



GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE

acuaMed



UNIÓN EUROPEA

ELIMINACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN QUÍMICA EN EL EMBALSE DE FLIX





Marc Pujols, Gracia Ballesteros
Aguas de las Cuencas del Mediterráneo (ACUAMED)

INTRODUCCION

El embalse de Flix, situado en el tramo bajo del río Ebro, en Tarragona, retiene actualmente en su vaso varios centenares de miles de metros cúbicos de lodos, presumiblemente vertidos por una industria química que se asienta en su margen derecha. Son elementos residuales, constituidos por compuestos químicos mezclados con otros de carácter inerte. Ante los evidentes riesgos que esta situación comportaba para la salud de la población y para el medio ambiente, la Administración Pública ha decidido iniciar un proceso consistente en concebir, analizar, desarrollar, comparar y escoger alternativas de actuación para corregirla y evitar o mitigar la transmisión al entorno de esos elementos nocivos. El resultado ha sido una de las más complejas actuaciones en materia de tratamiento de residuos, que ha iniciado, el pasado mes de marzo, la fase de operación propiamente dicha, con el dragado de los lodos contaminados y su posterior tratamiento y almacenamiento. Un proceso que se prolongará a lo largos de unos dos años.

Tanto por su envergadura como por su concepto de tratamiento in-



tegral simultáneo de contaminantes de diverso tipo, el proyecto de descontaminación del embalse de Flix, desarrollado por la Sociedad Estatal Acuamed es pionero en la industria mundial de la recuperación ambiental.

Antecedentes

Situada en un meandro del tramo bajo del río Ebro, a su paso por la población de Flix (Tarragona), la presa que cierra el embalse del mismo nombre fue construida en 1949, junto

con las presas de Mequinzenza y Ribarroja, en un esfuerzo por regular el régimen de este río.

Sin embargo, mucho antes, a finales del siglo XIX, en 1897, la fábrica de Ercros, instalada en la orilla del río y cerca de la población de Flix, había iniciado su actividad productiva. A lo largo de los años, la fábrica fue variando su producción y sus instalaciones, por lo que el régimen de vertidos tóxicos también fue cambiando con el tiempo. Uno vertidos que, debido a la construcción del embalse, fueron acumulándose en una



zona lateral del pantano, que retiene actualmente 700.000 metros cúbicos de lodos constituidos por compuestos químicos mezclados con otros de carácter inerte.

Se han identificado tres grandes grupos de contaminantes: organoclorados, metales pesados (principalmente mercurio) y radionucleidos. Estos contaminantes se encuentran en concentraciones relativamente elevadas, susceptibles de transmitir su contaminación al agua del Ebro. De hecho existen registros de episodios puntuales en los que se han sobrepasado los límites de tolerancia de contenido de componentes agresivos en el ecosistema.

El resultado fue un progresivo deterioro de la calidad del agua del río que abastece a más de 1 millón de personas, riega en torno a 50.000 ha y que permite la existencia de un espacio protegido de tan alto valor natural como es el Delta del Ebro. Ase-

gurar la salud y la seguridad de las personas, del agua y de los ecosistemas, exige la retirada de esos residuos acumulados.

Para ello, Acuamed, junto con las principales administraciones, asociaciones ecologistas y expertos nacionales y extranjeros y tras barajar diversas alternativas, ha optado por una solución para limpiar el Ebro a su paso por Flix, denominada ex situ, consistente en la extracción completa de los materiales contaminantes, su tratamiento y el almacenamiento posterior de los residuos, ya inertes, en un vertedero controlado y construido al efecto.

El proyecto

La obra, encomendada, con carácter prioritario y urgente, a la Sociedad Estatal Aguas de las Cuencas Mediterráneas, dependiente del Ministerio de Agricultura, Alimentación



y Medio Ambiente, consiste en eliminar unos 800.000 m³ de lodos contaminados. Los contaminantes pertenecen a tres grupos principales: organoclorados, metales pesados (principalmente mercurio) y radionucleidos. Están en concentraciones al menos relativamente elevadas, susceptibles de transmitir su contaminación al agua circulante por el río; esa transmisión parece que se ha producido de hecho en alguna ocasión, existiendo un registro de episodios





puntuales en los que se han sobrepasado los límites de tolerancia de contenido de componentes agresivos en el ecosistema.

La inversión total de la obra alcanza los 165 millones de euros y supone la mayor inversión en una obra de descontaminación en España. De esta inversión, Europa financia 117 millones, a través de los Fondos de Cohesión, ya que se trata de una obra cuyo objetivo aún la garantía y calidad del agua para las personas, con la mejora ambiental y la calidad de las masas de agua, ambos aspectos prioritarios para la Comisión Europea.

En el ámbito internacional, en la actualidad se está ejecutando una descontaminación en New Bedford Harbor en Estados Unidos, con un presupuesto de 335M€ por parte de la EPA (Agencia de Protección Ambiental), con quien Acuamed ha estado en contacto con el fin de intercambiar información, a pesar de que sólo descontaminan organoclorados (en

la obra de Flix además de organoclorados hay metales pesados, lo que hace que sea única en el mundo).

ENTORNO DE LA ACTUACION

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.

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.

También 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, una consecuencia inmediata 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. 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

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.

Con todas estas consideraciones de partida, se acomete la búsqueda de soluciones para evitar el riesgo de contaminación, continua o episódica.

PROCESOS GENERADORES DE RESIDUOS

Los materiales que conforman actualmente la margen del embalse

a la altura de la fábrica son, en buena parte, procedentes de residuos de la actividad de la propia fábrica. Los procesos que han podido generar la mayor parte del volumen de estos materiales acopiados o sedimentados en la margen son los siguientes:

a) Combustión de carbón. Durante décadas, las calderas de vapor estuvieron alimentadas por carbón. 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 electrolisis que es el proceso central de la fábrica desde sus orígenes. La sal 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. En la electrolisis, se utilizó el mercurio como catalizador.

c) Tricloroetileno. La producción de tricloroetileno (TRI) en Flix se inició en 1928 y se paró en 1990. El agua de vertido del proceso, con aspecto de una lechada de cal, arrastra el cloruro cálcico y el exceso hidróxido cálcico que, en aguas bicarbonatadas, forma carbonato cálcico que precipita. Se presume que estas sustancias cálcicas son el material mayoritario de los lodos acumulados.

d) Percloroetileno y tetracloruro de carbono. La producción de PER-TETRA se inició en 1972 y prosigue en la actualidad. Como subproducto se obtiene ácido clorhídrico. El caudal de vertido de este proceso es relativamente importante y el agua de vertido es ligeramente ácida. Estas dos circunstancias, caudal y acidez, pue-





den estar relacionadas con el hecho de que siempre haya existido una separación nítida de los lodos en dos zonas.

e) Fosfato bicálcico, radionucleidos. La producción de FBC se inició en 1973. El proceso parte de fosforita y ácido clorhídrico. 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.

Además de estos residuos, al Ebro han llegado, por vía líquida o sólida, **otros compuestos en proporciones mucho más reducidas pero de mayor capacidad contaminante.**

CONTAMINANTES PRESENTES EN LOS LODOS

Los contaminantes presentes en los lodos responden a tres grandes grupos: radionucleidos, organoclorados y metales pesados.

• Metales pesados

Se detecta principalmente la contaminación por Mercurio en todo el terraplén de residuos, con valores máximos en los lóbulos oeste 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 se cita el Cadmio en el terraplén de residuos en la zona del lóbulo este (entorno de 5-50 ppm).

Del resto de metales: Arsénico, Cromo, Plomo, Zinc, Níquel, Cobre, no destaca nada en particular.

• Orgánicos semivolátiles

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



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

Respecto a DDT, DDD, DDE, sólo se ha apreciado localmente contaminación en el punto singular agua arriba en los que estos compuestos alcanzan magnitudes importantes (superiores a 500 ppm). El DDT también presenta contaminación en los lóbulos central y oeste. Esta misma presencia se ha detectado en los HCH (alfa, beta, gamma y delta).

• Orgánicos volátiles

Se 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 detectado concentraciones habituales 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 detectado contaminaciones

significativas en zonas, aún cuando de modo local se han registrado en residuos contaminaciones notables por Tetracloruro de Carbono, Dicloroetileno, Benceno, Clorobenceno, Diclorobenceno, Penta y Hexaclorobutadieno. Es de destacar la detección en el agua de poros de los fanos de apreciables cantidades de Tetra y Tricloroetileno. Otros volátiles, como los BTEX, no presentan valores significativos.

• Radionucleidos

La conclusión que se obtiene a la vista de los resultados es que la contaminación radiactiva está acotada al terraplén de residuos; por otro lado es bastante homogénea en toda el área afectada, detectándose los mismos isótopos en todas las muestras y en concentraciones bastante similares, ^{226}Ra , ^{230}Th , ^{234}U , ^{235}U y ^{238}U , con concentraciones un orden de magnitud superior al valor de referencia ambiental recomendado para nuestro país (10^2 Bq/kg). Respecto a la profundidad de la contaminación se reduce principalmente a los 4 primeros metros del terreno.

Los compuestos detectados pro-

ceden principalmente de la cadena del ^{238}U , no habiéndose detectado presencia apreciable de isótopos artificiales. La actividad del ^{238}U en la zona activa (primeros metros) es alta (superior a 1000 Bq/kg). Teniendo en cuenta la masa de lodos y la actividad media de los isótopos de la cadena del ^{238}U , el inventario de 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 no supone un riesgo radiológico inaceptable para el personal laboral local ni, con más razón, para el público.

SOLUCION ADOPTADA

Los estudios previos realizados establecieron que existían dos grandes grupos de soluciones posibles, según que los residuos se mantuvieran finalmente en el embalse (solu-



ciones in situ) o, por el contrario, fueran extraídos y ubicados en otro punto (soluciones ex situ). Tras los estudios realizados, se optó por la opción considerada, por diversas razones técnicas, como óptima, es decir, la “solución ex situ”.

Las obras contempladas en el proyecto constructivo aprobado se dividieron en tres fases: obras previas, auxiliares y de protección por una parte, obras de producción por otra, y obras de desmantelamiento en último término.

Son obras previas finalizaron en 2012 e incluyeron los siguientes elementos:

- **Aislamiento dentro del embalse** de la zona en la que se ubican los suelos contaminados a extraer, para sustraerla a corrientes y fluctuaciones fluviales y cerrar contra la margen derecha del embalse un recinto de trabajo que incluya toda la superficie sobre la que se encuentran dichos suelos.

Para ello, se ha construido un muro de doble línea de tablestacas de 1300m de longitud. Su objeto esencial es la creación de un recinto abrigado (con agua quieta) e independiente del agua fluyente del Ebro, de forma que durante la actuación (durante las obras en el embalse) pueda mantenerse el flujo del río a modo de canal por la margen izquierda del embalse y que, caso de producirse alguna incidencia en el proceso, esta se mantenga confinada y no envíe contaminación hacia agua abajo

- **Separación y protección de la línea litoral** de la margen derecha del embalse en todo el tramo del que van a extraerse los materiales contaminados. Tiene varios objetivos: sostenimiento y prevención de la subsistencia de la ladera derecha del embalse al perder la protección que



de algún modo viene asegurando el empuje sobre ella de los sedimentos y lodos que se van a extraer; aislamiento hídrico entre el embalse y la ladera, para impedir el paso de aguas potencialmente contaminadas, torrenciales o de avenida entre uno y otra. Para ello, se ha construido un muro de protección de la margen derecha de 1100m, que se materializa mediante pilotes secantes.

- **Intercepción y conducción** de aguas superficiales y subterráneas

vertientes por la margen derecha a las que el muro de protección anteriormente descrito impide el paso hacia el embalse. Se ha llevado a cabo mediante un colector interceptor de los diversos colectores de vertido de aguas superficiales tanto pluviales como fabriles (entendiendo por tales las que se utilizan en refrigeración, proceso y usos sanitarios en el recinto de la fábrica). Ambos tipos de aguas superficiales se conducen separadamente por medio de dos conductos aproximadamente paralelos a

la costa hacia el exterior del recinto delimitado por el muro de tablestacas. Por su parte, las aguas subterráneas se recogen mediante drenes que las conducen al pie de una estación depuradora ya existente, y desde allí se impulsan a ella para efectuar su depuración.

- **Edificios** para albergar las instalaciones y maquinaria de tratamiento del material sólido y del agua extraídos, así como almacenes de material antes y después del tratamiento y las propias instalaciones. Dichos edificios están hechos de elementos prefabricados y dotados de dispositivos de captación y depuración de gases en aquellas partes que así lo requieren. Se denomina genéricamente **planta de tratamiento** y se sitúa en una zona del recinto de la fábrica del sector de aguas arriba de la misma.

- **Habilitación y sellado de base de una zona de vertedero** que se ha construido como ampliación de



uno ya existente en la zona denominada Racó de la Pubilla. La habilitación implica la implantación de una red y depósito de lixiviados, un recubrimiento de impermeabilización y una serie de servicios auxiliares necesarios para su funcionamiento. Incluye un edificio de oficinas, vestuarios, talleres y visitas.

- Construcción de **siete pozos** para abastecimiento de agua a las poblaciones situadas aguas abajo. Su utilización está reservada única y exclusivamente en caso de una eventual situación de emergencia

FASE DE PRODUCCION

Todos estos elementos e instalaciones han quedado terminados y plenamente operativos lo que ha permitido iniciar, el pasado mes de marzo, las operaciones de descontaminación propiamente dichas. Esta fase, a su vez consta de varios elementos:

- **Extracción y dragado** del material contaminado. Requiere la adopción de especiales precauciones y la utilización de procedimientos distintos según se trate de terrenos emergidos o de pequeña profundidad, o bien de terrenos sumergidos en los que se puedan usar dragas de succión. El tipo de draga que se utiliza tiene como objetivo limitar de la turbidez que puede provocar la operación. Para ello, se utilizan cortinas antiturbidez, adaptando además los rendimientos en cada momento a la misma finalidad.

La extracción de la fracción sumergida se realiza mediante draga ecológica de succión trabajando en un segundo recinto formado con cortinas plásticas flotantes. Esto permite la minimización de la movilización de contaminantes y la creación de

una depresión en la zona de la draga, lo que hará difícil la tendencia del agua hacia fuera. Esto se complementa con la disposición de una pequeña bomba que puede operar en las paradas de la draga. Para evitar la movilización de contaminantes, el rendimiento ha de ser necesariamente bajo.

- **Transporte del material** extraído para su tratamiento. El material extraído se transporta por tubería, mezclado con una cantidad adecuada de agua que permita la operación, desde el punto de extracción hasta la planta de tratamiento.

- **Tratamiento.** Una vez extraído el material, éste debe ser objeto de tratamiento cuyo objetivo es lograr que los residuos adquieran unas condiciones tales que sean admitido para su confinamiento final en el vertedero previsto.

El proceso de descontaminación se lleva a cabo en la planta de tratamiento, y consiste en un cribado para separar los materiales finos (de tamaño inferior a 0,08 mm) mediante

cribas sucesivas e hidrociclones; almacenado separado de los gruesos; espesado y secado mediante filtros prensa de los finos; tratamiento de aguas extraídas mediante decantación, filtrado en arena y carbón activo, y tratamiento específico para los radionucleidos; selección de los finos que precisan tratamiento y proceso de tratamiento de los mismos, consistente en desorción térmica, oxidación y estabilización; almacenado posterior al tratamiento y carga en la cinta para su transporte a vertedero.

De esta forma, para la **Clasificación granulométrica** se usan cribas e hidrociclones, seguida de la **deshidratación** del material, mediante depósitos de decantación y filtros prensa.

La fracción sólida es clasificada se-





gún las concentraciones de contaminantes presentes, conduciendo directamente las fracciones más limpias a vertedero y tratando específicamente aquellas otras que no pueden ser llevadas al vertedero. Estos tratamientos, según el residuo, consisten en:

- **Desorción térmica** (vs. comp. orgánicos): El material es introducido en el horno de desorción a menos de 350°C.

Los gases resultantes del horno de desorción pasan a un horno de oxidación térmica, donde se calientan de nuevo, esta vez a 1.100°C durante 2 segundos. Tras esto, la temperatura se enfría hasta por debajo de 200°C.

El gas resultante del horno de oxidación térmica pasa por el filtro de mangas para recoger las partículas en suspensión.

- **Oxidación**: Si los contaminantes principales del lodo deshidratado son compuestos volátiles en concentra-

ciones moderadas, este se oxidará en el tanque de mezclado mediante la adición de reactivo y agua. Tras el mezclado el material pasa a los depósitos de reacción. Tras 2 horas, dan como resultado un compuesto inerte no soluble en agua y listo para trasladar al vertedero.

- **Estabilización**: (vs. metales pesados): Si los lodos resultantes tienen una alta concentración de mercurio y otros metales pesados, se procesan en la planta de estabilización.

Pasando por unas tolvas, el lodo se mezcla con agua, cemento y aditivos específicos, consiguiendo estabilizar el mercurio, evitando la presencia de este en el posible lixiviado del lodo.

Finalmente, el agua del proceso es enviada a la planta de tratamiento de aguas (EDAR), cuya producción es de alrededor de cien litros por segundo.

Los controles de contaminación al final de cada proceso, antes de apro-

bar la continuación en la cadena de descontaminación, son de crucial importancia. Asimismo se siguen unas estrictas normas de seguridad en la manipulación de los materiales, para evitar la afección tanto a las personas como al medio ambiente.

• **Transporte** mediante camiones desde la planta de tratamiento a vertedero. Después del tratamiento, el material es transportado por carretera mediante camiones al depósito controlado de clase II.

• **Distribución y depósito en vertedero**. Incluye todas las operaciones de recogida del material procedente de la planta, la asignación de su ubicación en el vertedero y su transporte interno hasta ella, el recubrimiento y la protección periódica de las capas sucesivas de depósito, así como las operaciones de limpieza, retirada de lixiviados y mantenimiento.

DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS Y COMPONENTES DE LA FASE DE DRAGADO

La fase decisiva del proyecto, consistente en el dragado, tratamiento y confinamiento de los residuos, requiere infraestructuras, equipamiento y una planificación especialmente complejos.





A continuación, se detallan algunos de los principales componentes de la obra.

1. Planta de clasificación

La planta de clasificación esta formada por los siguientes equipos:

- **Tolva de recepción:** Construida en chapa de 4 y 6 mm soldada y cerrada en la parte superior con tubería de venteo.

La función básica de la tolva de distribución es repartir el caudal que llega del dragado entre las tres líneas de clasificación posteriores.

- **Cribas:** 3 líneas de cribas que llevan montadas cada una tres pisos

de malla filtrante, cada uno con las perforaciones adecuadas para las separaciones requeridas, esto es: #25 mm, #5mm y #2mm.

Cada piso lleva instalado además un sistema de riegos con difusores "pico pato".

Una vez realizada la clasificación en cada piso de la criba, el material seleccionado en cada una, va hasta un carro desplazable dotado con las canaletas de salida para los materiales cribados.

Estas canaletas guían el material hasta las cintas de extracción o a los hidrociclones.

- **Hidrociclonado:** El objetivo que se pretende es la obtención de un sólido lavado y una fase líquida,

con la suciedad inferior a 80 micras para ser posteriormente decantada y filtrada.

El hidrociclonado consta de dos etapas.

En la 1ª etapa, la eficacia de la limpieza es del 80-90% sobre el material de entrada, por lo que es necesario una segunda etapa de lavado con el añadido de agua limpia.

- **Lavado de gruesos (>2mm):** El material procedente del desarenado provocado en los grupos compactos de lavado será enjuagado y escurridos en una última fase.

- **Tanques espesadores:** Los lodos generados en el proceso de desarenado serán enviados a tres tan-



de alta densidad (PEAD) con 2 geotextiles de Polipropileno (PP) termofijados a la geored. (Gramaje 1700 g/m² - Espesor a 2kPa/200kPa 7.8/7.0 mm. – Punzonamiento estático (CBR) > 5000N). Esta capa trabaja como drenaje de seguridad.

- Lámina de PEAD rugosa de 2 mm de espesor. Con un 97,5% de Polímero y un 2.5% de Negro de Carbono, antioxidantes y estabilizadores térmicos.

- Capa de geotextil antipunzonamiento (gramaje ≥ 600 gr/m² y resistencia al punzonamiento CBR ≥ 5000 N). Para evitar daños en la lámina al instalar el drenaje de lixiviados.

- Capa de grava silíceica de 0,5 m de espesor y permeabilidad mínima de 10E-2 m/s, como drenaje de lixiviados.

- Capa de geotextil filtro (gramaje ≥ 300 gr/m² y resistencia al punzonamiento CBR ≥ 3900 N). Para evitar la entrada de finos y la saturación de las gravas.

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

Capas de protección de la impermeabilización en taludes

Sobre los taludes laterales del depósito controlado se colocarán las siguientes capas de protección en orden ascendente:

- Capa de arcilla de 1,5 m de espesor mínimo y permeabilidad “k” menor o igual a 5*10E-10 m/s.

- Lámina de PEAD rugosa de 2 mm de espesor. Con un 97,5% de Polímero y un 2.5% de Negro de Carbono, antioxidantes y estabilizadores térmicos.

- Capa de geocompuesto drenante por geored triplanar de Polietileno de alta densidad (PEAD) con 2 geotextiles de Polipropileno (PP) termofijados a la geored. (Gramaje 1700 g/m² – Espesor a 2kPa/200kPa 7.8/7.0 mm. – Punzonamiento estático (CBR) > 5000N). Esta capa trabaja como drenaje de seguridad.

- Lámina de PEAD rugosa de 2 mm de espesor. Con un 97,5% de Polímero y un 2.5% de Negro de Carbono, antioxidantes y estabilizadores térmicos.

- Capa de geocompuesto drenante por geored triplanar de Polietileno de alta densidad (PEAD) con 2 geotextiles de Polipropileno (PP) termofijados a la geored. (Gramaje 1700 g/m² - Espesor a 2kPa/200kPa 7.8/7.0 mm. - Punzonamiento estático (CBR) > 5000N). Esta capa trabaja como drenaje principal de lixiviados.

