

CONTESTACIÓN REQUERIMIENTO AAI-5.027
EXP.: 26-IPPC-00057.2/2024

REQUISITOS DE DISEÑO DE LA NUEVA CELDA Nº 3 DE
VERTIDO ESTABLECIDOS EN EL REAL DECRETO
646/2020 DE 7 DE JULIO

Índice

1. ANTECEDENTES.....	5
1.1 REQUERIMIENTO MARZO 2025	5
1.2 REQUERIMIENTO JULIO 2025.....	6
1.3 REQUERIMIENTO AGOSTO 2025	7
2. DESCRIPCIÓN DE LA CELDA Nº 3	9
3. DISEÑO DE CELDA E IMPERMEABILIZACIÓN DE VASO DE VERTIDO	12
3.1 PREPARACIÓN DEL TERRENO NATURAL.....	13
3.2 IMPERMEABILIZACIÓN DEL FONDO DEL VASO	13
3.3 IMPERMEABILIZACIÓN DE LOS TALUDES	14
3.4 CONCLUSIÓN	15
4. SELLADO SUPERFICIAL DE LA CELDA	16
4.1 SELLADO DE LA CELDA.....	16
4.2 CAPA DE REGULARIZACIÓN	17
4.3 CAPA DE RECOGIDA DE GASES	17
4.4 CAPA DE FILTRACIÓN Y DRENAJE DE AGUAS INFILTRADAS	18
4.5 CAPA DE COBERTURA.....	19
4.6 CONCLUSIÓN	20

Apéndice nº 1: Plano. Sección tipo impermeabilización y sellado de celda

1. ANTECEDENTES

1.1 REQUERIMIENTO MARZO 2025

En relación a la documentación presentada en la Consejería de Medio Ambiente, Agricultura e Interior, con fecha 11 de julio de 2024 y Registro de Entrada nº 10/619024.9/24, referente a "Proyecto de ejecución de una nueva celda nº 3" en las instalaciones de "Planta de secado térmico y compostaje y vertedero de lodos de EDAR", remitida por CANAL DE ISABEL II, en el término municipal de Loeches, según resolución de la Dirección General de Evaluación Ambiental, de fecha 19 de febrero de 2013, modificada mediante Resolución de fecha 23 de octubre de 2015, se manifiesta que una vez realizada la revisión técnica de la documentación presentada, la **modificación planteada es "sustancial"**

En base al requerimiento se deberá dar respuesta en relación con el diseño de la nueva celda de vertido según lo siguiente:

"Detalle del cumplimiento de los requisitos de diseño de la nueva celda de vertido establecidos en el Real Decreto 646/2020, de 7 de julio, y, en su caso de los criterios incluidos en la tabla adjunta basados en las "Recomendaciones para el establecimiento de criterios de ubicación, diseño y programas de vigilancia en vertederos V.1.1. Junio 2023" del Ministerio para la Transición Energética y el Reto Demográfico, mediante la aportación de los datos indicados en la siguiente tabla

	Real Decreto 646/2020 y Recomendación ⁽¹⁾
Diseño de celda (VERTEDERO RESIDUO NO PELIGROSO)	
BARRERA GEOLÓGICA NATURAL	Terreno de permeabilidad y espesor equivalente a $k \leq 1,0 \times 10^{-9}$ m/s y espesor 1 m (Fondo y taludes)
BARRERA GEOLÓGICA ARTIFICIAL	Espesor $\leq 0,5$ m (Fondo y flancos) $K \leq 1,0 \times 10^{-9}$ m/s y espesor ≥ 1 m (Fondo y taludes) Ó Cuando proceda, en flancos Combinación de materiales geosintéticos con un grado de impermeabilidad equivalente
REVESTIMIENTO ARTIFICIAL IMPERMEABLE	Sí
CAPA DRENAJE (recogida de lixiviados) en la base	Espesor 0,5 m (base)
Capa de drenaje en los flancos	Recomendaciones: cuando así se requiera la capa de drenaje podrá ser sustituida por georedes con capacidad de drenaje equivalente

(1) "Recomendaciones para el establecimiento de criterios de ubicación, diseño y programas de vigilancia en vertederos V.1.1. Junio 2023" del Ministerio para la Transición Energética y el Reto Demográfico (En adelante: Recomendaciones)

	Real Decreto 646/2020 y Recomendación ⁽¹⁾
Sellado superficial (Basado en el documento Recomendaciones)	
CAPA REGULACIÓN⁽¹⁾	Recomendaciones: materiales de elevada resistencia mecánica >0,5 m
CAPA DRENAJE (recogida de gases)	Recomendaciones: material granular K > 10-3 m/s y espesor > 0,3 m Alternativamente se puede sustituir por un geodren
REVESTIMIENTO ARTIFICIAL IMPERMEABLE	Recomendaciones: Lámina de impermeabilización flanqueada por geotextiles de protección
CAPA MINERAL IMPERMEABLE	---
CAPA DRENAJE	Parte superior: Espesor > 0,5 m; similares características a las del fondo de vaso Flancos: (Recomendaciones: cuando proceda combinación de materiales geosintéticos con un grado de impermeabilidad equivalente)
COBERTURA SUPERIOR	Espesor > 1 m

(1) "Recomendaciones para el establecimiento de criterios de ubicación, diseño y programas de vigilancia en vertederos V.1.1. Junio 2023" del Ministerio para la Transición Energética y el Reto Demográfico (En adelante: Recomendaciones)

1.2 REQUERIMIENTO JULIO 2025

En relación a la documentación presentada en la Consejería de Medio Ambiente, Agricultura e Interior, con fecha 4 de abril de 2025 y Registro de entrada nº 10/314881.9/25 y con fecha 20 de junio de 2025 y referencia nº 10/525044.9/25 de las instalaciones de "Planta de secado térmico y compostaje y vertedero de lodos de EDAR", remitida por CANAL DE ISABEL 11, en el término municipal de Loeches, relativa a la solicitud de modificación sustancial de la autorización ambiental integrada (AAI) que se viene tramitando referente al proyecto de nueva celda Nº 3 (expediente **26-IPPC -00057.2/2024**), una vez revisada, se comunica lo siguiente:

Proyecto básico de celda Nº 3.

Impermeabilización del fondo del vaso

Respecto al apartado 3.2 del documento: Anexo 111 Requisitos de diseño de la nueva celda Nº 3 de vertido establecidos en el Real Decreto 646/2020, de fecha 7 de julio, relatio del fondo del vaso, (página 12 de 21) y al apartado E) 2.3 del Proyecto Básico, (página 26 de 128), se indica:

"1. Construcción de barrera geológica natural, de 50 cm de espesor, de arcillas en toda la superficie, extendidas, humectadas y compactadas en dos tongadas, de coeficiente de permeabilidad $K \leq 5 \times 10^{-10}$ m/s, con la que se da cumplimiento a lo dispuesto en el Art. 3.3 del Anexo 1 del Real Decreto 1481/2001.

Esta capa se colocará sobre una base de regularización del terreno a base de grava con un espesor de 50 cm. La grava debe estar libre de finos (arcilla, limo, arena fina) y materia orgánica, ya que estos pueden reducir la permeabilidad y comprometer la estabilidad."

Respecto a la base de regularización del terreno que se propone formada por una capa de gravas, indicar que no es técnicamente funcional para este tipo de infraestructura y no se requiere por el

Real Decreto 646/2020. Por tanto, debe eliminarse esta capa de grava y plantear sencillamente la regularización de la superficie de apoyo del futuro vaso.

Funcionamiento del vaso

Respecto al apartado E.3 del proyecto básico, en la página 33 se incluye un esquema del sistema de sellado se han detectado algunos aspectos del diseño que deben ser subsanados.

- *Respecto a la capa de regularización, en el proyecto básico propone una capa de grava o material de árido reciclado. Con respecto al uso de grava, éste no se ha justificado y este material no se suele utilizar en las capas de regularización del sellado de vertederos.*
- *Respecto a la capa de drenaje de gases, se hace referencia a la posibilidad de instalar un geodré n con sendos geotextiles colocados en la parte superior e inferior de éste. A este respecto, la práctica habitual es utilizar una geored para el drenaje de gases que lleva incorporado en el material los geotextiles superior e inferior.*
- *Respecto a la capa de drenaje y filtración, se indica que estará formada por una lámina de polietileno de alta densidad. No obstante, para esta capa suele utilizarse un geodré n.*

1.3 REQUERIMIENTO AGOSTO 2025

En relación a la documentación presentada en la Consejería de Medio Ambiente, Agricultura e Interior, con fecha 1 de Agosto de 2025 y Registro de entrada nº 10/651539.9/25 de las instalaciones de "Planta de secado térmico y compostaje y vertedero de lodos de EDAR", remitida por CANAL DE ISABEL II, en el término municipal de Loeches, relativa a la solicitud de modificación sustancial de la autorización ambiental integrada (AAI) que se viene tramitando referente al proyecto de nueva celda Nº 3 (expediente **26-IPPC -00057.2/2024**), una vez revisada, se comunica lo siguiente:

Proyecto básico de celda Nº 3.

Fondo del vaso

Respecto al revestimiento artificial impermeable, Canal de Isabel II plantea utilizar 2 láminas de PEAD (una superior y otra inferior) entre las cuales se situaría una capa de drenaje de gravas sobre la que se instalaría un sistema de recogida de lixiviados. Así descrito se entiende que dicha capa de drenaje se correspondería con un drenaje de seguridad que actuaría solo en el caso de que sufriera algún tipo de desperfecto la lámina de PEAD superior. En el proyecto se especifica:

A continuación se realiza la justificación del diseño de la celda en cuanto a los materiales propuestos para la impermeabilización del vaso según las citadas Recomendaciones, así como el sellado y cobertura de la misma.

- *"Montaje de primera lámina de polietileno de alta densidad (PEAD), de 2 mm de espesor, lisa. Los rollos se soldarán entre sí por termofusión con doble cordón de soldadura y canal de prueba, creando una superficie completamente lisa, con ausencia total de poros. La soldadura se realizará por extrusión sólo en puntos singulares y piezas especiales. Dicha lámina se protegerá frente al punzonamiento superiormente mediante un geotextil de polipropileno de 500 gr/m2, de fibra continua.*
- *Sobre el conjunto geotextil-lámina PEAD-geotextil anterior, irá situada la red de drenaje de lixiviados, compuesta por un relleno de 50 cm de espesor de material granular filtrante*

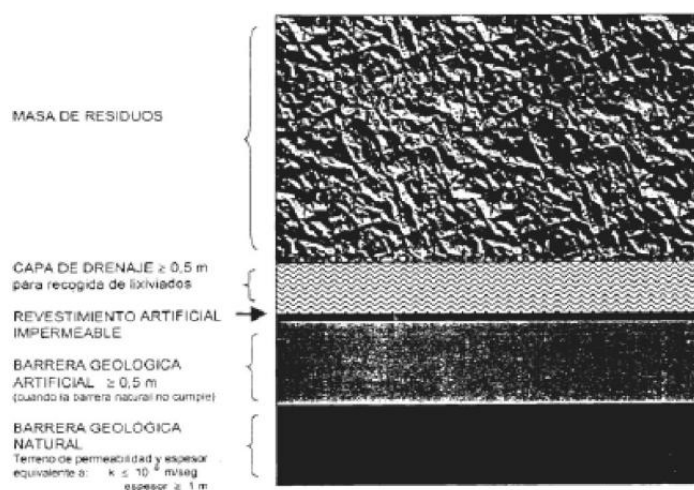
(permeabilidad mínima de 2×10^{-4} mis) y un tubo-dren ranurado Ø 160 mm de PEAD, en el fondo.

- Montaje de segunda lámina de polietileno de alta densidad (PEAD), de 2 mm de espesor, lisa. Los rollos se soldarán entre sí por termofusión con doble cordón de soldadura y canal de prueba, creando una superficie completamente lisa, con ausencia total de poros. La soldadura se realizará por extrusión sólo en puntos singulares y piezas especiales. La lámina se protegerá frente al punzonamiento: tanto inferior como superiormente, mediante un geotextil de polipropileno de 500 gr/m², ambos de fibra continua.
- Finalmente, se extenderá una capa de 50 cm de espesor de suelo adecuado (según PG-3) sobre la capa de material filtrante anterior, con la colocación previa de un geotextil de polipropileno de 120 gr/m². Esta última capa granular protegerá a /os elementos de impermeabilización y drenaje subyacentes de posibles roturas y punzonamientos debidas al tránsito de la maquinaria y de las acciones de la intemperie. Además, actuará como lastrado de todo el conjunto subyacente."

Sin embargo, durante el funcionamiento normal del vaso de vertido, la lámina de PEAD superior (segunda lámina), de acuerdo con su función, no permitiría el paso de los lixiviados y es necesario instalar por encima de esta capa de drenaje de lixiviados que recogería los lixiviados que normalmente se generen en la masa de residuos, tal y como se establece en el apartado 3 del Anexo 1 (ver figura 2) del Real Decreto 646/2020, de 7 de julio, por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero. Es por ello que se solicita se revise este apartado, para, en su caso, introducir en este sistema una capa de drenaje de lixiviados de las características previstas en el Real Decreto 646/2020 (situada entre la masa de residuos y la lámina superior de PEAD).

Figura 2.- VERTEDERO DE RESIDUOS NO PELIGROSOS

FIGURA 2.- VERTEDERO DE RESIDUOS NO PELIGROSOS

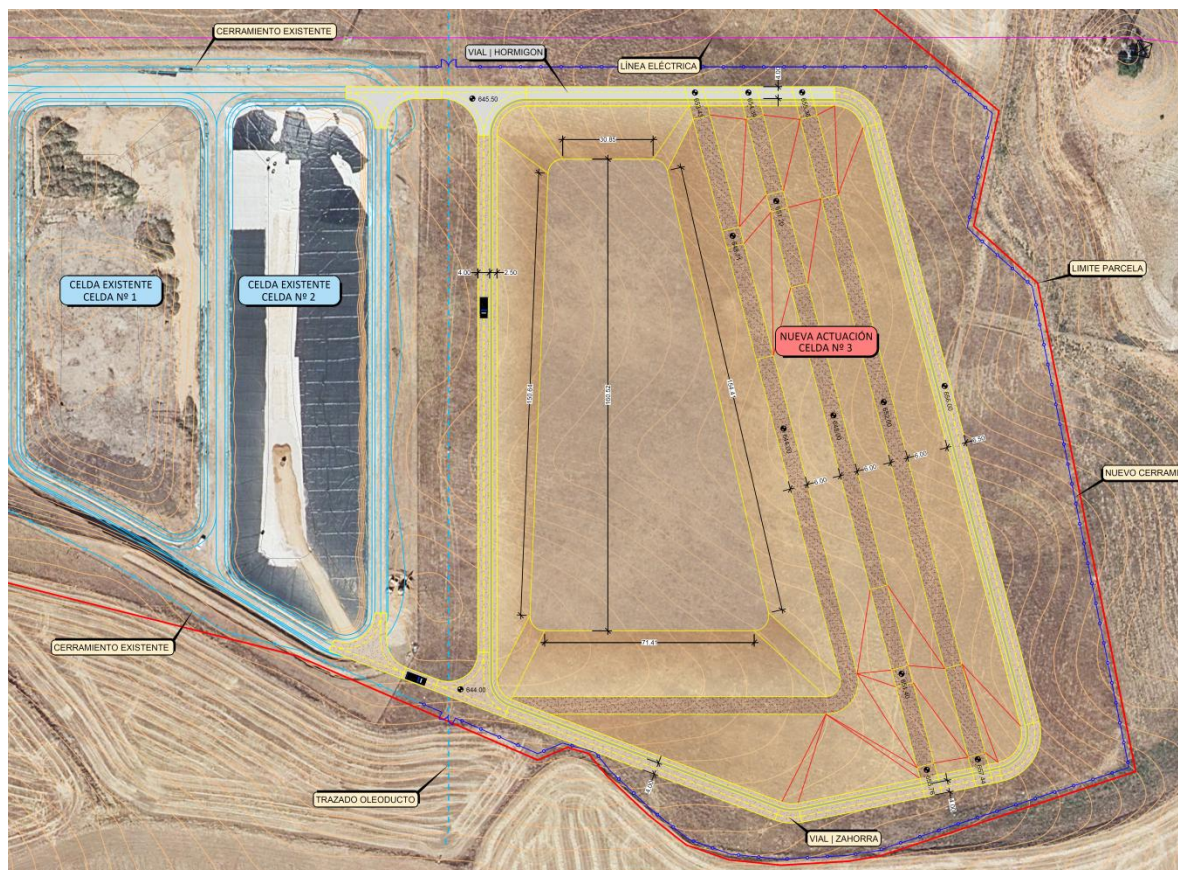


En esta capa debería instalarse la red de tuberías en forma de espina de pez descrito en el apartado E 1.3) para recoger los lixiviados generados. Por otra parte, deben adaptarse a lo solicitado la tabla 7 y la imagen 17 y cualquier otra parte de la documentación que lo requiera.

A continuación se realiza la justificación del diseño de la celda en cuanto a los materiales propuestos para la impermeabilización del vaso según las citadas Recomendaciones, así como el sellado y cobertura de la misma.

2. DESCRIPCIÓN DE LA CELDA Nº 3

La superficie de terreno destinado al emplazamiento de la tercera celda, es la zona comprendida entre la linde de la parcela al norte y este, las franjas de terreno definida por las servidumbres de los servicios afectados indicados, quedando la línea eléctrica al Oeste y el oleoducto y las celdas 1 y 2 al SUR.

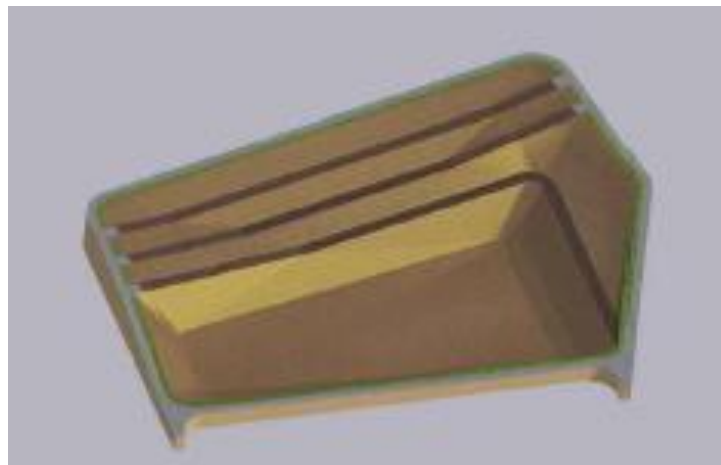


Ubicación de la tercera celda

Se proyecta una tercera celda con una superficie en planta de 34.038 m^2 , diseñada mediante bancadas con una altura que oscila desde los 4 a los 7 metros, y taludes que varían de 2H:1V a 3,6H:1V. El ancho de la plataforma de cada bancada es de 6 m.

La celda está formada por 3 bermas y definida por un vial perimetral de servicio a lo largo de su contorno. Cada una de las bermas conecta con este vial para tener acceso a la cota de urbanización en cada una de las fases de explotación.

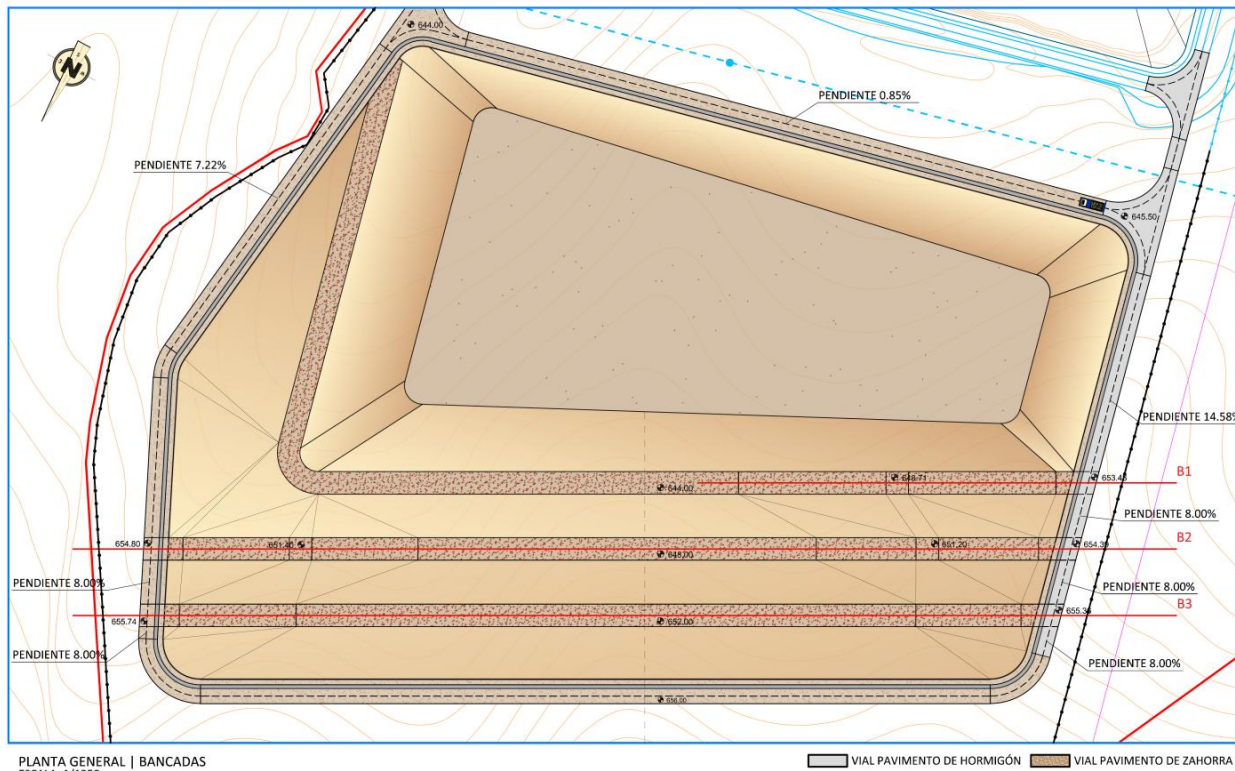
El acceso a la base de la celda se realizará desde el talud que queda al Sur-Oeste de ésta.

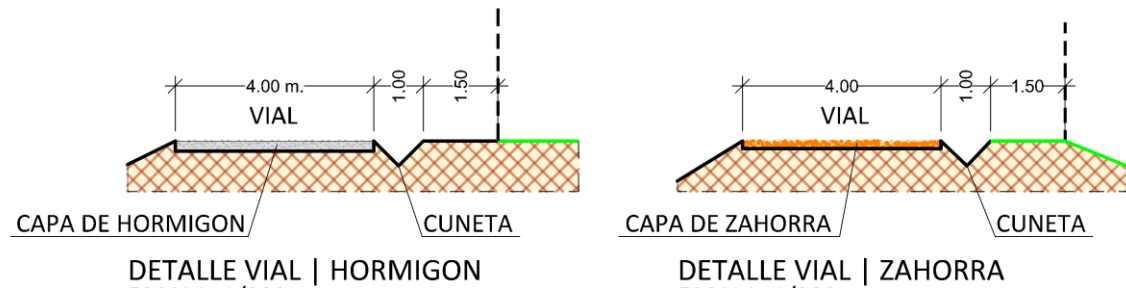


Tercera celda

El camino de servicio estará dotado de las correspondientes cunetas para recepción de las escorrentías pluviales procedentes de la celda de vertido una vez que esta quede sellada.

Los viales perimetrales de la celda serán de zahorra, excepto el vial que conecta con el de acceso de las celdas existentes (ramal sur-oeste) que tiene una pendiente más elevada (14,58%) y que se proyecta de pavimento de hormigón para facilitar los trabajos de explotación de la maquinaria.





Secciones tipo de camino de servicio con zahorra y pavimento de hormigón

La base de la celda se encuentra a una cota media de 639 m, mientras que la coronación máxima de la celda está a la 656 m.

El volumen de la tercera celda será de aproximadamente 160.934 m³.

3. DISEÑO DE CELDA E IMPERMEABILIZACIÓN DE VASO DE VERTIDO

Para el diseño e impermeabilización del vaso de vertido de la nueva celda nº 3, se tendrá en cuenta la siguiente normativa:

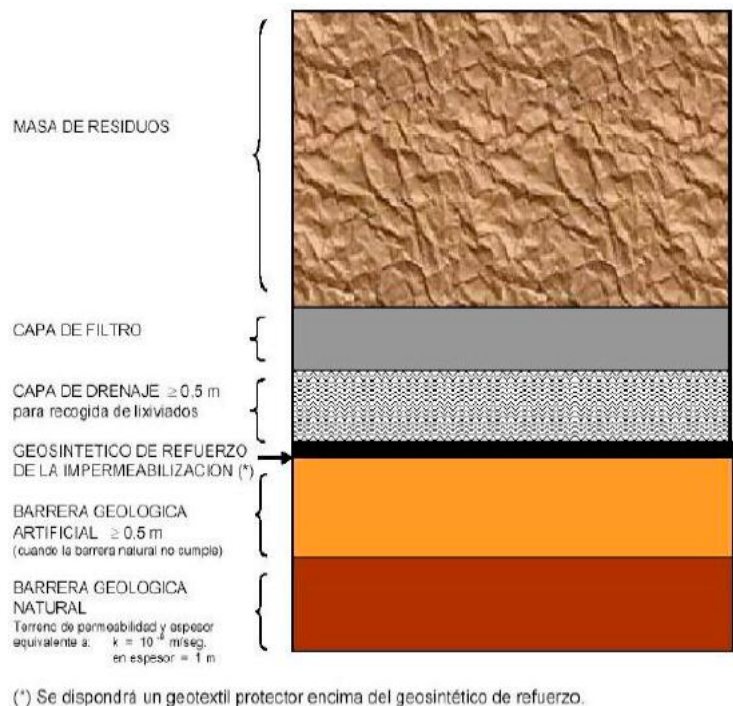
- “Recomendaciones para el establecimiento de criterios de ubicación, diseño y programas de vigilancia en vertederos V.1.1. Junio 2023” del Ministerio para la Transición Energética y el Reto Demográfico (En adelante: Recomendaciones)
- Real Decreto 646/2020 de 7 de julio.

Según el “Anexo I del RD 646/2020” todo vertedero de residuos deberá estar diseñado de forma que cumpla las condiciones necesarias para impedir la contaminación del suelo, de las aguas subterráneas o de las aguas superficiales y garantizar la recogida eficaz de los lixiviados.

En base a esta normativa el diseño de la celda estará formada por:

- Barrera geológica natural
- Barrera geológica artificial
- Revestimiento artificial impermeable
- Capa de drenaje para recogida de lixiviados
- Capa de filtro sobre la que se vierte la masa de residuo

La protección del suelo, de las aguas subterráneas y de las aguas superficiales durante la fase de explotación y durante la fase de postclausura del vertedero se conseguirá mediante la combinación de una barrera geológica y de un revestimiento artificial estanco bajo la masa de residuos descritos anteriormente.



Las medidas y actuaciones a realizar para el diseño de la celda e impermeabilización del vaso de vertido serán las siguientes:

- Preparación del terreno natural
- Impermeabilización del fondo del vaso
- Impermeabilización de los taludes

3.1 PREPARACIÓN DEL TERRENO NATURAL

La preparación del sustrato geológico de la celda N° 3 se ejecutará mediante la aplicación de protocolos de compactación intensiva, tanto en el fondo como en los taludes, con el objetivo de alcanzar un grado de compactación mínimo del 95% del Proctor Normalizado (UNE 103500). Este procedimiento garantizará la homogeneidad y continuidad del material de soporte, crucial para la integridad estructural de la celda. La celda será configurada íntegramente mediante excavación controlada.

Se propone una **regularización detallada y compacta de la superficie de apoyo del futuro vaso**. Esta regularización se llevará a cabo directamente sobre el terreno natural existente, mediante técnicas de desmante y terraplén que permitan obtener una superficie con la pendiente y las características geométricas definidas en el proyecto, garantizando una uniformidad y estabilidad adecuadas para la posterior colocación de la barrera geológica.

La configuración geométrica de los taludes se realizará con una pendiente mínima de 3H:1V y una máxima de 3.6H:1V. En taludes con alturas superiores a 4-8 metros, se construirán terrazas y bermas de 6 metros de ancho, con una pendiente transversal del 2%. Esta configuración facilitará la evacuación de aguas pluviales y la gestión del lixiviado durante la fase operativa de la celda.

3.2 IMPERMEABILIZACIÓN DEL FONDO DEL VASO

La impermeabilización del fondo del vaso, una vez refinado y compactado el terreno de apoyo, se realizará de la siguiente forma (detallada de abajo a arriba):

1. Construcción de **barrera geológica natural**, de 50 cm de espesor, de arcillas en toda la superficie, extendidas, humectadas y compactadas en dos tongadas, de coeficiente de permeabilidad $K \leq 5 \times 10^{-10}$ m/s, con la que se da cumplimiento a lo dispuesto en el RD 646/2020.
Esta capa se colocará sobre el terreno natural del fondo del vaso una vez realizada una regularización de la superficie del mismo.
2. Construcción de **barrera geológica artificial adicional** mediante lámina de bentonita sódica (geotextil–bentonita–geotextil), con coeficiente de permeabilidad $K \leq 8,5 \times 10^{-12}$ m/s; la dotación de bentonita sódica natural será de 5 kg/m². Dicho geocompuesto bentonítico se protegerá frente al punzonamiento inferiormente mediante el montaje de un geotextil de polipropileno de 300 gr/m², de fibra continua.
3. Montaje de **primera lámina de polietileno de alta densidad (PEAD), de 2 mm** de espesor, lisa. Los rollos se soldarán entre sí por termofusión con doble cordón de soldadura y canal de prueba, creando una superficie completamente lisa, con ausencia total de poros. La soldadura se realizará por extrusión sólo en puntos singulares y piezas especiales. Dicha lámina se protegerá frente al punzonamiento superiormente mediante un geotextil de polipropileno de 500 gr/m², de fibra continua.
4. Sobre el conjunto geotextil–lámina PEAD–geotextil anterior, irá situada **la red de drenaje de lixiviados**, compuesta por un relleno de 50 cm de espesor de material granular filtrante (conductividad hidráulica 10^{-3} m/s, según “Recomendaciones” del Ministerio para la Transición Energética y el Reto Demográfico), una red de tuberías en forma de espina de pez, formada por tubos-dren ranurado Ø 160 mm de PEAD, en el fondo.

5. Montaje de una **capa anticolmatante** para evitar el acceso de finos a la capa drenante de gravas, mediante un geotextil de fibra cortada de 300 gr/m² de fibra continua.
6. Finalmente, se extenderá una capa de 50 cm de espesor de **suelo adecuado** (según PG-3) sobre la capa de material filtrante anterior, con la colocación previa de un geotextil de polipropileno de 120 gr/m². Esta última capa granular protegerá a los elementos de impermeabilización y drenaje subyacentes de posibles roturas y punzonamientos debidas al tránsito de la maquinaria y de las acciones de la intemperie. Además, actuará como lastrado de todo el conjunto subyacente.

3.3 IMPERMEABILIZACIÓN DE LOS TALUDES

La impermeabilización de los taludes se realizará de la siguiente manera:

1. Construcción de barrera geológica artificial mediante lámina de bentonita sódica (geotextil–bentonita–geotextil), con coeficiente de permeabilidad $K \leq 8,5 \times 10^{-12}$ m/s; la dotación de bentonita sódica natural será de 5 Kg/m².
2. Montaje de lámina de polietileno de alta densidad, de 2 mm de espesor, rugosa por ambas caras. Los rollos se soldarán entre sí por termofusión con doble cordón de soldadura y canal de prueba, creando una superficie completamente lisa, con ausencia total de poros. Sólo se realizará por extrusión en puntos singulares y piezas especiales.
3. Sobre la capa anterior se colocará a su vez por dos geotextiles de fibra continua de polipropileno de 300 y 500 gr/m².

Previamente a la colocación de todas las capas de impermeabilización se habrán limpiado y refinado las superficies sobre las que éstas habrán de apoyarse.

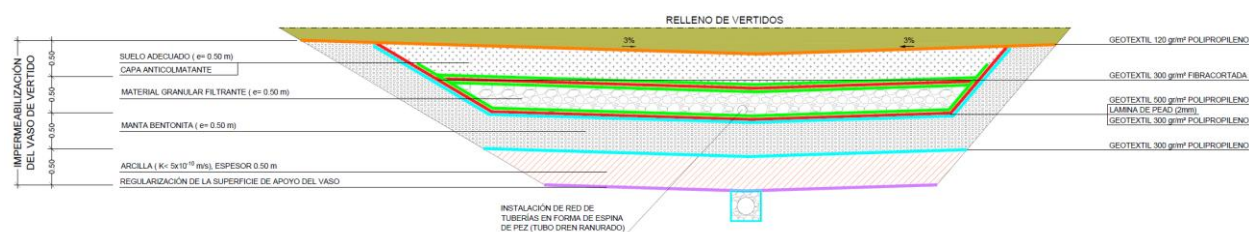
El anclaje de coronación del talud de las distintas capas de impermeabilización se llevará a cabo mediante la construcción de una zanja de dimensiones $a = 50 \text{ cm} \times h = 125 \text{ cm}$ que discurrirá paralela al camino perimetral proyectado, retranqueada 1 m del borde del talud, y que albergará la manta bentonítica, la lámina de PEAD y los geotextiles para evitar su posible deslizamiento. Además, en los taludes de la excavación se han proyectado bermas horizontales para anclaje intermedio, mediante lastrado del conjunto de geocompuestos mediante caballones de tierra.

3.4 CONCLUSIÓN

La secuencia de relleno del fondo del vaso de la celda de vertido comprenderá fundamentalmente los siguientes elementos en sentido ascendente, de terreno natural hacia el relleno:

CAPA	CARACTERÍSTICAS
Barrera geológica natural (Capa de regulación)	Regularización de la superficie de apoyo del futuro vaso Arcillas de 0,5 m
Barrera geológica artificial adicional	Geotextil de polipropileno de 300 gr/m ² , de fibra continua
	Lámina de bentonita sódica (dotación 5 Kg/m ²)
	Geotextil de polipropileno de 500 gr/m ² , de fibra continua
Revestimiento artificial impermeable	Lámina de polietileno de alta densidad (PEAD) de 2 mm de espesor
Capa drenaje (recogida de lixiviados)	Geotextil de polipropileno de 500 gr/m ² , de fibra continua Material granular filtrante,
Capa anticolmatante	Geotextil de 300 gr/m ² , de fibra cortada
Capa de suelo adecuado	Capa final de suelo adecuado

En la figura que se incluye a continuación se refleja el esquema del paquete de impermeabilización descrito para el fondo del vaso y para los taludes del mismo



Sección tipo de impermeabilización del vaso de vertido

4. SELLADO SUPERFICIAL DE LA CELDA

EL relleno de la celda se realizará mediante la extensión del residuo por tongadas mediante el empleo de maquinaria adecuada, disponiendo de una rampa de acceso, de tal manera que durante las maniobras de transporte los vehículos no circulen directamente sobre la capa de impermeabilización, sino que lo hagan sobre una capa de material clasificado como adecuado, evitando que se malogre la impermeabilización de la celda.

La altura media de vertido de las celdas será de 4,00 m, la cota final del vertedero y su disposición se presentará en el Proyecto de Ejecución siendo la prioridad asegurar la correcta evacuación de las escorrentías pluviales que se generen en el interior de la celda de vertido. A fin de facilitar la escorrentía la formación adecuada sería dejar constituido el vertedero con evacuación a dos aguas mediante la formación de una limatesa formada por el mismo relleno de fangos, con lo que se aumenta la capacidad del vertedero sin aumento de coste.

A fin de disminuir la cantidad de lixiviados durante la explotación y su carga contaminante es necesario disponer entre tongadas de una capa de material adecuado de al menos 0,20 m que sirva de separación entre tongadas y proporcione una superficie suficiente para el movimiento de los vehículos de transporte.

4.1 SELLADO DE LA CELDA

El Real Decreto 646/2020, de 7 de julio, señala la posibilidad de que aquellos vertederos en los que se prevea la generación de cantidades significativas de lixiviados, y una vez haya concluido su vida útil, sean objeto de operaciones de sellado.

Regularización de la capa superior de vertidos

El proceso se inicia con la preparación del lecho, una fase crítica donde la topografía irregular del vertedero es transformada en una superficie homogénea y compactada. Esta capa de regularización se lleva acabo directamente sobre la capa de relleno de la celda mediante compactación del material existente hasta conseguir una capa de regularización homogénea que permita el comienzo de las tareas de sellado del vertedero.

Capa de recogida de gases

Sobre esta base regularizada, se despliega el sistema de gestión de biogás, una red de captación que intercepta los gases generados por la descomposición anaeróbica de la materia orgánica. Este sistema, compuesto por una geored, (geonet), fabricada específicamente para el drenaje de gases, que incorpore de fábrica los geotextiles no tejidos termosoldados en ambas caras (superior e inferior). Esta geored compuesta asegurará la función de drenaje de gases de forma eficiente, evitando la colmatación y garantizando la durabilidad del sistema. Las características de la geored, se definirá en función del tipo de gas esperado. En este tipo de vertedero se suele utilizar una geored de 6 mm de espesor y 500 kPa de resistencia.

El uso de una geored con geotextiles incorporados es la solución técnicamente superior y la práctica habitual en el diseño de sistemas de drenaje de gases en vertederos. Esta configuración integrada

minimiza los riesgos de desalineación entre las capas, simplifica la instalación y asegura un rendimiento óptimo al prevenir la intrusión de partículas finas que podrían obstruir el flujo de gases.

Capa de drenaje

El sistema de drenaje de lixiviados, ubicado sobre la geored, captura y conduce cualquier líquido percolado hacia un sistema de recogida y tratamiento.

Este sistema de drenaje, estará formado por un geodrén drenante específico para lixiviados, con geotextiles no tejidos termosoldados en ambas caras (superior e inferior). Este geodrén garantizará la recogida y evacuación eficiente de los lixiviados hacia el sistema de drenaje principal.

Capa de cobertura

Finalmente, la capa de cobertura, compuesta por tierra vegetal y materiales orgánicos, proporciona un soporte para la revegetación y la restauración paisajística del vertedero. Esta capa, diseñada para resistir la erosión y el asentamiento, se revegeta con especies autóctonas, creando un ecosistema sostenible que se integra con el entorno circundante.

El diseño del sellado ha de plantearse, además, tomando en consideración que las funciones descritas anteriormente han de ser mantenidas por periodos de tiempo muy prolongados, debiendo ser particularmente resistentes a fenómenos de asentamiento, erosión o ciclos de sequía-tumefacción.

La estructura básica del sellado superficial consta, en sentido ascendente, de:

- Capa de regularización.
- Capa de recogida de gases.
- Capa de drenaje y filtración
- Capa de cobertura.

Se describe a continuación cada una de las capas a implantar en las operaciones de sellado.

4.2 CAPA DE REGULARIZACIÓN

La capa de regularización deberá estar constituida por una base firme de la zona donde se termina el relleno de vertidos y se comienza el sellado de la celda.

4.3 CAPA DE RECOGIDA DE GASES

Es una capa cuya función es difundir el gas hacia los puntos de recogida para su captación y posterior tratamiento con antorcha u otros métodos.

Estará construida con materiales de una permeabilidad mínima de $K > 10^{-3}$ m/s. Para ello se propone la colocación de una geored, (geonet), de las mismas características de permeabilidad, incorporando de fábrica los geotextiles no tejidos termosoldados en ambas caras, (superior e inferior). Es importante

que este material alcance una capacidad drenante suficiente para difundir el gas y que el porcentaje de CaCO_3 sea bajo.

4.4 CAPA DE FILTRACIÓN Y DRENAJE DE AGUAS INFILTRADAS

La función de esta capa es derivar hacia el sistema de drenaje el agua de lluvia que la capa de revegetación no ha sido capaz de retener o almacenar. Esta función es importante para garantizar la estabilidad del sistema de sellado, puesto que el encharcamiento en la capa de revegetación podría ocasionar deslizamientos del suelo de revegetación en las zonas de pendiente y limitar el desarrollo de la vegetación.

Como quiera que los lixiviados puedan tener cantidades apreciables de sólidos en suspensión y a fin de evitar que la capacidad de drenaje se vea comprometida por encima de esta última se dispondrá una capa filtrante de arena. El tamaño de grano de las arenas a utilizar en esta capa será el resultado de compatibilizar un potencial de drenaje y una capacidad de retención adecuada. La solución de compromiso es que en la curva granulométrica de estas arenas se deben satisfacer las siguientes condiciones:

- $d_{85 \text{ arenas}} > 5 \cdot d_{15 \text{ gravas}}$
- $d_{15 \text{ arenas}} < 5 \cdot d_{85 \text{ finos de lixiviado}}$

Donde $d_{85 \text{ arenas}}$ es el tamaño de malla que retiene el 85% de la arena, $d_{15 \text{ arenas}}$ el tamaño de malla que retiene el 15% de la arena, $d_{15 \text{ gravas}}$ es el tamaño de malla que retiene el 15% de las gravas de la capa de drenaje y $d_{85 \text{ finos de lixiviado}}$ es el tamaño de malla equivalente que retiene el 85% de los finos de lixiviado. La capa de arena deberá tener un espesor mínimo de 0,3 m.

La capa de arena de filtración puede ser sustituida por una lámina geotextil que satisfaga las siguientes condiciones:

- Deberá ser químicamente resistente a los lixiviados.
- Deberá ser suficientemente resistente para reforzar el tamaño de hueco de las gravas sobre las que descansa.
- Deberá retener el 95% de las partículas del lixiviado.
- Deberá tener una relación permeabilidad/espesor ajustada a la norma ASTM D 4.491.

Las tuberías de drenaje y evacuación deberán de contar con las siguientes características:

- Las tuberías de drenaje serán ranuradas y las de evacuación ciegas
- Tendrán un diámetro mínimo de 150 mm.
- Su pendiente mínima será del 2%.
- Estarán construidas con un material que garantice su funcionalidad frente a acciones físicas, químicas y biológicas durante la totalidad del ciclo de vida del vertedero (incluyendo la fase postclausura).
- La densidad de disposición de tuberías de drenaje será tal que la distancia entre éstas no exceda 20 m.

- Contarán con registros espaciados y accesibles por ambos extremos para su limpieza e inspección.

La recogida de las aguas de drenaje se realizará mediante un geodren drenante, específico para lixiviados, con geotextiles no tejidos termosoldados en ambas caras, (superior e inferior). Este geodren garantizará la recogida y evacuación eficiente de los lixiviados hacia el sistema de drenaje principal.

4.5 CAPA DE COBERTURA

Coronando la estructura se dispondrá una capa de cobertura de un espesor mínimo de 1 m y está constituida por suelo rico en materia orgánica con una capacidad mínima de retención de agua disponible para las plantas de 140 mm. La vegetación considerada en el diseño deberá alcanzar suficiente tasas de evapotranspiración.

La capa de revegetación, tiene funciones de minimizar la infiltración del agua de lluvia y proteger las capas inferiores de fenómenos como: altas y bajas temperaturas, erosión, penetración de raíces, actuaciones de animales, etc. Asimismo, permite la restauración del paisaje y del ecosistema en el emplazamiento.

Las funciones a desarrollar por esta capa incluyen, entre otras:

- Servir de medio para el crecimiento de una cubierta vegetal en condiciones adecuadas.
- Minimizar los efectos erosivos de la escorrentía superficial.
- Evapotranspirar.
- Oxidar gases de vertedero, particularmente los gases difusos.
- Mitigar el impacto visual de los vertederos.

El diseño de esta cubierta debe ser abordado con exactamente el mismo rigor técnico que le es prestado al resto de los elementos de aislamiento del vertedero.

En tal sentido se debe considerar la creación de las condiciones adecuadas para crear un sustrato de crecimiento que haga viable la implantación y mantenimiento a largo plazo de colonias herbáceas estables. En definitiva, a largo plazo, la cubierta formará un suelo.

Los materiales a utilizar serán de naturaleza terrígena con dos características relevantes: textura y propiedades hidráulicas. La textura de los materiales a emplear debe asegurar la existencia de reservas de agua para las plantas en periodos de sequía, en tal sentido son recomendables suelos de texturas limosas o franco-limosas. El contenido en materia orgánica de los materiales terrígenos de la cubierta condiciona, por otra parte, el grado de cohesión, sus propiedades hidráulicas y su resistencia a la erosión. En este sentido se estima que el contenido mínimo de materia orgánica no debe ser inferior al 3% en peso. A tal propósito se puede considerar la posibilidad de adicionar compost a los materiales terrígenos hasta alcanzar dichos niveles.

Además, se controlarán otros factores edáficos como pH y nutrientes añadiendo correctores para las deficiencias que pudieran persistir tras las enmiendas orgánicas.

En el extendido de la cubierta la maquinaria empleada deberá trabajar en direcciones paralelas al contorno del vertedero para reducir los riesgos de erosión y promover la retención de semillas en la revegetación.

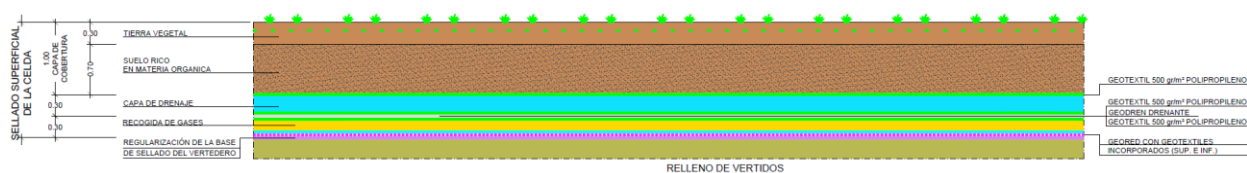
La revegetación de la cubierta debe plantearse inmediatamente finalizada la disposición de ésta seleccionándose especies herbáceas resistentes adaptadas a las condiciones climáticas del vertedero. Deberá cubrir con éxito un porcentaje mínimo del 90% del vertedero al final del primer año, reparando las zonas erosionadas y resemillando en caso contrario.

4.6 CONCLUSIÓN

La secuencia de sellado de la celda de vertido comprenderá fundamentalmente los siguientes elementos en sentido ascendente, de relleno hacia cobertura:

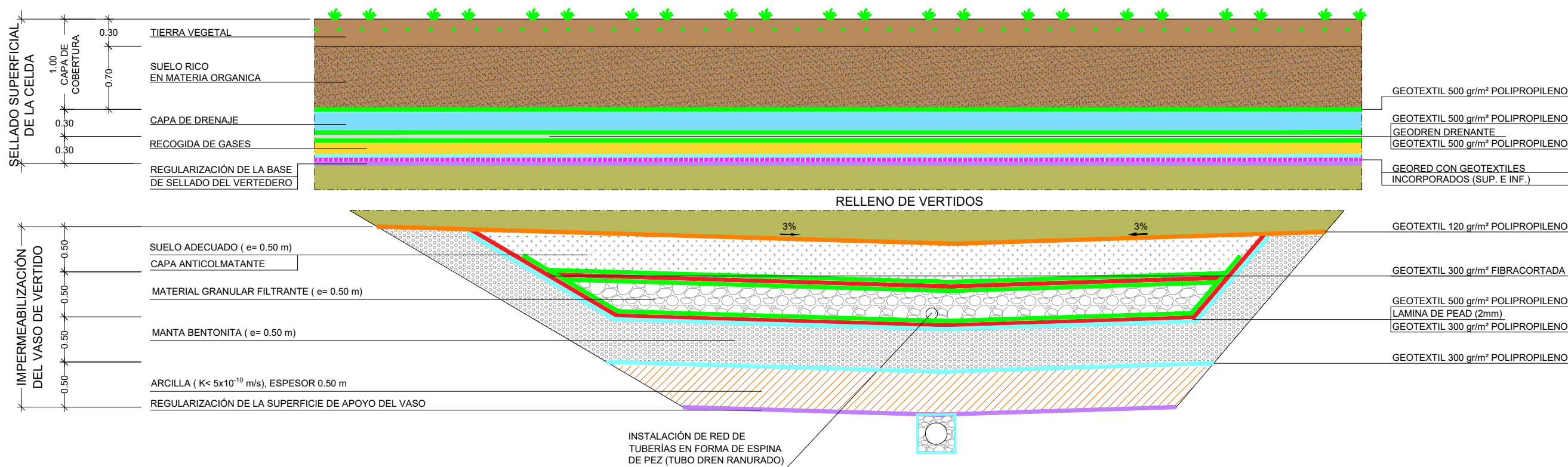
CAPA	CARACTERÍSTICAS
Capa de regulación	Regularización de la capa de relleno de vertidos y comienzo del sellado de la celda
Capa de recogida de gases	Geored, con geotextiles incorporados, (superior e inferior)
Capa de drenaje y filtración	Geotextil de polipropileno de 500 gr/m ² , de fibra continua
	Geodren drenante
	Geotextil de polipropileno de 500 gr/m ² , de fibra continua
Cobertura superior	Geotextil de polipropileno de 500 gr/m ² , de fibra continua Capa de suelo rico en materia orgánica con un espesor mínimo de 0,7 m Tierra vegetal con un espesor de 0,3 m

En la figura que se incluye a continuación se refleja el esquema del paquete de impermeabilización descrito para el sellado del vertedero:




Sección tipo de sellado del vaso de vertido

APÉNDICE Nº 1: PLANO



SECCIÓN TIPO CELDA
ESCALA 1:50

		DIRECCIÓN INNOVACIÓN E INGENIERÍA SUBDIRECCIÓN PROYECTOS ÁREA PROYECTOS DE SANEAMIENTO Y REUTILIZACIÓN	
AMPLIACIÓN DEL VERTEDERO DE LOECHES (T.M. LOECHES)			
Título del plano: SECCIÓN TIPO IMPERMEABILIZACIÓN Y SELLADO DE CELDA Nº3			
Fecha: Septiembre 2025	Versión: V0	Escala (UNE-A3) 1/50	Nº de Plano: 1 Hoja 1 de 1