para la descomposición de la sal común. Esta presentación abre nuevas posibilidades de inversión en procesos que tengan su punto de partida en la utilización del cloro y de la sosa; estas posibilidades se introducen en España a través de la llegada de capital alemán mediante la constitución de la Sociedad Electro-Química de Flix, que inicia su operación en 1897. Hasta el presente ha llegado este proceso, habiéndose visto como en 1949 era introducida la tecnología del mercurio.

La elección de Flix como sede de las nuevas instalaciones no puede ser considerada en absoluto como casual sino que, por el contrario, era consecuencia de un concienzudo análisis que ponía de relieve un buen número de ventajas objetivas en aquel momento. Así, en Flix se dispone, en abundancia, de la principal materia prima del proceso, que no es otra que el agua del río Ebro, a lo que había que añadir la cercanía de rocas calcáreas y salinas también necesarias. Pero además de eso, en las proximidades, en la cuenca carbonífera de Mequinenza, se habían descubierto unos años antes minas de lignito, que podían abastecer las calderas, a lo que se sumaba la accesibilidad que representaba entonces la navegabilidad del Ebro en este tramo, completada por la reciente apertura de una estación de ferrocarril en la línea Madrid-Zaragoza-Barcelona. Incluso estaba presente un antiguo azud que, convenientemente remodelado, podría servir como fuente de energía eléctrica. Por si fuera poco, en la ubicación elegida podía pensarse fácilmente en la construcción de una colonia para el personal, al estilo de la época, así como, y aunque suene fuera de lugar en la actualidad, cabía la posibilidad de contar con el cauce del Ebro como desagüe natural.

Desde otro punto de vista importa señalar que la promulgación de la Ley de Aguas y del Reglamento del Dominio Público Hidráulico, en la década de 1980, introdujo la obligación de implementar instalaciones de depuración y elementos de control, así como estableció límites cuantitativos y cualitativos a los vertidos, de forma que, a finales de los años 80 y principios de los 90 del siglo pasado, se instauran en la factoría diversas medidas correctoras para minimizar el impacto de sus vertidos: sistemas de filtración de lodos, planta de desmercurización y estación depuradora de aguas residuales.

En cuanto al seguimiento cabe señalar que, la Administración Hidráulica Catalana (Agencia Catalana del Agua) ha realizado diversos estudios para determinar la cantidad, caracterización y concentración de metales pesados, radionucleidos y organoclorados de

los sedimentos depositados en el lecho del embalse. También la Confederación Hidrográfica del Ebro realizó estudios sobre la calidad ecológica del río Ebro. Estos estudios pusieron de manifiesto la existencia de una contaminación importante en el embalse.

Al amparo de este seguimiento, el 25 de diciembre de 2001, coincidiendo con un descenso notable de las temperaturas en la zona, se detectó un episodio de mortandad de peces aguas abajo de Flix, a la altura de la Central Nuclear de Ascó. Esto llevó a que las Administraciones Hidráulicas tomaran muestras de agua detectándose una alta concentración de mercurio a la altura de Ascó y más aguas abajo. Esta contaminación afectó al punto de toma de la captación del Consorcio de Aguas de Tarragona y obligó a intervenir a este. Posteriormente, la Administración Catalana (Junta de Residuos y Agencia Catalana del Agua) ha realizado diversos estudios sobre la composición de los sedimentos existentes en el embalse de Flix. En todos ellos se ha puesto de manifiesto la existencia de una contaminación histórica derivada de la actividad industrial.

Lo anterior pone de relieve que, desde el punto de vista de los aportes de sólidos al embalse, la situación ha ido mejorando paulatinamente en los últimos tiempos, aunque es patente que en el embalse se mantiene al menos una fracción de la contaminación acumulada históricamente. Como consecuencia de ello y de la posibilidad de que la contaminación sea movilizada por cualquier causa hacia aguas abajo (con el riesgo de alcanzar el Delta del Ebro) surge la necesidad de eliminar la contaminación química del embalse de Flix.

#### **4. CARACTERIZACIÓN CONCEPTUAL DE LA CONTAMINACIÓN**

Desde un punto de vista conceptual puede establecerse que los materiales que conforman actualmente la margen derecha del embalse a la altura de la fábrica son, en buena parte, procedentes de residuos de la actividad de la fábrica allí ubicada. Los procesos que han podido generar la mayor parte del volumen de estos materiales acopiados o sedimentados en la margen o que han influido de alguna manera en la configuración de la margen son los siguientes:

- a) Combustión de carbón. Durante décadas, las calderas de vapor estuvieron alimentadas por carbón, mayoritariamente lignito de la cuenca de Mequinenza. La combustión de carbón genera escorias de caldera, que contienen fundamentalmente silicio, aluminio, hierro y potasio en diversas formas oxidadas y que proceden de las impurezas del carbón. Es muy probable que las escorias de carbón fueran utilizadas como uno de los materiales de relleno en los procesos de terraplenado y progresión de la margen del embalse.
- b) Disolución de sal. La preparación de la salmuera es un proceso imprescindible para la电解sis, que es el proceso central de la fábrica desde sus orígenes. La sal utilizada para电解sis, sea marina o de mina, tiene siempre impurezas (calcio magnesio, sulfato y metales pesados) que deben eliminarse para evitar reacciones secundarias no deseadas en las celdas electrolíticas. Para ello la sal, previa disolución, se trata con reactivos para eliminar estas impurezas en forma de precipitados, que son arrastrados por el agua de vertido del proceso y, de este modo, alcanzan el embalse.
- c) Tricloroetileno. La producción de tricloroetileno (TCl) en Flix se inició en 1928 y se paró en 1990. El proceso se divide en tres fases: generación de acetileno a partir de carburo cálcico, cloración del acetileno y deshidrocloración del tetracloroetileno, bien mediante la adición de hidróxido cálcico o por vía catalítica. El agua de vertido del proceso arrastra el cloruro cálcico y el exceso hidróxido

cálcico y tiene el aspecto de una lechada de cal. El hidróxido cálcico, en aguas bicarbonatadas, forma carbonato cálcico que precipita. Se presume que estas sustancias cálcicas son el material mayoritario de los lodos acumulados en el lóbulo sedimentario que actualmente se sitúa frente a la EDAR.

- d) Percloroetileno y tetracloruro de carbono. La producción de PER-TETRA se inició en 1972 y prosigue en la actualidad. El proceso consiste en cloración de propileno con la producción de percloroetileno y tetracloruro de carbono. Como subproducto se obtiene ácido clorhídrico. El caudal de vertido de este proceso es relativamente importante y el agua de vertido es ligeramente ácida, por lo que puede disolver en cierta medida los lodos del TRI y del fosfato bicálcico, esencialmente alcalinos. Estas dos circunstancias, caudal y acidez, pueden estar relacionadas con el hecho de que siempre haya existido una separación nítida de los lodos en dos zonas, en las "playas" del TRI y del FBC, cortadas por los vertidos de PER-TETRA.
- e) Fosfato bicálcico. La producción de fosfato bicálcico (FBC) se inició en 1973. El proceso parte de fosforita (mineral de fosfato tricálcico) y ácido clorhídrico como materias primas. Los líquidos de separación del precipitado de fosfato bicálcico se tratan con hidróxido cálcico para recuperar el máximo de fósforo y se reciclan al principio del proceso. El vertido del proceso arrastra los sólidos no disueltos junto con los insolubles de la fosforita, y las aguas que llevan disueltas sales, principalmente cloruro cálcico e iones fosfato.

Acompañando a residuos de los procesos anteriores, por vía líquida o sólida, han podido acceder a la margen del embalse otros compuestos, en proporciones mucho más reducidas pero de mayor relieve en cuanto a capacidad contaminante.

Como ya se ha indicado, los contaminantes presentes responden a tres grandes grupos: radionucleidos, orgánicos y metales pesados. Teniendo presente esta clasificación, puede decirse, por ejemplo, que los procesos de la barita (periodo 1912-72, derivado de los carbonos) y del fosfato bicálcico (desde 1973, por concentración física de la materia prima) pueden haber dado lugar al vertido de radionucleidos y metales pesados. Es el mismo caso del proceso del TRI (1928-90), que también puede proporcionar orgánicos. También pueden originarse pesados en la电解 (desde el origen de la fábrica) con cátodos de mercurio y en el proceso de cloro líquido (1961-98), que pueden estar en el origen de muchos organoclorados.

Son estos últimos, los compuestos orgánicos, los que pueden tener más diversas procedencias, dada la variedad de procesos en que están integrados. Así, por ejemplo y además de los ya citados, pueden originarse en los procesos de DDT (1945-75), de PER-TETRA (desde 1972), de PCBs (1959-87) o de tetracloruro de carbono (1947-72).

Queda patente a la vista de lo expuesto la enorme complejidad que ha tenido el origen de los residuos históricamente acumulados, lo que da lugar a que no sea posible conseguir una buena clasificación histórica de la contaminación del material, aunque, obviamente sí existen algunas pautas. En términos generales puede describirse la distribución de contaminantes como una muy homogénea heterogeneidad.

## 5. MORFOLOGÍA DE LA ZONA

Como ya se ha señalado, incluso la apariencia física del entorno ha sufrido profundas transformaciones en el curso de los años, que han puesto de relieve la afección que las actividades históricas han producido en el entorno. A continuación se revisa a grandes rasgos esta evolución, que se inicia en 1897, cuando se construyen las primeras instalaciones de la fábrica.

La morfología actual de la margen derecha del embalse (en la Figura 1 se reproduce la fotografía aérea obtenida de un vuelo del año 2005) se comprende mejor si se atiende a su evolución en la historia reciente.



Figura 1. Fotografía aérea de la zona. Año 2.005

Esta historia reciente se puede dividir en varias etapas:

- Desde comienzos del siglo XX hasta el final de la década de 1940

A finales del Siglo XIX o comienzos del XX se inicia la actividad de la fábrica de Flix. En relación con la margen del río, se instala la “casa de turbinas”, central hidroeléctrica que aprovechaba el salto creado por un azud existente. En esencia, no se altera la configuración original de la margen del río, la cual, aguas abajo de la casa de turbinas, estaba definida por un canal de navegación (que permitía salvar el salto creado por el azud) y “la isla”, una porción de terreno entre dicho canal y el cauce, ocupada por huertos y sotos.

- Décadas de 1950 y 1960

El cierre de la presa de Flix (1949) supuso un cambio radical en la morfología de la margen derecha. Este hecho y las actuaciones de relleno llevadas a cabo por la fábrica en los años siguientes, conducen a la configuración de lo que en la actualidad podría identificarse como margen del embalse.

La construcción de la presa comportó, además del aumento del nivel normal del río (con la desaparición de la isla y del antiguo canal de navegación), la apertura de los túneles del canal de alimentación de la nueva central hidroeléctrica y del nuevo canal de navegación y la construcción de un dique de tierras que, junto con las embocaduras de los túneles definieron la nueva alineación, artificial, de la margen derecha aguas abajo de la casa de turbinas.

En los años siguientes, el hueco inundado que quedó entre el dique de tierra y la antigua margen fue rellenado parcialmente, incorporado a la fábrica y destinado a diversos fines. También mediante acopio de materiales, se ganó terreno al embalse en la zona aguas arriba de la casa de turbinas, hasta llevar la margen a

una alineación similar a la definida por el dique de tierras. Este proceso fue relativamente rápido y en 1961 ya se había instalado una nueva planta de TRI (tricloroetileno) en los terrenos ganados al embalse (en la ubicación de la actual EDAR).

Los materiales que sirvieron para los rellenos citados debieron ser diversos y parece que incluyeron abundante escoria de caldera e incluso otros residuos.

- Décadas de 1970 y 1980

Este periodo está marcado por dos hechos fundamentales: (a) ya están en servicio las presas de Mequinenza (desde 1965) y Ribarroja (desde 1969) y (b) están a pleno rendimiento las producciones de TRI y de fosfato (esta desde 1973). La regulación del régimen hidráulico inducida por los macroembalses, junto con el vertido al río de las aguas residuales de las dos plantas citadas, cargadas de sólidos, determinan el desarrollo de las dos “playas” de acumulaciones de residuos sólidos visibles frente a la fábrica.

Las dos playas (o lóbulos emergidos) eran ya visibles en 1985 y en 1991 presentaban la morfología que aún puede observarse en la actualidad.

- Desde los años 1990 hasta la actualidad

A partir de 1988, una serie de medidas de adecuación de los vertidos, así como la parada de la producción de TRI, dan como resultado la drástica reducción de la fracción sólida de los vertidos de la fábrica. Esto se traduce en una estabilización de las playas de residuos.

Sólo se producen algunas modificaciones menores, como consecuencia de actuaciones de limpieza y acondicionamiento llevadas a cabo por la fábrica, que incluyen un terraplenado somero de la playa del TRI, el cual podría haber propiciado su colonización espontánea por carrizo y otra vegetación.

Como síntesis de todo lo expuesto, en la Figura 2 se reflejan los contornos deducidos de la interpretación fotogramétrica de la Figura 1 anterior (situación actual) superpuestos a la fotografía aérea disponible del 1927, apreciándose la muy notable transformación sufrida por la zona a lo largo del siglo pasado.

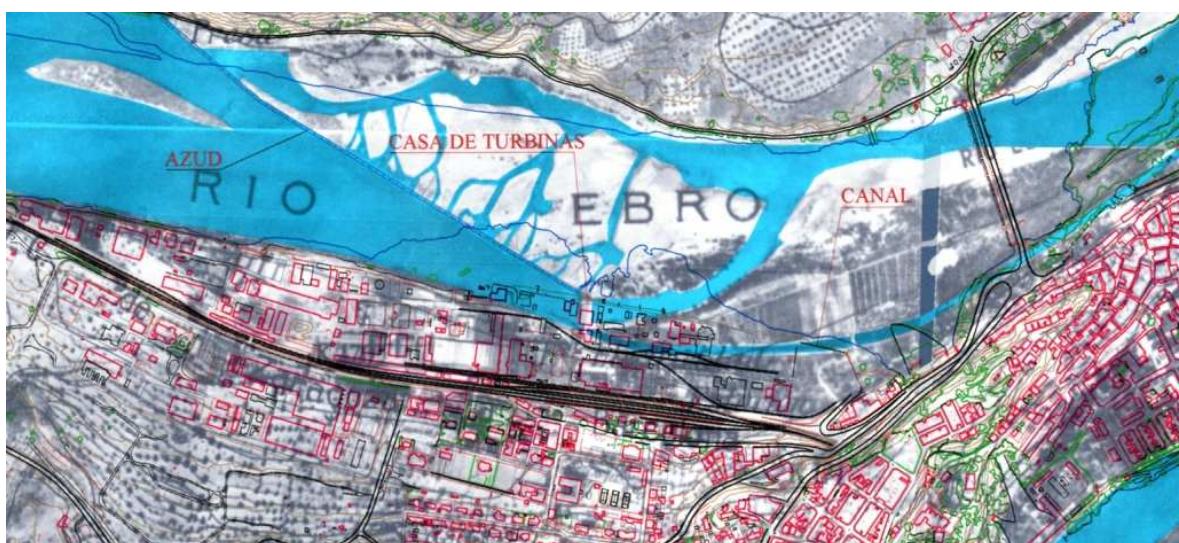


Figura 2. Superposición de los contornos de la vista aérea de 2005 a la vista de 1927

## 6. TRABAJOS DE BASE REALIZADOS

Con el fin de llegar a establecer cual debe ser la solución a desarrollar para hacer frente a la problemática expuesta se han llevado a cabo un conjunto de trabajos de base, que pueden sistematizarse como sigue:

- Cartografía y batimetría. El vuelo fotogramétrico a escala 1:5.000 realizado cubre todo el T.M. de Flix, prolongado, siguiendo el Ebro, hasta Ribarroja aguas arriba y hasta el azud de Ascó aguas abajo. La batimetría del embalse cubre toda la zona de posible influencia de los residuos (más de 100 ha).
- Evolución morfológica temporal. A partir de la recopilación de la información, fundamentalmente gráfica, disponible (fotografías terrestres y aéreas, referencias en publicaciones, etc.), se ha reconstruido la génesis de la forma actual de los residuos acumulados en el embalse, a partir del año 1927. También se ha recopilado la información batimétrica previa disponible, documentándose, además de la batimetría del año 1995, algunos perfiles transversales desde el año 1952.
- Geología. Se ha realizado un levantamiento geológico general del T.M. de Flix a escala 1:25.000, habiéndose desarrollado un mayor detalle (escala 1:5.000) en la zona próxima a los residuos. Adicionalmente, y como consecuencia de la investigación mediante sondeos, complementada con otras informaciones (evolución morfológica, geología general, geofísica, etc.), se ha realizado una interpretación de gran detalle de la zona relacionada con los residuos, identificando los materiales según su tipología en unos 25 perfiles transversales al embalse. Estos mismos análisis se han extendido a la zona del depósito de Racó de la Pubilla.
- Investigación de campo mediante sondeos. La campaña de sondeos se ha desarrollado durante 4 meses y en ella han participado dos máquinas terrestres y otras dos montadas sobre elementos flotantes.

Con el fin de asegurar la no generación de incidencias aguas abajo, la campaña ha estado rodeada de importantes medidas de seguridad. En particular, y con la participación del Consorcio de Aguas de Tarragona (CAT), la Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE) y la Agencia Catalana del Agua (ACA), además de la D.G. d'Emergencies i Seguretat Civil, se mantuvo activo un plan de avisos que ha incluido el seguimiento más que diario de la calidad de agua del embalse. Ninguna de las 96 analíticas de control de mercurio y pesticidas organoclorados realizadas en la zona de trabajo ha superado los umbrales de incidencia. Tampoco las medidas in situ mediante sonda han registrado cambios significativos que hubieran indicado una situación anómala. En el curso de la campaña se ha realizado un total de 90 sondeos, siendo la longitud total de 1294 m (media de 14,4 m por sondeo). Se han distribuido entre embalse (51), desde superficie sobre residuos (19) y en tierra, fuera del embalse (20). Todos los sondeos han alcanzado el sustrato terciario al menos.

- Analíticas. En el curso de la campaña de sondeos se han obtenido muestras de sólidos (fundamentalmente) y de agua en piezómetros. Estas muestras, junto con otras de lixiviados, han sido analizadas en laboratorio desde los puntos de vista radiológico y químico inorgánico y orgánico. El número total de analíticas ha sido de un millar aproximadamente, de las cuales un 20% corresponden a radionucleidos y un 10% a química inorgánica, repartiéndose el 70% restante a partes iguales entre metales pesados y química orgánica (en cada analítica se incluye un número variable de compuestos, que en el caso de la química orgánica

superan el valor de 30). Se han realizado también otros análisis complementarios, entre los que se cuentan 12 ensayos de ecotoxicidad en peces, 12 de inhibición del crecimiento en algas y 12 de toxicidad en zooplacton (crustáceos).

- Ensayos geotécnicos. Igualmente, muestras obtenidas en la campaña de sondeo, han sido sometidas a ensayos geotécnicos. A título indicativo, se han realizado unas 250 granulometrías (60% por tamizado y 40% por sedimentación), unos 100 ensayos de identificación y unos 60 ensayos de resistencia, entre otros.
- Geofísica. Se ha realizado una sísmica de reflexión desde embarcación. Se han utilizado geopoluse y perfilador de sedimentos, llegándose a definir, con una cierta precisión, dos niveles de reflexión sensiblemente continuos.
- Hidrogeología. A partir de la caracterización geológica y del inventario de pozos llevado a cabo en todo el ámbito se ha realizado una caracterización hidrogeológica de la zona. Esta caracterización se ha complementado con los datos de los 37 piezómetros instalados en sondeos y con la información de una prueba de bombeo realizada en el transcurso de la campaña de campo (se ha utilizado un pozo perforado de 40 m, complementado por dos sondeos específicos de seguimiento). A partir de todo ello se ha construido un modelo hidrogeológico en 3 dimensiones.
- Hidrología e Hidráulica. Desde el punto de vista hidrológico, se ha recopilado y sistematizado la información útil para el proyecto y a partir de ella se ha analizado el régimen hidráulico que se produce en el embalse. Complementariamente, en la Universidad Politécnica de Cataluña se ha elaborado un modelo matemático bidimensional del régimen hidráulico y un modelo reducido físico del embalse, mediante los cuales se podrán precisar aspectos concretos del proyecto.
- Análisis de riesgos. Se ha desarrollado una primera aproximación del análisis de riesgo, en aquellos aspectos que son necesarios para evaluar las distintas soluciones.
- Planteamiento y evaluación de alternativas. Se han evaluado distintas posibilidades de actuación, tanto en relación con la obra necesaria como con los potenciales tratamiento de descontaminación. Entre estos últimos se ha considerado la desorción térmica, la inmovilización/inertización, la electrorremediación, la fitorremediación, la biorremediación, la vitrificación, la incineración, el lavado, la extracción con disolventes, la extracción por vacío in situ, la solidificación y la oxidación in situ (“deep mixing”).

## 7. CUANTIFICACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN

Para llegar a la cuantificación de la contaminación, como se ha indicado, se ha reconocido el embalse desde aguas arriba de la fábrica hasta la presa, así como las acumulaciones de lodos de vertido de la margen derecha y otros puntos en el interior del vaso del embalse y de sus proximidades mediante una campaña de sondeos. Para facilitar la comprensión del texto que sigue, se reproduce como Figura 3 el plano de ubicación de los sondeos realizados. En estos sondeos se ha realizado la toma de muestras de suelos, aguas y lixiviados oportuna y sus correspondientes análisis químicos y radioquímicos.

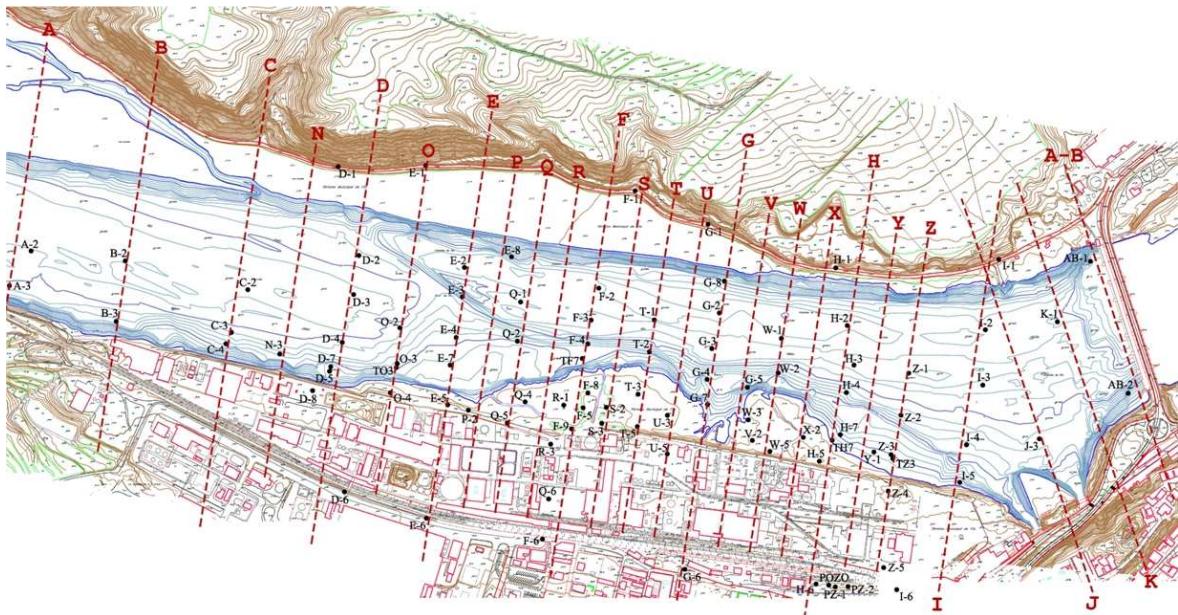


Figura 3. Ubicación de sondeos de investigación

No se ha detectado contaminación relevante aguas arriba de la zona de residuos, ni en la parte norte del embalse que linda con la margen izquierda o Reserva Natural de Fauna Salvaje de Sebes. Tampoco se detecta en los puntos de muestreo localizados en esta última ni se observa una afección por contaminación en el Terciario en ambas márgenes, apoyando esta situación el hecho de que en la zona de fábrica el acuífero terciario descarga al río (río ganador).

En los ensayos efectuados en plantas no se ha detectado contaminación por los compuestos referidos, destacándose la ausencia de mercurio. Los ensayos de ecotoxicidad muestran mayoritariamente la no ecotoxicidad del residuo (tan solo existe la salvedad de una de las muestras –sondeo R-1-, en la que, en el ensayo de toxicidad aguda sobre pez cebra se han detectado la existencia de unidades tóxicas superiores a 2, valor que indica toxicidad). Los ensayos de lixiviación del residuo lo clasifican igualmente como no peligroso y susceptible de ser aceptado en vertederos de clase II.

En cuanto a sólidos, adoptando de modo preliminar y solamente descriptivo como contaminación significativa aquélla superior a criterios admisibles de calidad de suelo industrial (RD 9/2005 de suelos, criterios provisionales de calidad de suelo de Cataluña) o al nivel de acción II (recomendaciones del CEDEX para la gestión del material de dragado), se tiene la siguiente síntesis:

a) Metales pesados:

Se detecta principalmente la contaminación por mercurio en todo el terraplén de lodos, con valores máximos en los lóbulos oeste y central y el punto singular aguas arriba (perfil D y rango 25-500 ppm); en el cuaternario debajo de residuos se detecta principalmente en esta zona en un rango inferior (3-250 ppm). De modo puntual se ha localizado en el techo de terciario con valores menores (siempre inferiores a 10 ppm), en las zonas referidas.

Con mucha menor magnitud y extensión aparece el cadmio en el terraplén de lodos en la zona del lóbulo este (entorno de 5-50 ppm). Del resto de metales (arsénico, cromo, plomo, zinc, níquel, cobre, etc.) no destaca nada en particular.

b) Orgánicos semivolátiles:

Se detecta principalmente la contaminación por PCB's en gran parte del terraplén de lodos, sobre todo en los lóbulos central y oeste (valores del orden 0,8-3 ppm) y en un punto singular aguas arriba (perfil D), alcanzando los máximos en este último (valores superiores a 1000 ppm). En el cuaternario y terciario, sólo ha afectado en la zona de máximos referida.

También se destaca la contaminación por hexaclorobenceno en gran parte del terraplén de residuos, con mayores magnitudes detectadas en el lóbulo este y el perfil D (máximos superiores al rango 50-100 ppm).

Respecto al grupo DDT, sólo se ha apreciado localmente contaminación en el punto singular aguas arriba (entorno del perfil D desde los residuos hasta el terciario), en los que estos compuestos alcanzan magnitudes importantes (superiores a 500 ppm). El DDT también supone contaminación en los lóbulos central y oeste. Esta misma presencia se ha detectado para los HCH (alfa, beta, gamma y delta), los que en el perfil D se han medido ciertas magnitudes (10-50 ppm para el beta, y 1-10 ppm en el resto), sin alcanzar el terciario.

Los policloronaftalenos sólo se han detectado localmente en el terraplén de residuos, sobre todo en el perfil D (máximos rango 50-100 ppm) y en los lóbulos central y oeste (algo superior a 5 ppm). Respecto al pentaclorobenceno no se ha apreciado una contaminación significativa.

c) Orgánicos volátiles:

Destaca la contaminación por tetracloroetileno en gran parte del lóbulo central y oeste, así como parte del cuaternario subyacente. En la zona de residuos se han medido concentraciones altas (rango hasta 1000 ppm). Se ha detectado también contaminación por tricloroetileno (hasta 200 ppm), localizada en el lóbulo central y de modo puntual en el oeste.

Respecto al resto de volátiles no se han medido contaminaciones significativas en extensiones grandes, aún cuando de modo local se han registrado valores relativamente altos puntuales de tetracloruro de carbono, dicloroetileno, clorobenceno, diclorobenceno, y penta y hexaclorobutadieno. Es de destacar la detección en el agua de poros de los fangos de apreciables cantidades de tetra y tricloroetileno. Otros volátiles, como los BTEX, no presentan valores significativos.

d) Radionucleidos:

La primera conclusión que se puede señalar es que la contaminación radiactiva está acotada a la zona superior del terraplén de residuos, siendo simultáneamente bastante homogénea en todo el área, detectándose los mismos isótopos ( $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{230}\text{Th}$ ,  $^{234}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$  y  $^{238}\text{U}$ ) en todas las muestras y en concentraciones similares, con concentraciones un orden de magnitud superior al valor de referencia ambiental que se maneja en nuestro país (100 Bq/kg).

Los compuestos referidos corresponden principalmente de la cadena del  $^{238}\text{U}$ , no habiéndose detectado presencia apreciable de isótopos artificiales. La actividad del  $^{238}\text{U}$  en la zona activa (primeros metros) es relativamente alta (superior a 1000 Bq/kg) para tratarse de vertidos no enriquecidos. Teniendo en cuenta la masa de lodos y la actividad media de los isótopos de la cadena del  $^{238}\text{U}$ , la actividad total en el embalse se estima comprendida entre 3.000 y 4.400 GBq.

Según las estimaciones realizadas, la dosis equivalente anual calculada (0,78 mSv) para el caso muy conservador de un eventual trabajador situado sobre los residuos durante 2.000 horas al año es inferior a 1 mSv. Por tanto, debe considerarse que el volumen de lodos del embalse de Flix supone un riesgo radiológico aceptable para el personal laboral local y, con más razón, para el público.

Como resumen de todo lo expuesto, se presentan las concentraciones medias estimadas para los contaminantes más significativos en residuos (Tabla 1) y en el cuaternario subyacente a aquellos (Tabla 2).

Grupo de contaminantes	Compuesto	Concentración / actividad (mg/kg; Bq/kg)
COV	Tetracloruro de carbono	0.15
	Tricloroetileno	5.3
	Tetracloroetileno	37
	Pentaclorobutadienos	63
Metales pesados	Mercurio	39
PCB	Suma	38
Pesticidas	Familia DDT	97
	Familia hexaclorociclohexanos	1.1
Radionucleidos	<sup>226</sup> Ra	1,200
	<sup>238</sup> U	960

Tabla 1. Concentraciones y actividades medias en residuos

Grupo de contaminantes	Compuesto	Concentración / actividad (mg/kg; Bq/kg)
COV	Tetracloruro de carbono	2.8
	Tricloroetileno	1.7
	Tetracloroetileno	14
	Pentaclorobutadienos	5.6
Metales pesados	Mercurio	2.8
PCB	Suma	0.51
Pesticidas	Familia DDT	13
	Familia hexaclorociclohexanos	0.08
Radionucleidos	<sup>226</sup> Ra	92
	<sup>238</sup> U	31

Tabla 2. Concentraciones y actividades medias en el aluvial subyacente a los residuos

La mayor parte de estos compuestos están catalogados como cancerígenos o probables carcinogénicos para humanos y son bioacumulables en la cadena trófica siendo la atmósfera y las aguas superficiales los medios más susceptibles de impacto. Fuera de los COVs, la mayor parte de los contaminantes detectados son poco o nada volátiles, a excepción del mercurio y algunos organoclorados como los tricloroetileno, tetracloroetileno, hexaclorobenceno o hexaclorociclohexanos. En general su tasa de solubilidad es baja, y tienden a permanecer adsorbidos a la matriz sólida.

Como consecuencia de lo expuesto se desprenden dos aspectos especialmente relevantes: existe una gran diferencia entre los residuos y el cuaternario subyacente, hasta el punto que se puede afirmar que el cuaternario, en relación con los residuos, no está contaminado por una parte, y, por otra, que la contaminación global, incluso en los residuos, no es excesivamente grande. Si la distribución de los contaminantes fuera uniforme, los residuos podrían depositarse en un depósito controlado de clase II sin necesidad de ningún tratamiento distinto de su secado.

## 8. POSIBILIDADES CONSIDERADAS

En una primera aproximación, los estudios realizados han permitido establecer que las soluciones posibles pueden ser clasificadas en dos grandes grupos, según que los residuos se mantengan finalmente en el embalse (soluciones *in situ*) o, por el contrario, sean extraídos y ubicados en otro punto (soluciones *ex situ*). Las soluciones *in situ* responden a la búsqueda de la mínima repercusión durante las obras, mediante la minimización de la manipulación de los residuos. Por el contrario, las soluciones *ex situ* ponen el énfasis en la reducción del riesgo al mínimo posible después de las obras. Desde la perspectiva metodológica, al ser esencialmente distintos los conceptos que caracterizan ambas soluciones, el proceso se plantea mediante la búsqueda de la solución óptima dentro de cada grupo para, posteriormente, comparar las dos soluciones retenidas.

En ambos grupos de soluciones aparecen dos cuestiones críticas comunes de singular importancia. La primera de estas se refiere a que es preciso actuar en el seno del río Ebro, cuyas características (en cuanto a caudal) son de todos conocidas, mientras que la segunda tiene que ver directamente con la ubicación de los lodos contaminados en agua y, consiguientemente, su carácter de lodos saturados.

La principal implicación de la ubicación de los lodos en el río Ebro se relaciona con el riesgo de movilización de contaminantes causada por la ocurrencia de altos caudales. Una posibilidad de reducir la probabilidad de presentación de grandes caudales consiste en establecer resguardos para la gestión de las avenidas en los embalses situados aguas arriba.

Como referencia ilustrativa se establece que conseguir la laminación de una avenida de 7 días de duración con un caudal punta de 4.000 m<sup>3</sup>/s hasta llegar a un caudal punta de 1.200 m<sup>3</sup>/s obliga a destinar a la gestión de avenidas un volumen del mismo orden de magnitud que el embalse de Mequinenza completo (volumen aproximado de 1.500 hm<sup>3</sup>). Renunciar al embalse de Mequinenza o reponer su función mediante la realización de otro nuevo tiene un coste prácticamente no evaluable (económico y de todo tipo), teniendo presente además que esta actuación no proporciona una solución completa (necesita ser complementada con otras actuaciones para alcanzar el objetivo).

Como consecuencia debe descartarse la posibilidad de abordar el problema mediante la laminación de las avenidas (al margen de que pueda ser utilizada la posibilidad de forma complementaria en otras soluciones).

Otra posibilidad de hacer frente a la ubicación de los residuos en el río Ebro consiste en el desvío de este, de forma que los residuos lleguen a ser independientes del agua fluyente. Esta opción ha sido analizada en cierto detalle, habiéndose tanteado las cuatro alternativas posibles por composición de las posibilidades de utilizar las márgenes derecha o izquierda y las de ejecutar el desvío a cielo abierto o en túnel. Se ha utilizado como caudal de referencia el valor de 2.500 m<sup>3</sup>/s.

La solución más económica (en túnel por la margen izquierda) obliga a construir 7 túneles de 12 x 8 m<sup>2</sup> de sección útil, lo que implica una excavación del orden de 2 millones de m<sup>3</sup>, y afecta de manera importante a la Reserva de Sebes.

Dado que el principal problema es la no disposición de cota de agua para creación de velocidad, también se ha considerado la alternativa de plantear el desvío en túnel en carga desde el embalse de Ribarroja. Esta solución precisa de 3 túneles en paralelo de 12 m de diámetro, lo que conduce a la excavación en túnel de 1,4 millones de m<sup>3</sup>. Tiene dos inconvenientes ambientales claros asociados a obligar a discurrir el cauce en carga y

en túnel a lo largo de 13 km, en los que el agua circularía a 7 m/s. Como consecuencia, deben ser descartadas las alternativas de desvío del río.

La última posibilidad que se plantea es la de establecer una separación física entre la ubicación actual de los residuos y un área, próxima a la margen izquierda, destinada a la circulación del agua. En otras palabras, se crearía un recinto abrigado en el interior del cual estarían los residuos, aislados mediante un muro de tablestacas del agua fluyente del Ebro. Esta solución es viable ya que permite el trabajo en aguas tranquilas, sin riesgo de que eventuales movilizaciones de contaminantes se trasladen hacia aguas abajo. Desde otro punto de vista, también es viable por cuanto existe, próximo a la margen izquierda, un “canal” relativamente limpio de contaminación. A efectos ilustrativos, en la Figura 4 se reproduce la distribución en planta de los máximos de concentración de mercurio en cada uno de los sondeos de investigación realizados, apreciándose el citado “canal limpio”.

El problema fundamental de la solución se refiere a que durante las obras se genera un estrechamiento que conduce a que el agua, en avenidas, se acelere y exista un mayor riesgo de erosión en la margen izquierda, donde se sitúa la reserva de Sebes.

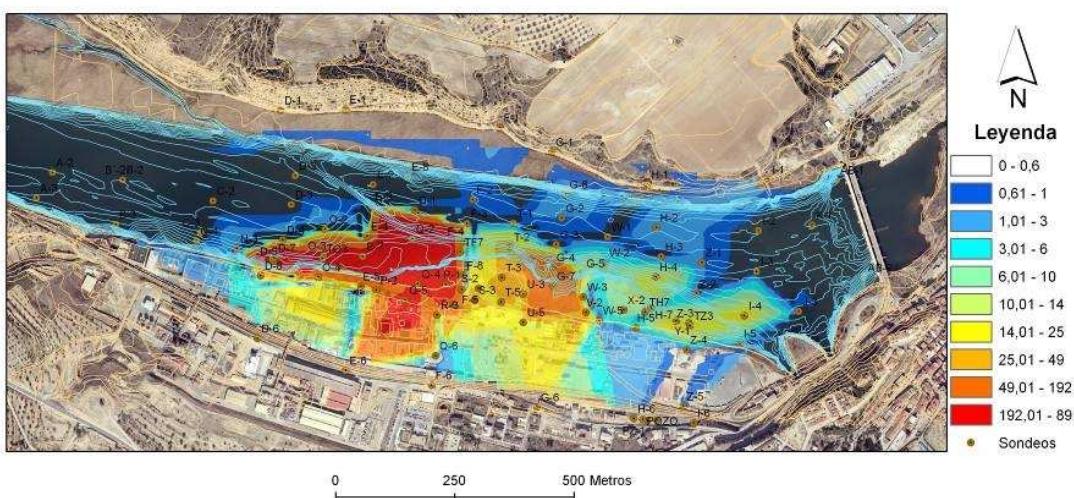


Figura 4. Distribución en planta de la concentración máxima de mercurio en cada vertical

Como consecuencia, se ha aceptado como parte integrante de ambos grupos de soluciones (*in situ* y *ex situ*) la creación de un recinto abrigado de trabajo mediante un muro de tablestacas o similar, que permite independizar los trabajos del flujo del río Ebro. El caudal de diseño adoptado es de 3.000 m<sup>3</sup>/s, ya que este es el de referencia en la gestión de las avenidas, por cuanto su superación produce inundaciones de entidad en Tortosa.

El segundo rasgo fundamental a considerar tiene que ver con la problemática de la sumersión de los lodos. Dado que aparentemente es obvio que el trabajo en agua es más complejo desde todos los puntos de vista que el trabajo en seco, es conveniente evaluar la alternativa de “secar” los lodos como fase previa a cualquier actuación.

Puede plantearse alternativamente la posibilidad de vaciar el embalse o el recinto abrigado del que se ha hablado antes. La primera opción respecto a la segunda tiene como inconvenientes fundamentales los siguientes: obliga al desvío del río (lo que ya ha

sido rechazado como opción), deja fuera de servicio la central de Flix, produce impactos críticos en la reserva de Sebes (se deseca y, por tanto, se altera su esencia) y obliga a tratar una cantidad mayor de agua. Como consecuencia se selecciona la opción de vaciado del recinto cerrado en el que se sitúan los lodos.

El análisis de esta opción es distinto en función del tipo de solución (in situ o ex situ) que se considere, si bien en cualquier caso el proceso de “secado” implica un cambio trascendente en la situación de los lodos, probablemente superior al que induce su remoción.

Los inconvenientes fundamentales de la opción de trabajar en seco mediante el vaciado del agua en el recinto de trabajo en las soluciones ex situ pueden sintetizarse en los siguientes puntos:

- En la situación sumergida, el agua ejerce una función de tampón respecto a la emisión de volátiles a la atmósfera. El secado dará lugar a estas emisiones.
- Existe un riesgo de inestabilidad mecánica en los taludes de los lodos durante el proceso de secado.
- Comparando con la opción de trabajar en agua mediante draga, la posibilidad de trabajar en seco con equipos convencionales no es ni más sencilla (los lodos no tienen capacidad portante suficiente para soportar directamente la maquinaria) ni más rápida (la dificultad se traduce en un descenso de rendimiento).
- El inicio de los trabajos de extracción deberá retrasarse, por la lentitud del secado (al vaciado de agua del recinto debe añadirse el tiempo necesario para el secado de los lodos).
- La gestión del agua de poros, contaminada, es mucho más compleja que en el supuesto de dragado, ya que en lugar de poder efectuarla en una planta acondicionada debe serlo en campo. Lo mismo puede decirse de los gases emitidos.
- El transporte húmedo es más sencillo.
- La clasificación de los lodos (necesaria para un correcto tratamiento) obliga al añadido de agua, por lo que no es ventajoso el secado previo.
- El muro de cierre del recinto está sometido a unas condiciones de diseño más exigentes, por ser mucho mayor la asimetría de cargas de agua a ambos lados.
- La necesidad de mantener en seco el recinto de una manera continua obligará a establecer un bombeo importante y el consiguiente tratamiento del agua extraída.
- El secado provocará indudablemente un descenso en el nivel freático, que se traduciría en asientos indeseados en las instalaciones próximas.

Como consecuencia puede rechazarse, en las soluciones ex situ, la opción de trabajar en seco.

En cuanto a las alternativas in situ, los inconvenientes de la posibilidad de trabajar en seco son semejantes a los expuestos para las soluciones ex situ, con las salvedades de los aspectos referidos al transporte y a la necesidad de añadido de agua en el proceso de clasificación. También es preciso señalar que en estas alternativas el movimiento de lodos debe ser reducido (esto forma parte de su planteamiento conceptual), lo que rebaja el peso de los potenciales beneficios.

Como consecuencia, y como en la práctica totalidad de las referencias conocidas, el trabajo se plantea en agua.

A partir de aquí puede establecerse que los elementos clave que definen la solución considerada óptima dentro de cada grupo de soluciones son los siguientes:

- Solución in situ: creación de un recinto de trabajo, conformado de los lodos, tratamiento de los lodos y protección frente a la erosión fluvial.
- Solución ex situ: creación de un recinto de trabajo, extracción de los lodos, tratamiento, transporte a vertedero y vertedero en sí mismo

## **9. SOLUCIÓN ADOPTADA**

Diversas razones técnicas (económicamente ambas soluciones no son muy distintas) han conducido a que haya sido considerada como óptima la denominada solución “ex situ”. Como se ha indicado, esta solución incluye la creación de un recinto de trabajo, que debe estar ejecutado previamente al inicio de la manipulación de los elementos significativamente contaminados, siendo su objeto esencial la creación de un recinto abrigado (con agua quieta) e independiente del agua fluyente del Ebro.

También incluye, como trabajo previo, la construcción de un muro-pantalla en la margen derecha del embalse, para evitar el riesgo de descalce de la costa debido a la retirada de la contención que representan los lodos y que simultáneamente evita el flujo desde el subsuelo de la fábrica hacia el embalse.

Una vez ejecutados el recinto y el muro-pantalla podría procederse a la extracción de los lodos, material que, una vez extraído, debe ser objeto de algún tipo de tratamiento, cuyo objetivo es la consecución en los residuos de unas condiciones tales que sea admitido para su confinamiento final en el vertedero previsto (apto para recibir material no clasificado como peligroso) con una cierta holgura.

Una vez finalizado el tratamiento, el material debe ser transportado hasta el depósito final. Para ello la solución prevista consiste en una cinta transportadora cuyo trazado sigue en lo esencial la carretera C-12, después de cruzar el río sobre la presa.

En cuanto al vertedero, este, por exclusión (no se trata de residuos inertes ni tampoco tóxicos o peligrosos, en el sentido normativo de los términos), ha de ser de clase II. Como ubicación óptima, aunque se han planteado otras posibilidades, se considera la ampliación, mediante nueva célula, del actualmente existente en Racó de la Pubilla, en el T.M. de Flix.

## **10. ELEMENTOS ESENCIALES DE LA SOLUCIÓN**

### **10.1 Creación de un recinto de trabajo**

Su disposición en planta constituye una línea situada dentro del embalse, cóncava hacia la margen derecha, arqueada, cuyo inicio se establece en dicha margen inmediatamente aguas arriba del límite de los lodos y su final en las proximidades de la esclusa de navegación, que queda en el exterior del recinto. Tiene una longitud aproximada de 1300 m y, en los 550 m centrales es paralela a la margen izquierda y situada a unos 100 m de distancia de ésta. Este espacio de 100 m es el pasillo que queda disponible para la circulación del agua del río a través del embalse, quedando el resto de la superficie confinada en el recinto.

La sección transversal del muro consiste en una doble línea de tablestacas separadas 6 m entre sí. La cota inferior de las tablestacas es la necesaria para alcanzar el substrato terciario, mientras que la superior se sitúa, en la línea exterior, a la cota 42,00 (salvo en la

zona singular de cruce del azud existente, donde sube hasta la 43,00), y en la línea interior, a las cotas 42,00 y 43,00 dependiendo del tramo. Con ello se obtiene una altura de tablestaca comprendida entre 14 y 16 m; de ellos, entre 5 y 6 m estarán atravesando los sedimentos cuaternarios aluviales del río que van a permanecer en el embalse después del dragado de los lodos contaminados y constituyen por consiguiente el tramo de apoyo de las tablestacas; por encima de estos sedimentos se situará el agua del recinto, que se pretende mantener durante la operación de dragado ligeramente por debajo del nivel que existe en el embalse en cada momento, con objeto de que el flujo de los inevitables pero deseablemente mínimos permeados a través del muro o por debajo de él, sea en sentido hacia el interior del recinto, evitando así la contaminación de las aguas exteriores a éste. Un tirante colocado a intervalos de 2,50 m entre las dos líneas solidificará los esfuerzos de ambas para resistir la flexión debida a la distinta carga de agua en el exterior y el interior del recinto, especialmente en avenidas.

Se colocarán, asimismo, tablestacas transversales que permitan dividir el área comprendida entre las dos filas de tablestacas en recintos más pequeños (de 25 m). Complementariamente a ello, el nivel superior de las tablestacas se verá interrumpido regularmente de forma que exista una ventana en los recintos antes dichos que permita la comunicación de agua entre el embalse y el interior de los recintos y entre este y la zona de trabajo. Su finalidad es garantizar que no se produzcan niveles de agua distintos entre el interior y el exterior por encima de las cotas dichas, permitiendo, simultáneamente, que el anclaje antes citado se sitúe siempre fuera del agua.

Todo el muro de tablestacas se complementa con una banqueta que asciende a una cota variable entre 35,0 y 38,0 m.s.n.m.. Este pedraplén se protege mediante escollera en la cara exterior.

Únicamente resta señalar que las uniones entre tablestacas se impermeabilizarán, para garantizar que el flujo de agua sea realmente bajo.

En la Figura 5 se esquematiza esta solución, concretándose que el espesor medio de las tablestacas es del orden de 2 cm y el anclaje estará constituido por una barra de 40 mm de diámetro. En cuanto a la protección frente a la erosión, esta estará constituida por escollera cuyo D<sub>50</sub> es variable en función de su ubicación, oscilando entre 40 cm y 1,20 m, correspondiendo los valores más bajos a las zonas extrema y los más altos a la zona central.

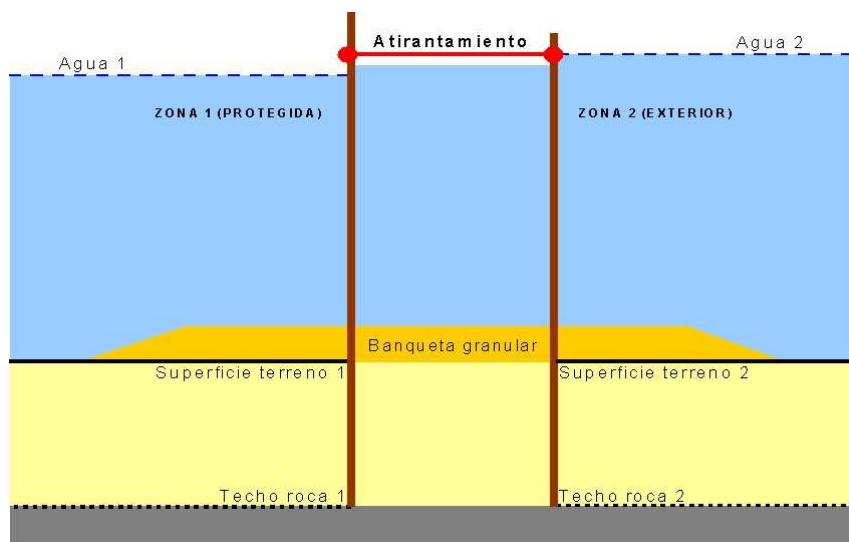


Figura 5. Croquis de la solución de cierre del recinto abrigado

## 10.2 Muro pantalla

Se instala a lo largo de la fachada de la fábrica que queda en el interior del recinto cerrado por las tablestacas. Tiene una longitud aproximada de 1.100 m. En planta forma una línea ligeramente quebrada en 4 alineaciones para ceñirse lo máximo posible a la linde de la fábrica, que se aparta poco de la línea recta.

El muro se materializa en pilotes secantes que resultan de un diámetro de 1,00 m, y espaciamiento de 1,3 m entre ejes de pilotes secundarios y alcanzan y penetran un mínimo de 3 m en el substrato terciario (alcanzan una cota comprendida entre 24,5 y 31,0). Para su ejecución se ha de disponer la maquinaria en la propia zona de trabajo, exterior a la fábrica, lo que en los tramos primero, de unos 600 m y último, de unos 250 m (de aguas abajo hacia aguas arriba) obliga a construir ante todo un camino sobre un terraplén paralelo a la fachada de la fábrica en zona palustre, que sea lo suficientemente resistente para soportar el peso de la maquinaria y demás medios de construcción.

En la Figura 6 se refleja un esquema de la sección tipo adoptada. En esta sección se aprecia la existencia de tirantes de anclaje necesarios para garantizar la estabilidad en la fase de obras. Estos anclajes son de tipo provisional, de forma que una vez realizado el relleno de escollera de protección previsto frente al muro deberán destensarse para evitar posibles incidentes a largo plazo. Se prevén separados aproximadamente 5 m, siendo su capacidad de 180 t. Se empotrarán en matriz consistente una longitud de unos 8 m

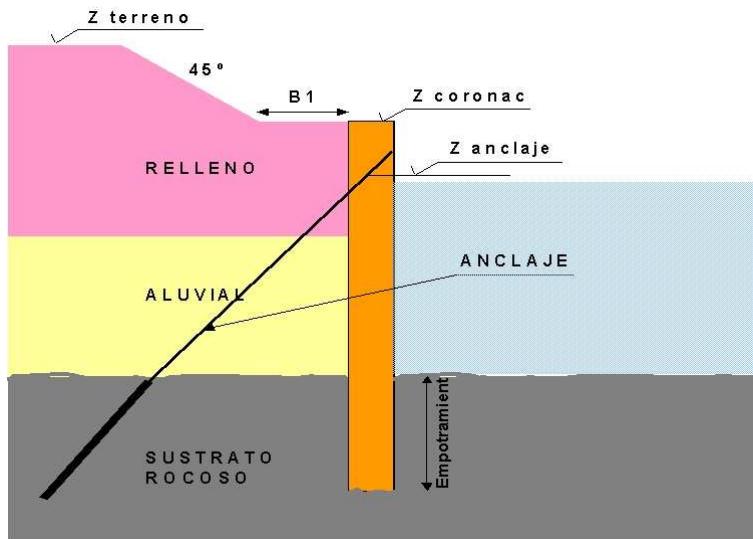


Figura 6. Croquis de la sección tipo del muro pantalla

## 10.3 Extracción de los lodos

La extracción constituye la operación más delicada en esta obra, por cuanto es el momento en que, en medio acuático, se produce la remoción del material que debe ser objeto del tratamiento. Se trata de extraer un volumen cercano a los 980.000 m<sup>3</sup> de material que se ha depositado en el vaso del embalse de Flix o se ha visto afectado por estos depósitos y vertidos. Este material está constituido por vertidos industriales y sedimentos aluviales adyacentes que han quedado contaminados con su contacto. Mientras los primeros son limos y arcillas, los sedimentos están formados por gravas y arenas fundamentalmente.

La primera decisión que ha debido ser adoptada ha sido la referente a qué material es preciso extraer. Como punto de partida, el criterio fue el de extraer todo el residuo situado

en el embalse y dejar los materiales naturales; el curso de los trabajos ha hecho modificar ambos criterios.

La extracción de todo el residuo conduce a abarcar una superficie muy grande que se extiende hasta muy poca distancia de la margen izquierda. La sección libre que restaría para la circulación de agua, una vez colocadas las tablestacas de cierre del recinto abrigado, sería muy reducida, lo que iría acompañado de velocidades grandes, asociadas a elevados potenciales erosivos. Por esta razón se ha optado por mantener fuera del recinto de trabajo y, por tanto, no extraer los lodos situados en el entorno de los sondeos W-1, H-2 y H-3 (ver Figura 7). Esto es posible ya que si bien en esta zona existen lodos, estos están muy poco contaminados. En la Tabla 3 se presenta un resumen de las concentraciones medias de distintos contaminantes en la zona que se proyecta excluir de la extracción.

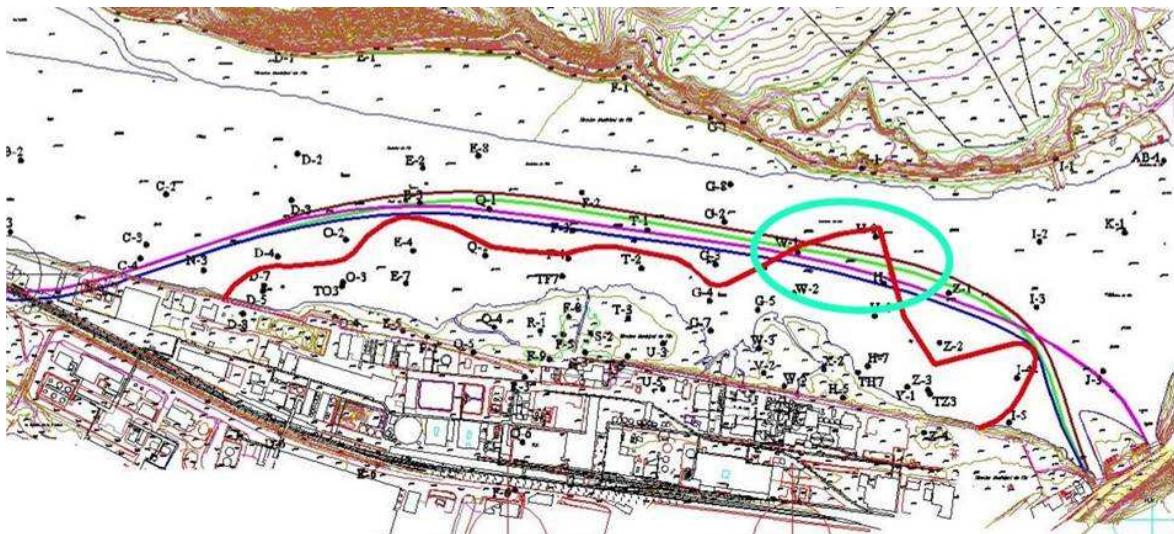


Figura 7. Zona cuya exclusión del material a extraer se plantea

Grupo de contaminantes	Compuesto	Concentración (mg/kg) o actividad (Bq/kg)
COV	Tetraclororuro de carbono	0,01
	Tricloroetileno	0,02
	Tetracloroetileno	0,00
	Pentaclorobutadienos	0,01
Metales pesados	Mercurio	1,08
PCB	Suma	0,04
Pesticidas	Familia DDT	0,03
	Familia hexaclorociclohexanos	0,04
Radionucleidos	<sup>226</sup> Ra	25
	<sup>238</sup> U	14

Tabla 3. Concentración media de contaminantes en la zona excluida de la extracción

El criterio anterior ha sido validado más profundamente mediante análisis de riesgos, estableciendo que:

- La cantidad total existente de contaminantes en esta zona es reducida, de forma que si fuese movilizada en avenidas, la concentración en el agua sería baja y el

episodio tendría una duración corta (criterios de prepotentes durante del orden de un día)

- Asimismo, por la misma razón de lo reducido de la cantidad total de contaminantes, si no se aportan cantidades adicionales desde otras fuentes, la zona quedaría limpia, sin incrementar el aporte actual hacia aguas abajo, en un tiempo reducido (del orden de 3 meses), en el supuesto de que se mantenga la concentración actual de salida.
  - La concentración máxima de contaminantes es baja, de forma que si los procedimientos de dragado o hinca de tablestacas son eficientes y no se plantean ritmos altos de trabajo, no existe riesgo de episodios aguas abajo.

En cuanto al criterio de no extraer aluvial, se ha visto modificado fundamentalmente por las concentraciones detectadas en el entorno de los sondeos D-5 y D-7. A la vista de estas, se han planteado distintas posibilidades de extracción, recogiéndose su resumen en la Tabla 4. Se presenta en la primera columna (total) la concentración media existente en el aluvial subyacente a los lodos, considerado en su totalidad. Se plantea a continuación la posibilidad de extraer el aluvial situado en la zona de los sondeos D-5 y D-7, lo que origina una reducción espectacular en el grupo de los DDT. La siguiente posibilidad contemplada ha sido la de extraer también todo el aluvial situado aguas arriba del azud, lo que produce una reducción apreciable en la concentración de tetracloroetileno pero no hace lo mismo con la de pentaclorobutadienos. Por esta razón se plantea extraer todo el aluvial subyacente, con la excepción del situado bajo el lóbulo de fosfatos. En este caso las concentraciones ya son bajas en todos los compuestos.

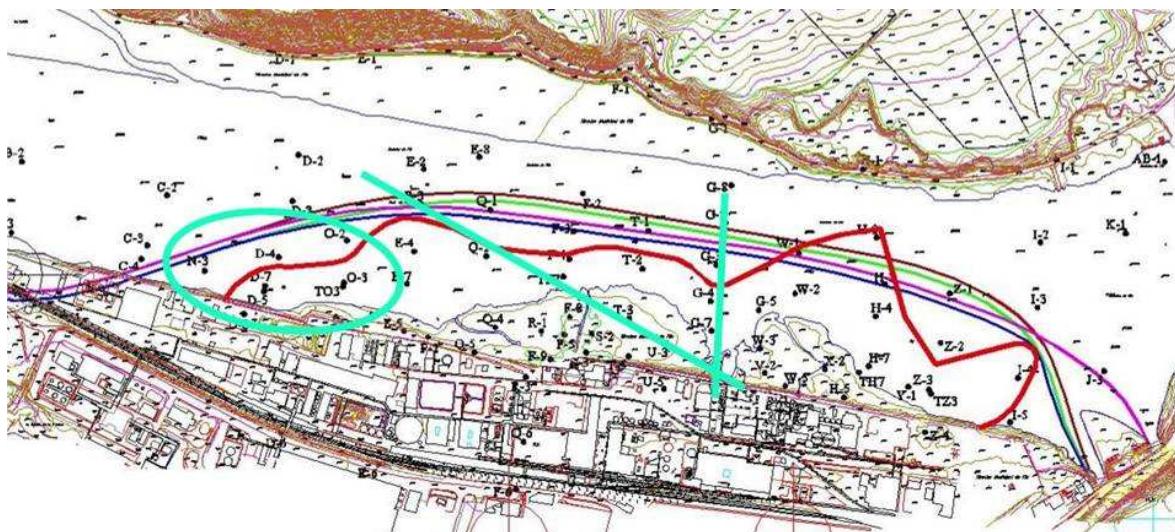


Figura 8. Zonas en las que se considera la necesidad de extraer aluvial

Grupo de contaminantes	Compuesto	Concentración / actividad (mg/kg; Bq/kg)			
		Total	Sin D5-D7	Sin lóbulo oeste	Sólo queda lóbulo fosfatos
COV	Tetraclororuro de carbono	2.8	2.8	0.01	0.01
	Tricloroetileno	1.7	1.7	0.25	0.02
	Tetracloroetileno	14	14	0.41	0.02
	Pentaclorobutadienos	5.6	5.6	3.1	0.01
Metales pesados	Mercurio	2.8	2.8	0.63	0.53
PCB	Suma	0.51	0.05	0.06	0.05
Pesticidas	Familia DDT	13	0.05	0.04	0.04
	Familia hexaclorociclohexanos	0.08	0.06	0.04	0.04
Radionucleidos	<sup>226</sup> Ra	92	92	92	150
	<sup>238</sup> U	31	31	31	46

Tabla 4. Comparación de concentraciones de distintos contaminantes en aluvial, en función del criterio de extracción

Como consecuencia de ello se ha adoptado el criterio de extraer todo el aluvial subyacente salvo el situado bajo el lóbulo de fosfatos.

Con el criterio anterior, la profundidad máxima de dragado se estima en aproximadamente 15,00 m bajo el nivel medio del río en la zona. El material extraído se envía mediante bombeo por tubería flotante a la planta de tratamiento.

En cuanto al proceso de extracción en sí mismo, es preciso distinguir tres fases fundamentales complementadas por otra previa de preparación. En función de ello, el proceso que se plantea para la extracción del material responde a las siguientes pautas:

- En primer lugar (fase preparatoria), trabajando desde tierra, se retirarán los lodos emergidos que se muestren consistentes. Se estima que podrá uniformarse la masa de lodos a la cota +42,00 m.s.n.m. o inferior, con un movimiento muy reducido (inferior a 2.000 m<sup>3</sup>). La ejecución es absolutamente clásica, con palas cargadoras y camiones de transporte, en vía seca.
- A continuación actuará un elemento flotante (primera fase), que extraerá los lodos comprendidos entre las cotas +42,00 y +39,00 m.s.n.m. Entrará desde el embalse y se abrirá camino por sí mismo, respetando una mota exterior conformada por los lodos a la cota +40,75. La draga trabajará en el interior de esta mota, cuya entrada inicial habrá sido cegada una vez franqueada por la draga. Hasta este momento es difícil imaginar migración de contaminantes, ya que se trabaja en una zona confinada por los propios lodos. Se prevé la utilización de una cuchara cerrada.
- A continuación (segunda fase), por recintos conformados por cortinas flotantes de 100 m de frente, se avanzará en el dragado de los lodos sumergidos (se incluye aquí la mota antes respetada) hasta su extracción completa. Se dragará por succión, sin empleo de elementos cortadores.
- Extracción del cuaternario (tercera fase) subyacente con un sistema semejante al expuesto para los lodos sumergidos. El dragado será también por succión pero recurriendo a elementos cortadores.

Se controlará la calidad del agua de manera prácticamente constante en el interior del recinto flexible (también en el exterior de este en el área interior al rígido), de forma que si se superan unos determinados umbrales sean parados los trabajos de remoción de los

materiales. Asimismo se prevé una bomba de apoyo que deberá funcionar en el supuesto de parada de la draga de succión, con el fin de mantener permanentemente una depresión en el interior del recinto que haga que la tendencia del movimiento del agua sea desde fuera hacia dentro, evitando la fuga hacia el exterior.

Un aspecto fundamental del diseño que debe ser respetado es el requisito de adecuar los ritmos de extracción a la no remoción de material. Esto conduce a que el ritmo deba ser muy reducido (se ha previsto el valor de 260 m<sup>3</sup>/hora), dando lugar al planteamiento contrario al que aplica a la mayor parte de las obras, ya que existirá un ritmo que no podrá ser sobrepasado ni en el caso que (debe suponerse que por causas ajenas) se produjeran retrasos en las obras.

El transporte del material dragado hasta la zona de la planta de tratamiento será mediante cualquier sistema que permita el transporte sin que se produzcan derrames del material, en función de lo cual se ha previsto realizarlo por tubería, con la única salvedad ya indicada de la fase preparatoria, en la que se recurrirá al transporte mediante camiones. Los equipos y sus medios auxiliares en su desplazamiento y/o posicionamiento deberán disponer de un sistema que reduzca al mínimo la polución en el área de trabajo.

El resultado de los criterios expuestos en términos de volúmenes a extraer se refleja en la Tabla 5.

Fase	Descripción	Volumen de extracción (m <sup>3</sup> )			
		Lodos + rellenos emergidos	Lodos + rellenos sumergidos	Aluvial	Total por fases
1	Extracción por encima de la cota 42	2.000			2.000
2	Extracción por encima de la cota 39		295.000		295.000
3	Extracción de los materiales sumergidos hasta el techo del Cuaternario		329.000		329.000
4	Extracción del aluvial hasta techo del Terciario, en la zona definida en la solución.			260.000	260.000
Total por materiales:		2.000	624.000	260.000	886.000

Tabla 5. Resumen de volúmenes a extraer por fases

#### 10.4 Tratamiento

En el tratamiento se consideran los siguientes elementos:

1. Clasificación granulométrica mediante cribas e hidrociclones con objeto de separar los materiales groseros (bolos, gravas y arenas) aparentemente poco afectados por la presencia de sustancias contaminantes, de los materiales finos (limos y arcillas) donde se han constatado las concentraciones más elevadas.

Los materiales tipo bolos, gravas y arenas serán transportados hasta una zona de acopio para su posterior análisis antes de ser trasladados al vertedero.

La clasificación en las cribas se llevará a cabo con distintos equipos en función del tamaño de grano, funcionando en serie. En primer lugar se realizará un cribado de aquellos elementos y materiales mayores de 150 mm de diámetro. Por gravedad los materiales que pasen este cribado serán separados, en una segunda etapa, a través de tres bandejas que retendrán materiales de tamaño mayor de 60 mm, entre 60 y 5

mm y entre 5 y 2 mm. Como mínimo se dispondrán dos unidades compuestas por tres bandejas.

La última etapa de separación corresponde a los hidrociclos, los cuales separan la parte sólida de la fluida (que llevan los finos en suspensión) en mezclas bifásicas donde una de las fases está formada por partículas sólidas. La mezcla baja rotando por el ciclón. Debido a la fuerza centrífuga la fase sólida es lanzada hacia las paredes exteriores del hidrociclón, choca con ellas y desciende, para ser recogida en la parte inferior.

Los hidrociclos separan el tamaño entre 2 y 0,08 mm con una eficiencia del 97%. Para cada línea de hidrociclos se dispondrán dos etapas; en la primera se separará hasta 0,5 mm y en la siguiente hasta 0,08 mm. Se ha previsto la instalación de tres líneas.

El funcionamiento de este sistema será de 8 horas diarias, siempre coincidente con el ritmo en el proceso de extracción.

2. Deshidratación de los sedimentos mediante espesador y filtro prensa en serie con el fin de reducir la humedad de los materiales limo-arcillosos para reducir su volumen y facilitar su transporte, en el caso de que sean transportados directamente al vertedero, o mejorar el rendimiento de los equipos de tratamiento en el caso que sea necesario su saneamiento antes de su gestión.

El funcionamiento de este sistema será continuo, durante todo el día.

En los espesadores se ha previsto una capacidad de 50 t/h de material espesado por unidad (3 uds.). Los filtros prensa tendrán una capacidad mínima de deshidratación de 15 t/h, con un contenido final de materia seca de como mínimo un 60%. Se ha previsto la colocación de 9 uds.

Tras la deshidratación, los lodos serán enviados a un acopio y sometidos a un control analítico para determinar la necesidad de tratarlos antes del traslado a vertedero.

3. Tratamiento de los materiales con contaminantes con concentraciones superiores a los niveles de referencia para su deposición en el vertedero de Racó de la Pubilla.

Se contemplan los siguientes tratamientos para los materiales (suelos) contaminados:

- a) Desorción térmica para el tratamiento de los suelos en los que los compuestos orgánicos tipo PCB, pesticidas organoclorados y disolventes presenten concentraciones elevadas. Mediante esta técnica se conseguirá igualmente reducir el contenido de mercurio.

Dentro de los sistemas de desorción, para un mayor control de la temperatura del suelo tratado y menores emisiones gaseosas se empleará un sistema de calentamiento indirecto, en el que el suelo tratado está aislado por una carcasa o cámara fuera de la zona de llama.

- b) Tratamiento de oxidación de suelos para la reducción de compuestos orgánicos en aquellos casos en los que la concentración de estas sustancias sea menos relevante.

Adicionalmente al tratamiento de oxidación, se contempla una estabilización en el caso de registrarse metales por encima de los criterios de aceptación en vertedero.

- c) Tratamiento de lavado. Sobre fracciones en las que se superen los objetivos de calidad establecidos.

La validez del esquema propuesto ha sido comprobada mediante la realización de una prueba piloto, en la que se ha sometido a un volumen relativamente importante de material al proceso tal y como ha sido descrito en su totalidad.

### **10.5 Transporte a vertedero**

Para el transporte del material tratado a vertedero se ha previsto la instalación de una cinta transportadora. Esta arranca en la rampa situada en la fachada de la fábrica a la que ya se han hecho varias referencias anteriores, en cuyas proximidades se ubica la zona de tratamiento. A partir de ese punto, recorre la mayor parte de la fachada de la fábrica, cruza el río Ebro por la presa y alcanza el vertedero del Racó de la Pubilla, siguiendo un trazado próximo a la carretera C-12, con una longitud total de unos 7 km.

Se prevé la utilización de dos tipos de cintas, el primero de los cuales es la solución clásica (cinta abierta, plana), si bien todos sus elementos se encuentran instalados en un recinto cerrado. La segunda opción se refiere a las denominadas "cintas cerradas sobre sí mismas" en las que la banda original se arrolla formando un cilindro circular cerrado para desplegarse de nuevo en destino (esta solución también se prevé instalada en el interior de un recinto cerrado, por lo que el material quedaría confinado por un doble cerramiento). Manteniendo las cualidades de los sistemas tradicionales de transporte por cinta, presenta algunas ventajas adicionales que hacen sugerente técnica y económicamente su empleo en este proyecto. Puesto que este cilindro cerrado abriga completamente el material objeto de transporte, resulta especialmente indicado cuando adquiere importancia la protección ambiental frente a materiales peligrosos, contaminados, pulverulentos o malolientes, además de aislarlos de los agentes atmosféricos, disminuir la evaporación y evitar la adición o sustracción de material durante el trayecto. Otras ventajas consisten en el menor espacio requerido para su desarrollo y su más fácil adaptación al terreno, con lo que necesita menor número de torres de transferencia y admite pendientes mayores sin nervaduras o rugosidades que dificultan la limpieza (30°), todo ello debido también a su mayor resistencia que permite largas distancias sin interrupción.

### **10.6 Depósito controlado**

Como ya se ha indicado, el depósito controlado será una nueva celda independiente del ya existente en Racó de la Pubilla, en el mismo término municipal de Flix. Este es de clase II y su ampliación responde al mismo criterio.

Ha sido diseñado de acuerdo con los requisitos normativos establecidos en el Decreto 1/1997 de 7 de enero de 1997, sobre la disposición en depósitos controlados. En función de ello la impermeabilización basal se garantiza mediante un conjunto de capas de protección, que, en orden ascendente son las siguientes:

- Capa de arcilla de 1,5 m y permeabilidad menor que  $5 \cdot 10^{-10}$  m/s.
- Lámina de PEAD de 2 mm.
- Capa de geotextil antipunzonamiento.
- Capa de grava silícea de 0,3 m.
- Capa de geotextil antipunzonamiento.
- Lámina de PEAD de 2 mm.
- Capa de geotextil.
- Capa de grava silícea de 0,5 m.

- Capa de geotextil filtro.
- Capa de tierras seleccionadas de al menos 0,1 m.

La adopción de una doble capa de impermeabilización sintética con un drenaje de seguridad no está exigida por la normativa y se ha adoptado como medida adicional de seguridad, por la existencia de compuestos, en los lodos extraídos, distintos de los actuales vertidos de la fábrica en el vertedero, de modo que se pueda controlar de forma independiente los dos tipos de vertido, evitando mediante disposición de este dren de seguridad, cualquier potencial infiltración a la barrera geológica.

Por su parte, el sellado superior se compone de las siguientes capas, en orden ascendente:

- Capa de tierras de regularización de 0,5 m.
- Capa de geotextil filtro.
- Capa de grava silícea de 0,3 m para recogida de posibles gases.
- Capa de geotextil filtro.
- Capa de arcilla de 0,9 m y permeabilidad menor que  $10^{-9}$  m/s.
- Lámina de PEAD de 2 mm.
- Capa de geotextil protector.
- Capa de grava de 0,3 m para recogida de pluviales.
- Capa de geotextil filtro.
- Capa de tierras de 1 m.

Respecto a la normativa y como medida de seguridad adicional, se ha considerado la disposición de una capa granular para el drenaje de gases, debido a la existencia en los lodos de compuestos volátiles. De esta forma, se permite la evacuación de este mínimo caudal de gases, a través de pozos de evacuación. Asimismo se ha proyectado una capa superior de tierras de espesor importante, para incrementar el aislamiento de los compuestos radioactivos.

## 10.7 Otros elementos

Adicionalmente a los elementos clave anteriormente señalados, la solución incluye otros elementos también relevantes:

- Modificación de la salida de la EDAR existente, para evitar los vertidos en el interior del recinto de trabajo.
- Una vez finalizada la extracción del material, protección de escollera en el lado agua de la margen derecha.
- Drenaje de la costa derecha del embalse para evitar que la impermeabilización que introduce el muro-pantalla produzca un ascenso del nivel freático y, como consecuencia, la modificación de las líneas de flujo hacia el río Ebro más abajo del meandro.
- Planta de tratamiento de aguas a largo plazo para tratar el agua procedente del drenaje anterior previamente a su vertido. Es de pequeña magnitud (algunas unidades de l/s en caudal) y debe mantenerse indefinidamente. Se integrará con la planta existente actualmente en las instalaciones de la fábrica.

- Urbanización, accesos, energía, etc., que debe completarse con un cerramiento de las instalaciones, al que debe asociarse un sistema de captura y tratamiento de gases.
- Planta de tratamiento de aguas para adecuar el agua de secado. Tiene una capacidad importante (decenas de l/s) y sirve también para hacer frente a eventuales emergencias de contaminación en el interior del recinto de trabajo.
- Sistemas de control y avisos, referidos al agua del recinto de trabajo y en el embalse, a los gases en el interior de la planta y en la zona de actuación y a los sólidos en el embalse y en la planta. Se asocia con el plan de emergencia.
- Abastecimiento de emergencia a núcleos aguas abajo, para hacer frente a eventuales incidencia de contaminación.

## 11. PARTICIPACIÓN

Probablemente más importante que la misma justificación técnica de la solución adoptada sea el propio proceso seguido, que puede considerarse caracterizado por los términos de transparencia y participación. Este proceso se inicia en septiembre de 2004, cuando, con objeto de emprender las primeras medidas para garantizar la seguridad de la población y del territorio frente a cualquier riesgo eventual que pudiera derivarse de los sedimentos depositados en el embalse de Flix, se celebra en dicho municipio una reunión a la que asisten diversas entidades implicadas. En esta reunión se crea la Comisión de Seguimiento del embalse de Flix, cuya función es proponer las medidas oportunas, de corrección de la contaminación del embalse de Flix y de control y seguimiento de la calidad de las aguas, para su aprobación por el Ministerio de Medio Ambiente. Se constituye también, en la misma reunión, la Comisión Técnica del Embalse de Flix, cuyas funciones son analizar todas las posibilidades para resolver la problemática del embalse de Flix y proponer a la Comisión de Seguimiento la alternativa más conveniente, así como proponer las medidas de control y prevención recomendables para la total seguridad de la población y del territorio.

En febrero de 2005 se acuerda promover, con carácter mensual, una reunión de coordinación de la Comisión Técnica del Embalse de Flix con la presencia de la empresa ejecutora de los trabajos, para informar de los progresos de los trabajos. Este seguimiento ha dado lugar a que la Comisión Técnica, en octubre de 2005, haya acordado proponer a la Comisión de Seguimiento el desarrollo como proyecto destinado a la ejecución de la que se estaba denominando "Alternativa ex situ", cuyo fundamento es la extracción de los lodos desde el embalse mediante una draga especial (ecológica), el tratamiento mediante desorción térmica y oxidación e inertización sucesiva o alternativamente de la fracción más contaminada de los residuos y su transporte, mediante cinta, hasta un depósito controlado. Como consecuencia de ello y también en octubre de 2005, en reunión celebrada en Flix, la Comisión de Seguimiento tomó la decisión de aceptar en todos sus términos la recomendación de la Comisión Técnica, por lo que puede considerarse que los grandes parámetros utilizados para la solución del problema de la contaminación histórica del embalse de Flix son consecuencia de un amplio consenso.

Como complemento a la información anterior, es interesante tener presente la constitución de las comisiones anteriores, que ponen de relieve el elevado grado de participación que ha existido en la toma de decisión. Además de la propia AcuaMed, en una, en otra o bien en ambas comisiones han participado (como miembros de pleno derecho o invitados) representantes de las siguientes organizaciones: Secretaría General para el Territorio y la Biodiversidad del Ministerio de Medio Ambiente (presidencia de la

Comisión de Seguimiento), Confederación Hidrográfica del Ebro (presidencia de la Comisión Técnica), Subdirección General de Gestión Integrada del Dominio Público Hidráulico de la Dirección General del Agua del Ministerio de Medio Ambiente, Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental del Ministerio de Medio Ambiente y su Subdirección General de Evaluación Ambiental, la Dirección General de Calidad Ambiental de la Generalitat de Cataluña, la Dirección General de Emergencias y Protección Civil de la Generalitat de Cataluña, la Agencia Catalana del Agua, la Agencia de Residuos de Cataluña, el Departamento de Salud de la Generalitat de Cataluña, los Ayuntamientos de Flix, Amposta y Deltebre, la Delegación del Gobierno en Cataluña, el Delegado del Departamento de Medio Ambiente y Vivienda en Tierras del Ebro, la Delegación del Departamento de Presidencia en Tierras del Ebro, el Consejo Comarcal Ribera del Ebro, la Cátedra de Ecología de la Universidad de Barcelona, el Instituto de Ciencias del Mar de Barcelona del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, el Instituto de Investigaciones Químicas y Ambientales de Barcelona del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, la Universidad Politécnica de Cataluña, el Consejo de Seguridad Nuclear, el Instituto Geológico y Minero de España, ERCROS, ENDESA GENERACIÓN, ENRESA, el Consorcio de Aguas de Tarragona, la Comunidad de Regantes de la Margen Derecha del Ebro, el Consorcio para la Protección Integral del Delta del Ebro (CEPIDE), la Reserva Natural de Sebes, Ecologistas en Acción, Greenpeace, SEO/Birdlife y CCOO de Cataluña.