

**DESARROLLO TÉCNICO DEL R. D. 1481/2001 RELATIVO A LAS  
INSTALACIONES DE VERTIDO DE RESIDUOS**

## ÍNDICE

<b>DESARROLLO DEL ANEXO I; REQUISITOS GENERALES DE UBICACIÓN, DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN QUE DEBERÁN CUMPLIR LOS VERTEDEROS DE RESIDUOS.....</b>	<b>3</b>
1. Restricciones a la ubicación de vertederos .....	4
2. Limitaciones a la ubicación de vertederos.....	9
3. Análisis de alternativas y selección de la ubicación de vertederos .....	13
4. Captación de aguas superficiales y subterráneas .....	20
5. Protección del suelo y las aguas .....	20
6. Captación y tratamiento de lixiviados .....	37
7. Construcción.....	39
8. Operación .....	48
9. Clausura y, en su caso, sellado del vertedero .....	52
10. Control de gases .....	58
11. Molestias y riesgos .....	60
12. Estabilidad e integridad de la masa de residuos y de las capas de impermeabilización.....	61
13. Cerramientos .....	62
<b>DESARROLLO DEL ANEXO III; PROCEDIMIENTOS DE CONTROL Y VIGILANCIA EN LAS FASES DE EXPLOTACIÓN Y MANTENIMIENTO POSTERIOR .....</b>	<b>63</b>
1. Fases de implantación del Plan de Vigilancia y Control del Vertedero .....	63
2. Requisitos de la red de vigilancia y control.....	65
3. Operaciones de vigilancia y control .....	72
4. Niveles de intervención.....	78
5. Informes.....	79
6. Plan de Emergencia.....	85
7. Plan de mantenimiento posterior .....	86

El presente documento desarrolla los Anexo I y III del Real Decreto 1481/2001.

**Desarrollo del Anexo I; Requisitos generales de ubicación, diseño, construcción y operación que deberán cumplir los vertederos de residuos.**

De acuerdo a lo establecido por el R.D. 1481/2001 de 27 de diciembre, las instalaciones de vertido serán objeto de autorización específica que se emitirá tras el análisis de la ubicación y el establecimiento de su idoneidad en función de criterios técnicos, ambientales y la realización de estudios específicos.

Además de los requisitos expresados en los Artículos 8º, 9º y 10º del R.D. 1481/2001, la autorización de instalaciones de vertido debe cumplir las siguientes condiciones:

- tener carácter motivado y condicionado.
- incluir las características de compatibilidad ambiental de la construcción y operación
- existir estudios específicos justificativos de la autorización.

En aplicación del Apartado 1 del Anexo I del R.D. 1481/2001, la autorización de instalaciones de vertido estará condicionada por el cumplimiento de restricciones y limitaciones que determinarán la posibilidad de ubicación en función de los procesos naturales, la conservación de los valores ambientales del territorio y del ámbito territorial al que da servicio la instalación.

En relación al presente documento se establecen las siguientes definiciones:

- *Restricción*: categorías que hacen incompatible la ubicación de un vertedero en dicho territorio. Son categorías excluyentes que no contemplan la posibilidad de excepciones.
- *Limitación*: categorías por las que la denegación o autorización a la ubicación del vertedero debe establecerse tras comprobar si se superan o no determinados criterios o umbrales de protección del medio ambiente.

Las restricciones tendrán una consideración jerárquica superior a las limitaciones, y por tanto, serán objeto de comprobación en primer lugar.

Las autoridades competentes pueden autorizar de forma debidamente justificada y excepcional la superación de los criterios o umbrales establecidos en cualquiera de las categorías de "Limitación". Estas excepciones deberán incorporar medidas de prevención, corrección y vigilancia suplementarias que

mitiguen y neutralicen los efectos negativos de dicha superación. Dichas medidas deberán incluirse en el documento de autorización de la instalación.

## **1. Restricciones a la ubicación de vertederos**

En este apartado se establecen las categorías o elementos de un territorio que hacen incompatible la ubicación de un vertedero en dicho territorio. Son circunstancias que no permiten la posibilidad de excepciones.

Se establecen las siguientes restricciones a la ubicación de un vertedero de residuos:

### **- Áreas inestables:**

Zonas donde se hayan identificado evidencias (cartográficas, históricas, mediciones o reconocimientos técnicos) que indiquen la existencia de un peligro significativo asociado a procesos de deslizamiento, movimientos de tierras, movimientos en masa o caída de bloques que afecten a los terrenos en los que se pretenda ubicar el vertedero.

Respecto a aquellas zonas en las que existan procesos de deslizamiento, movimientos de tierras, movimientos en masa o caída de bloques, se establecerá una zona de separación de 100 m entre el límite periférico de las instalaciones de vertido y la identificada por la potencial inestabilidad.

### **- Áreas volcánicas:**

No podrá ubicarse el vertedero sobre o en el interior de calderas volcánicas, conos volcánicos o cráteres activos o en aquellos inactivos que por su estado de conservación y singularidad constituyan un elemento de interés cultural catalogado, protegido o en trámite de protección.

Estará restringida la ubicación en aquellas localizaciones en las que la identificación de evidencias (cartográficas, históricas, mediciones o reconocimientos técnicos) indiquen la existencia de un peligro significativo por procesos de erupción (desplazamiento de lava, recorrido de coladas, etc.) que supongan un potencial daño al vertedero incompatible, total o parcialmente, con su integridad, seguridad y estabilidad. Respecto a la calificación del riesgo volcánico se deberá tener en cuenta las evidencias que consideren, como mínimo, los procesos activos de los últimos 500 años.

- **Áreas cársticas y cavidades subterráneas:**

La ubicación del vertedero no podrá suponer la ocupación, el cierre de dolinas, o simas indicadoras de sistemas cársticos de desarrollo vertical.

Tampoco se podrá localizar en zonas afectadas por inestabilidad o asiento por la presencia (en superficie o profundidad) de sistemas cársticos de desarrollo horizontal o vertical (cavidades naturales o artificiales).

Las instalaciones de vertido se situarán a una distancia de 100 m, tomada entre el perímetro exterior de la instalación y el límite de la zona en la que tienen lugar los citados procesos.

Ni los vertederos ni sus instalaciones auxiliares podrán suponer la destrucción, cierre o relleno de sistemas cársticos en los que existan colonias estables de quirópteros o que presenten patrimonio catalogado de tipo cultural, histórico-artístico, turístico o deportivo en su interior. En estos casos también se aplicara la distancia de restricción de 100 m.

- **Zonas con riesgo de aludes:**

Serán objeto de restricción aquellas zonas en las que exista un peligro significativo por aludes derivados de la acumulación estacional de nieve, así como aquellas en las que los potenciales efectos derivados de los mismos supongan un grave daño a la integridad, estabilidad y seguridad ambiental de la instalación.

- **Aguas superficiales continentales y zonas costeras:**

No podrá ubicarse un vertedero en terrenos de Dominio Público Hidráulico, incluyendo los cauces de corrientes naturales continuas, manantiales, lagos, lagunas, charcas, embalses, canales, y espacios ocupados por extensiones permanentes con presencia de lámina libre públicos o privados, así como las riberas, márgenes, sus zonas de servidumbre y policía de acuerdo a lo establecido por el Título primero del R.D.L. 1/2001 que aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas.

En el caso de vertederos de residuos no peligrosos y de residuos peligrosos, no se podrán ubicar vertederos en zonas con riesgo de inundación (delimitado por evidencias de cálculo, registros históricos o registros geológicos sedimentarios) por las aguas para la avenida correspondiente a un período de retorno de 100 años. También se prohíbe la ubicación de vertederos de residuos no peligrosos o residuos peligrosos en zonas ocupadas por el primer nivel de terrazas activas

asociadas a sistemas fluviales cuando se establezca que están relacionadas con la avenida correspondiente al periodo de retorno de 100 años.

No se podrán ubicar vertederos en terrenos del Dominio Público Marítimo Terrestre según la definición que para este da la Ley 22/1988 de Costas y aquellas zonas en que así lo dictamine razonadamente la autoridad competente en la aplicación de la Ley 22/1988 de Costas.

- **Aguas continentales subterráneas y acuíferos:**

En relación a la prohibición de ubicación de vertederos, se tendrán en cuenta los aspectos de planificación hidrológica, de protección del dominio público hidráulico, de la calidad de las aguas continentales, perímetros de protección y acuíferos establecidas en los títulos III y V del R.D.L. 1/2001.

Igualmente, y atendiendo a la consideración de las aguas subterráneas y los acuíferos como un bien público de interés general e independientemente que sean o no objeto de aprovechamiento para fines públicos o privados, se establece la incompatibilidad de ubicar instalaciones de vertido de residuos sólidos no peligrosos o peligrosos dentro de las Zonas de Restricción Absoluta, Restricciones Máximas, Zonas Satélites y Restricciones Moderadas de perímetros de protección declarados, en proceso de declaración, en proceso de información pública, en proceso de competencia o en proceso de investigación cuando esta haya sido comunicada al organismo competente en su autorización.

La distancia vertical existente entre la cota mínima del fondo de excavación o de apoyo del sistema de impermeabilización artificial y el nivel freático medio, será superior a 5 m para vertederos de residuos peligrosos y superior a 2 m para vertederos de residuos no peligrosos y de residuos inertes. En cualquier caso el nivel freático en un periodo húmedo no podrá alcanzar la cota mínima del fondo de excavación del vaso de vertido o de apoyo del sistema de impermeabilización artificial<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> A los efectos de la presente restricción para establecer la posición del nivel freático medio se tendrá en cuenta la identificación de su posición en condiciones normales durante un periodo húmedo y un periodo seco. Además mediante el correspondiente estudio hidrogeológico se analizará la probabilidad de que un ascenso excepcional del nivel freático pudiese alcanzar la zona de implantación del vaso. Para estas situaciones de ascenso excepcional del nivel freático y en caso de ser necesario, se incorporarán los sistemas de subdrenaje (separados respecto a la red de lixiviados) que garanticen que aún en esta circunstancia excepcional, no se produce entrada de agua freática en la masa de residuos.

- **Zonas húmedas (humedales):**

Cualquier vertedero deberá ubicarse fuera de cualquiera de las Zonas Húmedas recogidas bien en el Inventario de Humedales (en vigor) elaborado por la Dirección General de Obras Hidráulicas y Calidad de las Aguas o bien en los inventarios aprobados por los respectivos Organismos competentes de las Comunidades Autónomas. Para aquellos humedales recogidos en los inventarios, la ubicación de un vertedero deberá cumplir el mantenimiento de las siguientes distancias tomadas con respecto al perímetro declarado para la protección del humedal, o al perímetro del humedal recogido en el inventario cuando no exista figura de protección:

INERTES	Distancia igual o superior a 500 m
NO PELIGROSOS	Distancia igual o superior a 1.000 m
PELIGROSOS	Distancia igual o superior a 2.000 m

Cuando la zona húmeda tenga un interés natural relevante pero aún no este incluida en una figura de protección, se tomará como perímetro delimitador el del máximo contorno ocupado conjuntamente por:

- La máxima zona correspondiente a un período de diez años ocupada por aguas libres.
- La máxima zona (también correspondiente a un período de diez años) en la que las aguas subterráneas se encuentren a una profundidad no superior a 1 metro.

- **Espacios naturales protegidos:**

Los vertederos de Residuos Peligrosos y No Peligrosos no podrán ubicarse en terrenos con figura de protección del medio natural declarada y legalmente establecida con ordenamiento sectorial o específico (Planes de Ordenamiento de Recursos Naturales, Planes Rectores de Uso y Gestión, Zonas de Especial Conservación de LICs o ZEPAs, Zonas de Protección Arqueológica y Paleontológica, etc.) en vigor o en trámite de aprobación cuando expresamente así se establezca en dichas figuras de ordenación

En el caso de los Vertederos de Residuos Peligrosos estará prohibida su ubicación a una distancia inferior a 2000 m tomada entre el perímetro de la instalación y el de los Parques Nacionales, Parques Naturales y Reservas Naturales (así como las figuras de protección equivalentes establecidas por las comunidades Autónomas, de acuerdo a la Ley 4/1989 de Conservación de los Espacios Naturales y de la flora y fauna).

En el caso de los vertederos de Residuos No Peligrosos y Residuos Peligrosos se establecerá por las Comunidades Autónomas, en función a lo indicado en sus Planes Rectores de Uso y Gestión (PRUG), una distancia de restricción a Monumentos Naturales y Paisajes Protegidos (así como las figuras de protección equivalentes establecidas por las comunidades Autónomas) de acuerdo a la Ley 4/1989 de Conservación de los Espacios Naturales y de la flora y fauna.

- **Vías pecuarias:**

No podrán ubicarse vertederos en vías pecuarias reguladas por la Ley 3/95 de Vías Pecuarias y la normativa autonómica que la complementa.

- **Zonas residenciales, de equipamientos sanitarios o educativos:**

Se respetarán las siguientes distancias mínimas entre el perímetro del vertedero y:

Núcleos urbanos<sup>2</sup>, núcleos de población, zonas urbanizables establecidas por el planeamiento en vigor en el momento de la autorización del vertedero y zonas reservadas para equipamientos educativos o sanitarios. 500 m para vertederos de residuos inertes, 1000 m para vertederos de residuos no peligrosos y 2.000 m para vertederos de residuos peligrosos.

Elementos del patrimonio arquitectónico o y/o cultural tomados respecto al perímetro declarado para la protección de los mismos. 100 m a las instalaciones de vertido, cualquiera que sea su categoría.

En relación a los vertederos en activo debidamente autorizados y legalizados, las modificaciones y nuevas aprobaciones de las normas generales o particulares en materia de ordenación urbanística deberán velar por el mantenimiento de las distancias indicadas.

---

<sup>2</sup> Para la aplicación del presente documento, y sin menoscabo de otras definiciones recogidas en la normativa estatal o autonómica, se considerará como:

Núcleo Urbano al conjunto de los terrenos que constituyendo un perímetro único incluyen en su interior una trama urbana unificada que cumple la condición de estar completamente urbanizados (estando las calzadas pavimentadas y soladas y disponiendo de aceras de las vías municipales) y de disponer de servicios de abastecimiento de agua, evacuación de aguas residuales, suministro de energía eléctrica y alumbrado público dentro de una red de servicios común.

Núcleo de Población a aquella entidad inferior al núcleo urbano (que no este incluida en éste) y que cumple las condiciones de la existencia de una agrupación de un número superior a cinco viviendas de ocupación permanente situadas dentro del ámbito de una superficie no superior a una hectárea, y que respondiendo a la existencia de una parcelación reconocible de terrenos dispongan de un sistema de servicios de abastecimiento de agua, evacuación de aguas residuales, suministro de energía eléctrica y alumbrado común a todas ellas. El perímetro del núcleo de población estará constituido por aquel que englobe el contorno exterior de todas las viviendas pertenecientes al mismo.

## 2. Limitaciones a la ubicación de vertederos

En este apartado se establecen las categorías o elementos de un territorio que condicionan la ubicación de un vertedero en el mismo. Son circunstancias que deben ser analizadas en cada caso para comprobar si se superan o no unos ciertos umbrales, en cuyo caso se denegará o concederá, respectivamente, la autorización por parte de la autoridad competente.

Excepcionalmente, las autoridades competentes podrán autorizar la superación de estos umbrales. En estos casos, se incorporarán medidas de prevención, corrección y vigilancia suplementarias que contemplen los posibles efectos negativos de la ubicación autorizada. Dichas medidas deberán estar necesariamente incluidas en el documento de autorización de la instalación.

### - **Sísmicidad:**

La Ubicación del vertedero deberá tener en cuenta los criterios de Sísmicidad de acuerdo a los criterios de análisis incluidos en la Norma de Construcción Sismorresistente en vigor (NCS-2002 aprobada por R.D: 997/2002). Además considerará los datos y criterios de referencia del Instituto Geológico y Minero de España y/o del Instituto Geográfico Nacional respecto a la zonificación de áreas sísmicas.

De acuerdo a los criterios de la citada norma, las instalaciones de vertido se considerarán del siguiente modo:

- Los Vertederos de Inertes: como de “moderada importancia” cuando estén incluidos en términos municipales con aceleración sísmica básica igual o inferior a 0,04 g. En el resto de los casos se considerarán de “normal importancia”
- Los Vertederos de No Peligrosos: como de “normal importancia” cuando estén incluidos en términos municipales con aceleración sísmica básica igual o inferior a 0,08 g. En el resto de los casos se considerarán de “especial importancia”
- Los Vertederos de Residuos Peligrosos: Siempre se considerarán de “especial importancia”.

Las limitaciones para la instalación de vertederos en función de la sísmicidad se basarán en la realización de un estudio sísmico justificativo que demuestre la integridad de la capa de impermeabilización inferior y la capa de sellado superior en lo que respecta a su función, y a la estabilidad de la masa de residuos considerando situaciones de carga sísmica. Este estudio se efectuará:

- Para aquellas instalaciones calificadas como de “normal importancia” cuando la Aceleración Sísmica Básica sea igual o superior a 0,08 g.

- En todos los casos para aquellas instalaciones calificadas como de “especial importancia”.

El alcance del citado estudio deberá contemplar los siguientes aspectos:

Aceleración horizontal Máxima NCSE-02 (R.D. 997/2002)	Situación del vertedero	Actuación de diseño
$\geq 0,12$ g	Todos los casos	Evaluación sísmica completa y estudio de la microzonación sísmica
$< 0,12$ g	Asiento débil o suelos inestables	Evaluación sísmica completa
$< 0,12$ g	Zona con asiento sólido	Análisis sísmico somero

- **Geotectónica:**

En el caso de determinarse la evidencia de fallas neotectónicas con desplazamientos en el Holoceno en las proximidades de la ubicación del vertedero (a menos de 100 m del perímetro de la instalación) se justificará la ausencia de riesgos de inestabilidad.

- **Áreas inestables:**

Serán objeto de estudio aquellas zonas en las que se evidencie (mediante reconocimientos, cartografía o registros históricos) la existencia de procesos de inestabilidad natural o provocada por la acción humana. A los efectos de la aplicación de limitaciones se tendrán en cuenta las siguientes medidas:

Será incompatible la ubicación del vertedero, salvo que se disponga de medidas correctoras específicas que eviten este efecto, en terrenos en los que existan materiales (tanto de origen natural como antrópico) que se identifiquen o bien sea razonadamente previsible, que tengan asociados fenómenos de inestabilidad no compatibles con la operación segura del vertedero, el mantenimiento de la integridad de los elementos de sellado y recogida de lixiviados o la estabilidad del vertedero:

Entre los fenómenos de inestabilidad que deben estudiarse se incluirán:

- Las áreas con suelos compresibles.
- Los materiales con capacidad de hinchamiento, fenómenos de lavado, arrastre de finos o sifonamientos.
- Las áreas con suelos con baja resistencia o que son susceptibles de movimientos en masa.

- Suelos arcillosos que tienden a cambiar de volumen por ciclos de hidratación – deshidratación.
- Suelos sujetos a subsidencias como arcillas no consolidadas, aluviales saturados y zonas de humedales en general.
- Laderas sujetas a movimientos en masa del tipo de avalanchas, deslizamientos circulares o sobre superficies preferentes.

Se considerará en el análisis la inestabilidad inducida por actuaciones antrópicas y que puede producirse en las siguientes condiciones:

- Presencia de desmontes o rellenos.
- Extracciones de agua subterránea que pueden producir inestabilidad y asentamientos del subsuelo.
- La construcción de un vertedero sobre otro antiguo que pueda producir inestabilidades.

Para comprobar las características del suelo deberá llevarse a cabo un estudio previo de la estabilidad, tal como se define en los apartados de estudios integrantes del diseño del proyecto. Se verificará si existen captaciones de agua en las inmediaciones del emplazamiento.

- **Áreas inundables:**

Los vertederos de residuos inertes no podrán ubicarse en zonas que supongan una modificación significativa de las condiciones de inundabilidad. Al objeto de identificar esta circunstancia limitante cuando se plantee su ubicación en terrenos de la franja entre el límite del Dominio Público Hidráulico y el límite de la zona de inundación de período de retorno de 100 años, se comprobarán que se cumple que el vertedero no entorpecerá el flujo de avenida. Además se deberá comprobar que con las medidas correctoras adoptadas la disposición del vertedero no afectará al régimen de flujo aguas arriba y aguas abajo.

- **Espacios naturales protegidos:**

Cuando no exista incompatibilidad serán objeto de limitación, respecto a la ubicación, el patrimonio natural con figura de protección declarada y legalmente establecida por la Ley 4/1989 o normativa autonómica que la desarrolle, con ordenamiento sectorial o específico (Planes de Ordenamiento de Recursos Naturales, Planes Rectores de Uso y Gestión, Zonas de Especial Conservación de LICs o ZEPAs, Zonas de Protección Arqueológica y Paleontológica, etc) en vigor o en trámite de aprobación. El análisis de su autorización se realizará caso a caso de conformidad con la legislación de evaluación de impacto ambiental estatal.

Los Monumentos Naturales y Paisajes Protegidos (así como las figuras de protección equivalentes establecidas por las comunidades Autónomas) deberán ser considerados figura de limitación de acuerdo a la Ley 4/1989 de Conservación de los Espacios Naturales y de la flora y fauna, y en función a lo indicado en sus Planes Rectores de Uso y Gestión (PRUG). La limitación se analizará o no, de conformidad con la legislación de evaluación de impacto ambiental.

- **Embalses:**

La localización de la instalación de vertido considerará (teniendo en cuenta si el vertedero se sitúa aguas arriba o abajo del embalse) la presencia de embalses, presas artificiales y canales principales abiertos dedicados a regadío o abastecimiento. A tal respecto se guardarán las distancias, (tomadas respecto al límite entre la instalación de vertido y el máximo perímetro de ocupación normal de las aguas) siguientes:

Elemento	Tipo de Vertedero	Distancia	
		Aguas Arriba	Aguas Abajo
Embalses para Abastecimiento o Riego y Canales abiertos para abastecimiento o riego	Inerte	500 m	250 m
	No Peligroso	1000 m	500 m
	Peligroso	2000 m	1000 m
Embalses dedicados a Baño, Navegación o Ecológico	Inerte	250 m	250 m
	No Peligroso	1000 m	250 m
	Peligroso	2000 m	1000 m

- **Seguridad aeroportuaria:**

Como criterio de limitación cuando exista la posibilidad de liberación de gases o elementos ligeros se aplicará una distancia mínima de alejamiento (consideradas estas distancias con relación al eje de las pistas operativas o que se encuentren proyectadas, autorizadas o en proceso de autorización) de 3 Km. para los aeropuertos comerciales públicos o privados, aeropuertos militares o en los que tenga lugar la operación de aeronaves a reacción, y de 1,5 Km. para aeródromos en los que únicamente operen aeronaves de motor de pistón o aeronaves ligeras.

Cuando se pretenda la instalación de cualquier tipo de vertedero en el que exista la posibilidad (por la naturaleza del residuo o el sistema de gestión del mismo) de que la instalación pueda ser foco de atracción de aves o de emisión de flujos ascendentes de aire o gases y se encuentre a una distancia igual o inferior de 10 Km. a una pista de una instalación aeroportuaria, será preceptivo (a los efectos del trámite de autorización) su notificación a la autoridad competente (Dirección General de Aviación Civil y Aeropuertos Españoles y Navegación Aérea, AENA para los aeropuertos civiles y Ministerio de Defensa para los Aeropuertos de uso

militar) a los efectos de evaluar la potencial interferencia que pueda tener la instalación respecto a la seguridad de las aeronaves.

El análisis debe incluir un informe justificativo de la interrelación entre ambos fenómenos, que será obligatorio para la autorización de la instalación. El informe analizará la presencia de fracciones orgánicas en el residuo que puedan ser origen de alimentación de aves, la posibilidad (tanto en operación como tras el sellado y durante el mantenimiento postclausura) de que se produzcan zonas de retención del drenaje que resulten atractivas para la presencia y el anidamiento de aves, así como la utilización, previa a la instalación del vertedero, del ámbito de instalación, por las aves (que podrían modificar sus hábitos de comportamiento al crearse el vertedero). También deberá incluir dicho informe (con el objeto de posibilitar la autorización de la instalación) cuales son las medidas necesarias que el promotor propone para neutralizar o minimizar esta afección, como pueden ser: la trituración y mezcla completa del residuo, para que la fracción orgánica no pueda ser utilizada para la alimentación de aves y fauna, el ensacado del residuo, para que no presente superficie de materia orgánica disponible para la alimentación, la gestión del vertedero mediante cubrición con frecuencia inferior a la diaria (horaria) de los residuos, el mantenimiento y adecuado dimensionamiento de los drenajes, la preparación de un programa de mantenimiento (incluida la postclausura) en el que se prevean la prevención de zonas de encharcamiento, asociadas al asentamiento y subsidencia de la masa de residuos, y la instalación de mecanismos de control de aves (barreras sónicas, ahuyentadoras visuales, barreras físicas, etc).

### **3. Análisis de alternativas y selección de la ubicación de vertederos**

El proceso de análisis de alternativas y de selección de la ubicación de vertederos tendrá, como mínimo, las dos fases siguientes.

#### **- Análisis de alternativas de ubicación**

Dentro del ámbito de servicio de la instalación (local, provincial, regional o nacional) se analizará la capacidad de acogida del territorio respecto a la instalación mediante la búsqueda de ubicaciones viables a partir de los criterios técnicos mínimos (de diseño, constructivos, de explotación, etc.) recogidos en este documento de desarrollo del Real Decreto 1481/2001, de gestión (centralidad, distancias de transporte, existencia de servicios auxiliares), ambientales (espacios protegidos, paisaje, visibilidad, patrimonio, etc.) y del cumplimiento de las restricciones recogidas en el apartado 1 de este documento. Como resultado de esta

primera fase se establecerán las alternativas de ubicación técnicamente viables.

En esta primera fase, además de considerar las variables funcionales del proyecto (tales como capacidad del vertedero, vida útil prevista, distancias a los puntos de generación de los residuos, etc.), y aspectos como el suelo disponible y su relación con el planeamiento, se deberán considerar aquellas variables que condicionan la aptitud ambiental de las diferentes alternativas de ubicación (permeabilidad de las formaciones geológicas, presencia de acuíferos, zonas protegidas, núcleos urbanos o de población, patrón de circulación de vientos, etc.), cumpliendo en particular con las restricciones y limitaciones recogidas en los apartados 1 y 2 de este documento.

El resultado de esta primera fase será un listado de las alternativas de ubicación ordenadas de mayor a menor adecuación en función de una valoración combinada de las anteriores variables.

- **Estudio de las seleccionadas como mejores alternativas**

En el caso de vertederos de residuos no peligrosos y de vertederos de residuos peligrosos, sobre, como mínimo, las dos mejores alternativas de la fase anterior se llevarán a cabo los estudios y reconocimientos que permitan la elaboración de la definición técnica de la instalación de vertido y la identificación de los efectos ambientales significativos previsibles.

Se deberán estudiar, como mínimo, los siguientes aspectos:

- Climatología y meteorología

Se recopilará la información disponible para establecer los balances hidrológicos preliminares y la circulación de vientos:

- Precipitación
- Evaporación
- Rosa de frecuencia y potencia de vientos. Dirección predominante de los vientos y su variación mensual en la dirección de los vientos.
- Tormentas estacionales para un período de retorno no inferior a 25 años.

- Condiciones geológicas, geotécnicas y geofísicas:

- Descripción de la geología regional: Unidades litológicas, estratigrafía, petrografía, tectónica regional y principales rasgos estructurales.

- Estructura y fracturación de los materiales de la potencial ubicación (inclinación de las capas, sistema de plegamiento y/o principales direcciones de fracturación).
- Parámetros geotécnicos de las principales unidades litológicas representadas de los emplazamientos alternativos contemplados (identificación y capacidad portante).
- Cartografía geológica a escala adecuada (1:50.000, ó 1:25.000 para factores regionales, mayor detalle para vasos particulares). En el caso de que la complejidad geológica lo aconseje, se acompañará de cortes geológicos y columnas estratigráficas representativas del emplazamiento y del entorno.
- Reconocimientos preliminares (calicatas, penetrómetros, estaciones geomecánicas y/o geofísicos...) que permitan reconocer, describir y definir con claridad las condiciones geológicas de las diferentes alternativas.

En cada emplazamiento alternativo:

- Se ejecutará al menos un mínimo de 2 calicatas por hectárea para la descripción del terreno (por un Ingeniero Geotécnico o Geólogo cualificado) desde superficie hasta la máxima profundidad que se pueda alcanzar mediante medios mecánicos.
- En el caso que proceda (suelos de compacidad/consistencia inferior a media) se ejecutará un mínimo de 4 ensayos por hectárea de penetración dinámica, para determinar la compacidad del terreno.
- En el caso que el terreno en superficie sea representativo del apoyo del fondo del vaso, sobre el horizonte de terreno de los 5 primeros metros, se ejecutarán un mínimo de 2 ensayos por hectárea para determinar la permeabilidad vertical (métodos del permeámetro o infiltrómetro).
- Se ejecutarán un mínimo de 2 sondeos con recuperación de testigo (supervisados Ingeniero Geotécnico, Ingeniero de Minas o Geólogo cualificado) hasta alcanzar una profundidad no inferior, en ninguno de ellos, a la de la cota de apoyo del vertedero más cinco veces el espesor requerido a la barrera geológica natural para la categoría más desfavorable de los residuos a almacenar. Mediante los dos sondeos se podrá identificar el rango del gradiente hidrogeológico local. En caso de que con dicha profundidad no se hubiese alcanzado la zona saturada regional, al menos uno de los sondeos deberá realizarse hasta el cumplimiento de alguna de las siguientes condiciones: penetrar en el nivel freático regional en una longitud de 5 m o alcanzar la profundidad (desde cota superficial del terreno) máxima de 50 m. Como mínimo la longitud de los sondeos será de 15 m en cualquier caso.

- Hasta la profundidad equivalente de 5 m por debajo de la cota de apoyo del futuro vertedero se ejecutarán, como mínimo, los siguientes ensayos (en cada uno de los sondeos especificados) por cada nivel geológico: ejecución de un ensayo SPT, toma de muestra inalterada o toma de muestra parafinada (en función de las condiciones del terreno perforado); un ensayo de permeabilidad en laboratorio sobre muestras de terreno, un ensayo de permeabilidad in situ (Lefranc o Lugeon en función de las condiciones del terreno perforado). En el nivel correspondiente a la barrera geológica natural esta densidad de ensayos se incrementará a un total de 5.
- Por debajo de la profundidad equivalente de 5 m por debajo de la cota de apoyo del futuro vertedero se ejecutarán los siguientes ensayos (en cada uno de los sondeos especificados): cada cinco metros SPT, toma de muestra inalterada o toma de muestra parafinada (en función de las condiciones del terreno perforado); cada cinco metros ensayo de permeabilidad en laboratorio sobre muestra de terreno, cada cinco metros ensayo de permeabilidad in situ (Lefranc o Lugeon en función de las condiciones del terreno perforado).
- Ensayos de laboratorio. Además de los ensayos anteriores se analizarán las muestras de suelos con los mismos criterios establecidos en la sección 5 del presente documento. Se obtendrá un mínimo de dos analíticas completas de calidad del agua subterránea.

- Características hidrológicas

- Descripción y cartografía a escala adecuada de la red de drenaje y cuencas afectadas por la ubicación.
- Inventario, en un círculo mínimo de 10 Km. de diámetro tomados desde el centro geométrico del área ocupada por el vaso del vertedero, de las condiciones de los cursos de agua en régimen constante, estacional y torrencial, así como de cursos fluviales, ríos y arroyos, lagunas, manantiales, fuentes, humedales, charcas, marismas y las masas de aguas estables. En caso necesario se establecerá la realización de medidas en campo, toma de muestra (aguas arriba y debajo de la potencial ubicación) y determinación analítica simplificada de parámetros indicadores en aquellos cauces o masas de aguas que se vean significativamente afectados por la localización analizada.
- Identificación y cartografía de lagos, embalses, lagunas, estuarios, zonas costeras, playas y humedales existentes en un ámbito de al menos de 10 Km. tomados desde el centro geométrico del área ocupada por el vaso del vertedero.

- Se localizarán e inventariarán las áreas inundables para un periodo retorno de 50, 100 o 500 años (en función de los datos que vayan a ser necesarios para la definición del Plan de Emergencia).

- Características hidrogeológicas

- Descripción hidrogeológica regional. Descripción y delimitación de los acuíferos, principales unidades permeables e impermeables, profundidad, características y tipo de acuíferos, piezometría, evolución piezométrica interanual, áreas de carga y descarga, calidad química de las aguas, variaciones estacionales de los niveles piezométricos, etc.
- Descripción del espesor, extensión lateral, dirección de flujo y gradiente, conductividad hidráulica y capacidad de retardo de las unidades localizadas (acuíferos, acuitardos o acuicludos) entre la unidad litológica propuesta para servir de barrera geológica natural o formación geológica base del vertedero y la unidad acuífera más próxima.
- Evaluación y valoración del grado de protección de las unidades anteriormente descritas, según su geometría y características físicas.
- Mapa o esquema hidrogeológico, a escala adecuada para su claridad de análisis y comprensión del emplazamiento del vertedero y de la zona comprendida en un mínimo de 10 Km. de radio. El mapa recogerá la cartografía hidrogeológica, piezometría, dirección de flujo y la localización de los puntos de descarga conocidos.
- Cuando se requiera para la comprensión del comportamiento hidrogeológico, se incluirán perfiles conceptuales que ilustrarán la disposición de las unidades geológicas e hidrogeológicas localizadas en el ámbito del vertedero y su funcionamiento.
- Se realizarán reconocimientos específicos del terreno en las ubicaciones con la finalidad de obtener datos y muestras para determinar al menos los siguientes factores: carácter de las formaciones, permeabilidad de las formaciones superficiales (en campo y en laboratorio) y posición del nivel freático.
- Inventario de puntos de agua: Se recogerán los datos documentales existentes del inventario de puntos de agua y usos del agua en una zona comprendida en un mínimo de 10 Km. de radio alrededor del vertedero. El informe se acompañará de un mapa a escala adecuada en el que se reflejará la situación de cada punto de agua y una base de datos con los datos disponibles. Se incluirán la descripción de aquellos puntos obtenidos de la necesaria consulta a fuentes documentales fiables (Organismos de cuenca, ITGE, etc.).

Cuando en aplicación de la legislación sobre evaluación de impacto ambiental, la autorización del vertedero requiera el sometimiento del proyecto a un procedimiento de evaluación de impacto ambiental, éste se llevará a cabo en esta segunda fase en que se adopta la decisión sobre la ubicación del proyecto.

El contenido mínimo del estudio de impacto ambiental será el que exige la legislación básica sobre evaluación de impacto ambiental y el exigido por la legislación autonómica que, en su caso, la complementa o desarrolla.

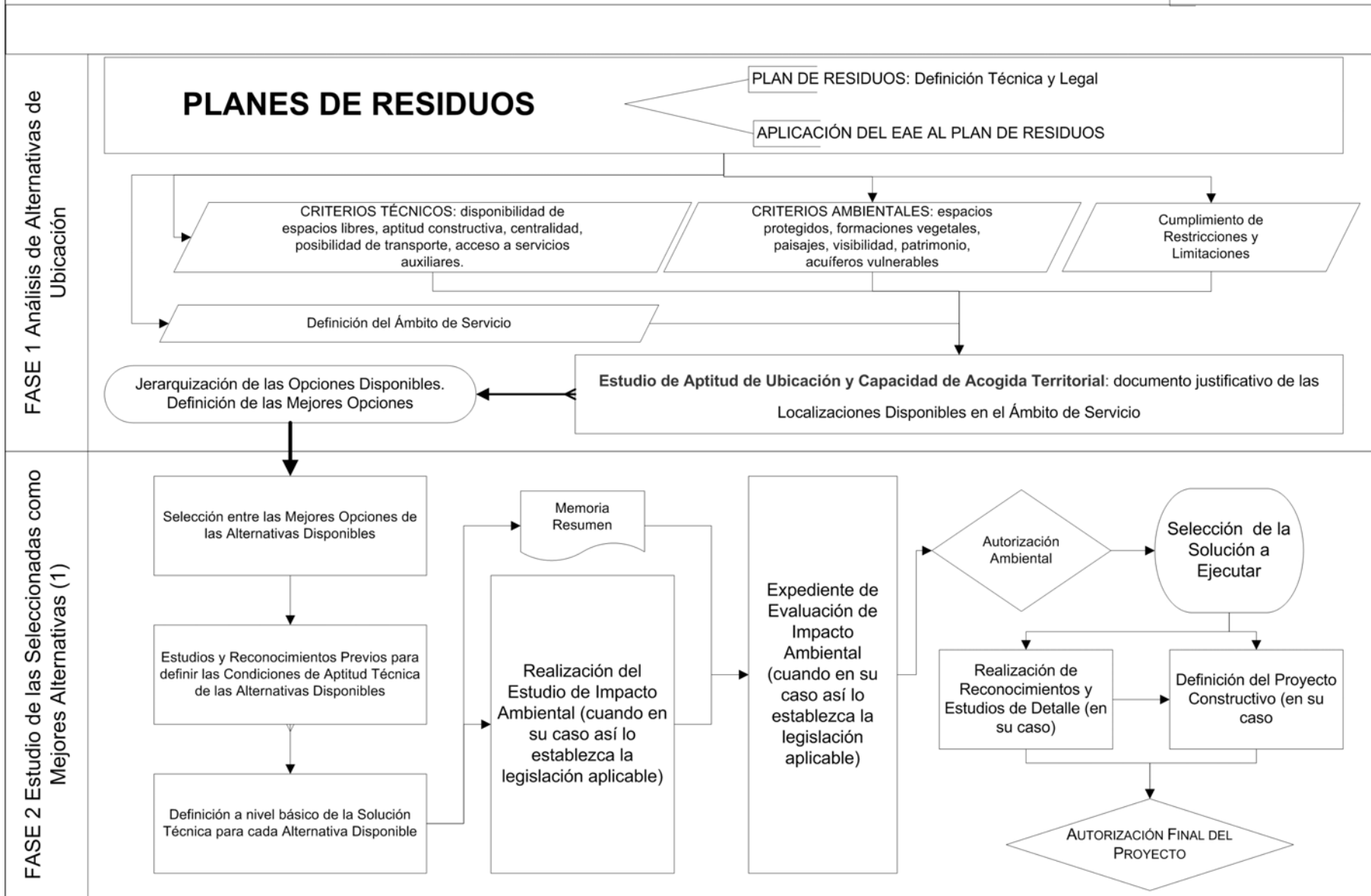
El resultado de esta segunda fase es la selección, a partir del estudio combinado de las anteriores variables técnicas y ambientales, de la ubicación más adecuada para el vertedero. Tras la finalización de esta fase con la obtención de la aprobación ambiental, se procederá (en su caso) a la realización de los estudios de detalle y a la definición constructiva de la instalación, tras lo que se deberá someter el proyecto a la autorización administrativa final.

En el caso de vertederos de residuos inertes, las autoridades competentes para otorgar la autorización del vertedero concretarán el proceso aplicable en esta segunda fase, de acuerdo, no obstante, con lo que en su caso prescriba la legislación sobre evaluación de impacto ambiental.

A título aclaratorio, la relación entre las dos fases indicadas, con el proceso de Evaluación de Impacto Ambiental (cuando proceda) y del proceso de diseño constructivo de la instalación queda sintetizado en el Diagrama I.-1:

DIAGRAMA I.-1.: ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS Y SELECCIÓN DE LA UBICACIÓN DE VERTEDEROS

Clave 90-402-6-005/42  
Julio 2003 - Rv.03 EMM



(1) En el caso de vertederos de residuos inertes las autoridades competentes para otorgar la autorización del vertedero concretarán el proceso aplicable en esta segunda fase.

#### **4. Captación de aguas superficiales y subterráneas**

Se especifican en este apartado los requisitos mínimos para el diseño de la infraestructura de captación de aguas superficiales y subterráneas.

Los sistemas de recogida y evacuación de las aguas superficiales se diseñarán de manera que eviten su entrada en el vaso de vertido o en otras instalaciones del vertedero donde puedan resultar contaminadas por contacto con los residuos.

Se diseñarán conducciones perimetrales u otro tipo de instalaciones que se calcularán para el caudal máximo correspondiente a un periodo de retorno mínimo de 25 años, en el caso de vertederos de residuos inertes y no peligrosos. En el caso de vertederos de residuos peligrosos este valor será de 50 años como mínimo.

Las aguas caídas en el vaso que no contacten con los residuos, o las precipitadas sobre coberturas impermeables de éstos, podrán evacuarse a cauce si cumplen los límites de vertido. En caso contrario deberán conducirse a una balsa exterior distinta de la recogida de lixiviados y recibirán tratamiento para cumplir los límites de vertido a cauce fijados en la autorización. Esta balsa se dimensionará para recoger las precipitaciones máximas de 24 horas para un periodo de retorno mínimo de 25 años, para vertederos de residuos inertes y no peligrosos. Para vertederos de residuos peligrosos este valor será de 50 años como mínimo.

Las aguas subterráneas no entrarán en ningún caso en contacto con los residuos, disponiendo en caso preciso un subdrenaje bajo la capa de impermeabilización.

#### **5. Protección del suelo y las aguas**

Todo vertedero deberá estar situado y 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. La protección del suelo, de las aguas subterráneas y de las aguas superficiales se conseguirá mediante la disposición de barreras impermeables y de capas de drenaje bajo la masa de residuos, aplicando los siguientes criterios:

- **Solución de Referencia**

Como criterio general la impermeabilidad frente a lixiviados procedentes del vaso de vertido se garantizará mediante la existencia en el

emplazamiento de una barrera geológica natural (en fondo y taludes del vaso de vertido) que tenga unas condiciones de permeabilidad y espesor cuyo efecto combinado sea equivalente como mínimo al siguiente:

a) Vertederos para residuos inertes:

$$k = 1,0 \times 10^{-7} \text{ m/s en un espesor de 1 m}$$

b) Vertederos para residuos no peligrosos:

$$k = 1,0 \times 10^{-9} \text{ m/s en un espesor de 1 m}$$

c) Vertederos para residuos peligrosos:

$$k = 1,0 \times 10^{-9} \text{ m/s en un espesor de 5 m}$$

donde:

k: coeficiente de permeabilidad (en metros/segundo)

Cuando la barrera geológica natural no cumpla las condiciones antes mencionadas, dichas características deberán alcanzarse añadiendo una barrera geológica artificial, que consistirá en una capa mineral de un espesor no inferior a 0,5 metros.

Además de las barreras geológicas descritas, en el caso de vertederos para residuos no peligrosos y de vertederos para residuos peligrosos, deberá añadirse como refuerzo un geosintético de impermeabilización.

Con el fin de mantener en un mínimo la acumulación de lixiviados en la base del vertedero, se dispondrá un sistema de recogida de lixiviados.

En el caso de vertederos de residuos inertes, cuando una evaluación basada en la ubicación y configuración de la instalación, así como de los residuos que se admitan, muestre que el vertedero presenta un riesgo admisible para el medio ambiente, las autoridades competentes podrán decidir que no se disponga de un sistema de recogida de lixiviados.

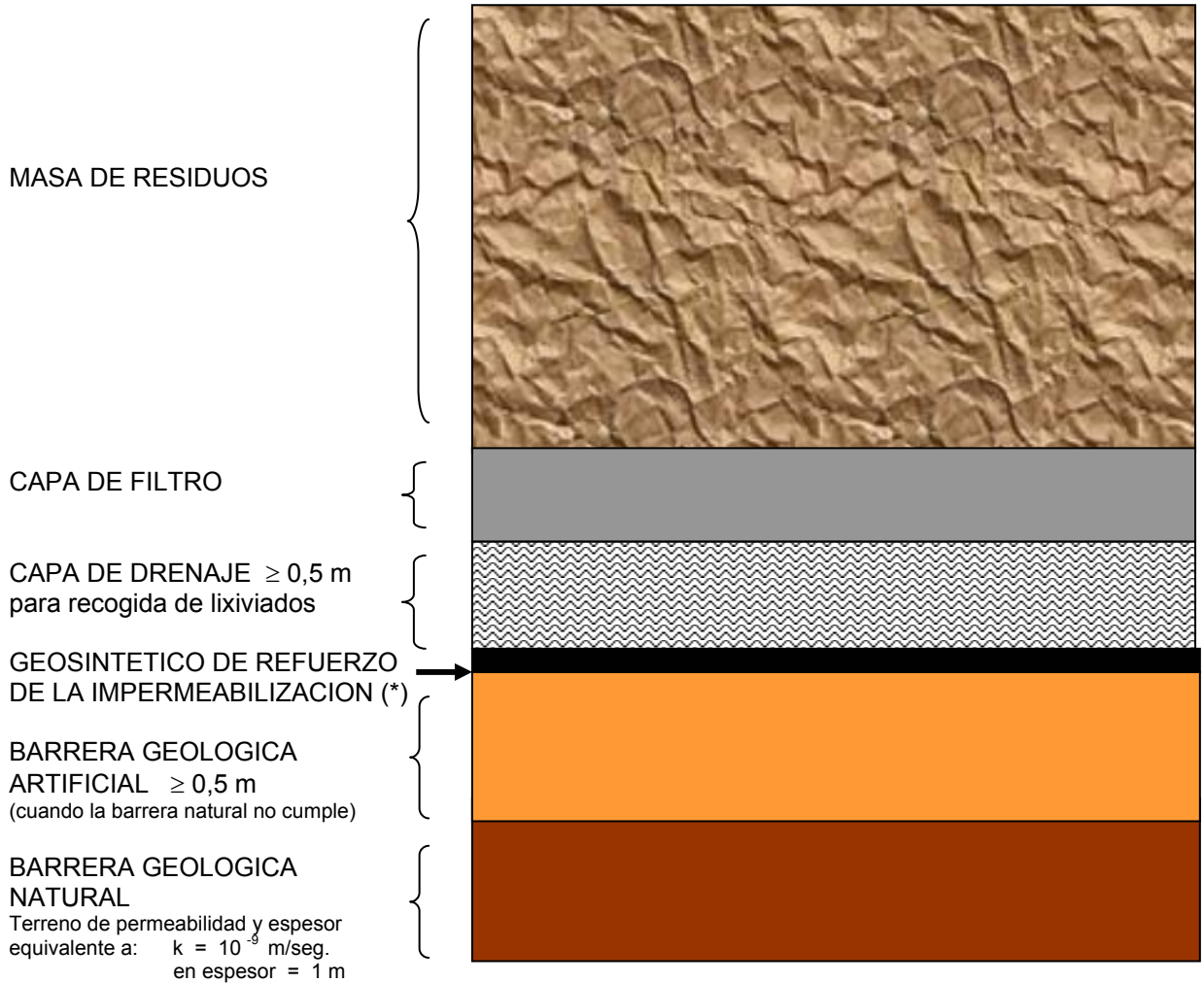
Para facilitar la interpretación de los requisitos de la Solución de Referencia, las barreras de protección mínimas de que dispondrán los vertederos bajo la masa de residuos y las condiciones a exigir a dichas

barreras serán, como mínimo, las que para cada clase se reflejan esquemáticamente en las Figuras 5.1, 5.2 y 5.3.

Figura 5.1.- Vertederos de residuos inertes. (Solución de Referencia)

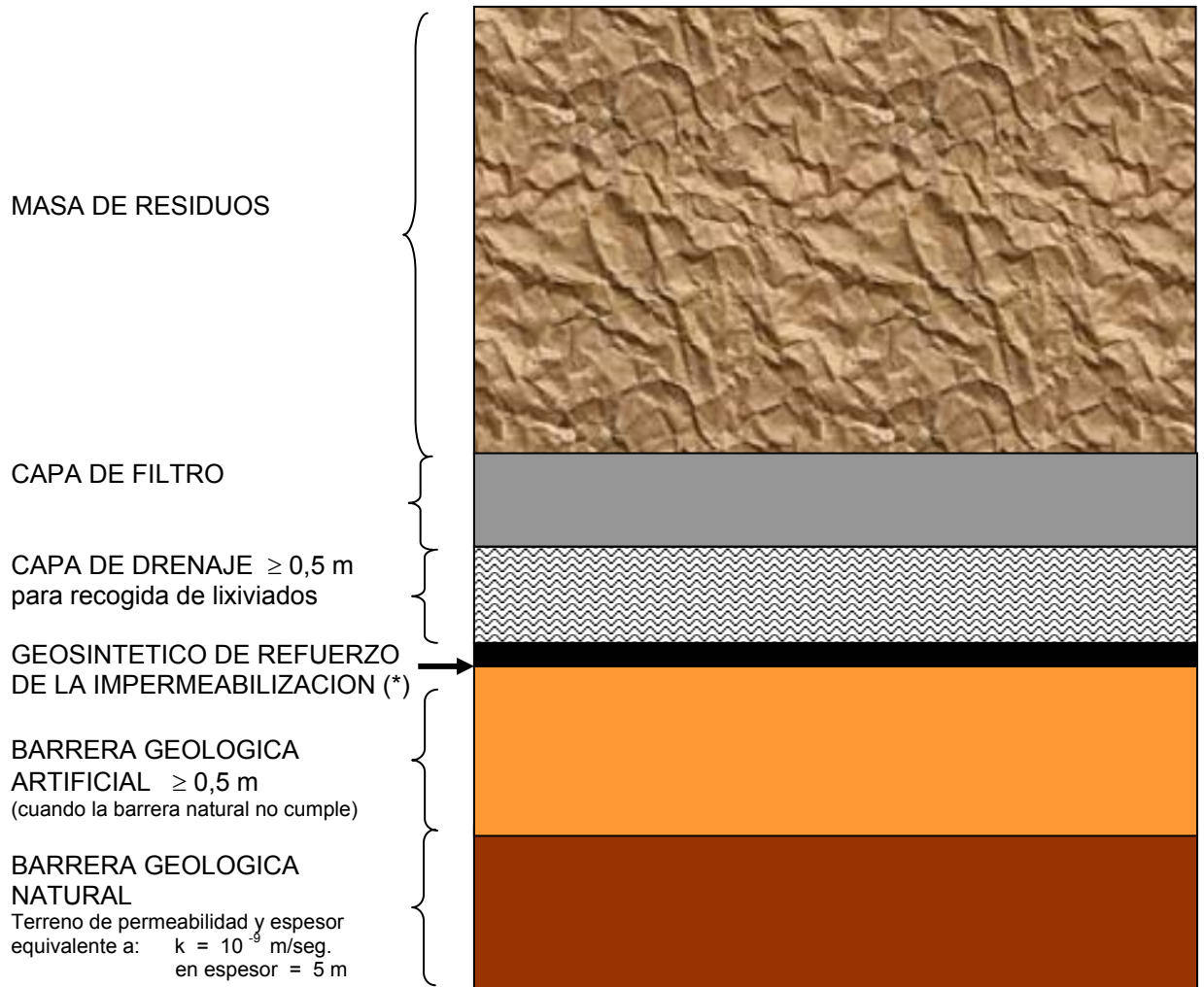


Figura 5.2.- Vertedero de residuos no peligrosos (solución de referencia)



(\*) Se dispondrá un geotextil protector encima del geosintético de refuerzo.

Figura 5.3.- Vertedero de residuos peligrosos (solución de referencia)



(\*) Se dispondrá un geotextil protector encima del geosintético de refuerzo.

- **Soluciones alternativas en casos excepcionales**

El órgano competente en materia de medio ambiente de la Comunidad Autónoma en que se ubique el vertedero podrá, en casos excepcionales, reducir o modificar los requisitos exigidos en la Solución de Referencia anterior.

Las características adoptadas para las capas de impermeabilización y de drenaje deberán incluirse en la autorización correspondiente, debiendo justificarse mediante un estudio de evaluación de riesgos que demuestre que el vertedero plantea un nivel de riesgo aceptable para el suelo, las aguas superficiales y subterráneas.

Dicho estudio de evaluación de riesgos tendrá en cuenta, en particular, el Capítulo II del Título III del Reglamento del Dominio Público Hidráulico (aprobado por Real Decreto 849/86 de 11 de abril de 1986 y modificado por Real Decreto 1315/1992 de 30 de octubre de 1992, por Real Decreto 995/2000 de 2 junio de 2000 y por Real Decreto 606/2003 de 23 de mayo de 2003), y deberá incluir como mínimo:

- un estudio de las características de los residuos que se depositarán en el vertedero, en relación con su composición y su comportamiento de lixiviación a corto, medio y largo plazo.
- la identificación y cuantificación de las emisiones probables de contaminantes a través de las capas impermeables
- el objetivo de calidad de los acuíferos que pudieran verse afectados por la emisión de contaminantes del vertedero a través de la barrera de impermeabilización, que será el fijado en el Plan Hidrológico de cuenca relevante para la unidad hidrogeológica en que se ubique el vertedero; de no existir un objetivo específico de calidad de las aguas para la unidad hidrogeológica en cuestión en el Plan Hidrológico de cuenca, aquél será fijado, en su caso, por la autoridad competente de acuerdo con lo establecido en el Real Decreto 849/86 (que aprueba el Reglamento sobre el Dominio Público Hidráulico) y sus modificaciones posteriores.
- un estudio hidrogeológico del emplazamiento del vertedero que demuestre que, con las barreras propuestas, el vertido de los residuos en la instalación no provocará que, a corto, medio o largo plazo, se superen los objetivos de calidad fijados

- **Prescripciones de diseño de las barreras de impermeabilización, de drenaje, de filtro, etc**

- Diseño de capas

\* Barrera geológica natural

Los valores especificados del coeficiente de permeabilidad para la barrera geológica natural se comprobarán mediante métodos representativos, atendiendo a la dirección de flujo y a sus características geológicas (Apéndice 1) e hidrogeológicas, de acuerdo a los siguientes criterios:

Para caracterizar hidrogeológicamente el emplazamiento es necesario acometer los ensayos hidrogeológicos pertinentes que informen sobre la dirección y gradiente de flujo del agua subterránea. Se requerirá la disposición de al menos tres sondeos en los que se puedan medir estos parámetros. En el caso que se encuentre el agua subterránea a gran profundidad (> 50 m bajo el fondo del vaso), si se justifica su no afección, no será preciso alcanzarla en el reconocimiento. En esta situación se documentará de modo detallado la información previa que pudiera existir a este respecto.

En las zonas no saturadas habrá que:

- Determinar la conductividad hidráulica mediante ensayos de campo.
- Precisar la porosidad y grado de humedad de los suelos no saturados por medio de ensayos de laboratorio o técnicas geofísicas.
- Evaluar la variación espacial y temporal de estas propiedades.

En las zonas saturadas habrá que:

- Determinar la conductividad hidráulica de todas las zonas saturadas y de los niveles acuíferos identificados por medio de ensayos de campo.
- Según las características y necesidades habrá que determinar los siguientes parámetros de los acuíferos:
  - Permeabilidad
  - Transmisividad
  - Niveles piezométricos y gradiente
  - Dirección y cantidad de flujo
  - Gradiente vertical entre niveles acuíferos

- Porosidad eficaz o coeficiente de almacenamiento
- Conductividad hidráulica de los acuitardos por medio de ensayos de campo o laboratorio
- Calidad del acuífero. Composición química

Para determinar los parámetros señalados se aprovecharán los sondeos y calicatas ejecutadas, efectuando en ellos ensayos "in situ" hidrodinámicos o bien ensayos de laboratorio sobre muestras, según proceda. Para la obtención de la permeabilidad se pueden efectuar los siguientes ensayos:

- **Infiltración en sondeos**

Se aprovechará la ejecución de los sondeos para ejecutar ensayos "in situ" de infiltración, tanto en zona saturada como no saturada. En este ensayo se medirá la infiltración del agua en los distintos tramos característicos de la columna del sondeo, la superficie de infiltración podrá ser el fondo de la perforación o bien los laterales del tramo de ensayado. En la zona donde se sitúe la barrera geológica natural se efectuará un ensayo por metro en cada sondeo. En el resto como mínimo un ensayo por nivel hidrogeológico.

- **Permeámetro autoperforador**

En niveles muy impermeables (permeabilidad inferior a  $10^{-9}$  m/s), puede ser necesario el empleo de este equipo más especializado. Su resultado será más representativo que el método anterior y sería sustitutivo de aquél en dichos casos. Consiste en la introducción de un volumen de agua limitado, midiendo el tiempo.

- **Doble infiltrómetro**

Aprovechando las calicatas efectuadas se podrá ejecutar en su fondo este ensayo. Consiste en la medición de la infiltración de un volumen de agua situado en el interior de un cilindro que se mantiene un nivel de agua constante en un cilindro concéntrico exterior al primero. Los resultados de este ensayo pueden complementar a los de infiltración, anteriormente referidos.

- **Ensayos de Laboratorio. Permeabilidad en ensayo triaxial**

Se efectuarán sobre muestras de suelo obtenidas generalmente de los sondeos. En el tramo correspondiente a la barrera geológica natural se efectuará una determinación cada metro en cada sondeo. Para obtener un valor representativo de la permeabilidad en la barrera geológica natural se dispondrá un número mínimo de cuatro sondeos, efectuando los ensayos sobre muestras de suelos, en la barrera geológica natural, del modo descrito. Se indicará la presencia de niveles más permeables u otras que pudieran deteriorar la calidad de dicha barrera.

- **Ensayos de bombeo. Otros**

En el caso de ser necesario se efectuarán en las capas acuíferas ensayos de bombeo. Los valores obtenidos en este ensayo serán los más representativos. Para determinación de direcciones y velocidad de flujo se pueden emplear trazadores.

Para la determinación de la permeabilidad en el emplazamiento de la barrera geológica natural, se aplicará la metodología de ensayos de laboratorio, salvo que se disponga la técnica "in situ" del permeámetro autoperforador que se admite como el método más exacto. Ello se debe a la baja permeabilidad de dicha barrera. En el caso de una barrera geológica artificial la determinación de laboratorio será el método más apropiado.

Los ensayos de infiltración convencionales en sondeos y el ensayo del doble infiltrómetro serán considerados de modo general ensayos de contraste, de menor precisión en estos materiales.

Con los ensayos efectuados se adoptará un valor característico en el emplazamiento. Si la barrera geológica natural es homogénea (en su permeabilidad) y no presenta fisuración los datos de laboratorio serán representativos. En el caso que sea así se adoptará un factor multiplicador (coeficiente de seguridad) que se justificará en cada caso, con el apoyo de los ensayos de campo. Este factor nunca será menor de 10.

En el Apéndice 2 se describen en detalle los métodos aplicables a suelos arcillosos.

La barrera geológica artificial tendrá una densidad seca de cómo mínimo la correspondiente al 95% del Ensayo Proctor Modificado y

su humedad se encontrará en el intervalo -1, +3 con relación a la humedad óptima del ensayo.

Valores recomendados para diversos parámetros de esta capa son:

- Porcentaje de finos (tamiz 0.08 UNE) > 30%
- Índice de plasticidad: 10 – 30
- Partícula máxima < 2 cm.

La resistencia al corte de la capa cumplirá las especificaciones requeridas para garantizar la estabilidad de la masa de vertido.

Se evaluará que la composición química de los lixiviados no afectará a la estructura de la capa de arcilla, dicho ataque puede aumentar la permeabilidad.

En el caso de no encontrar materiales adecuados cerca del emplazamiento puede plantearse el empleo de mezclas de suelo – bentonita u otro aditivo que puedan alcanzar los objetivos de impermeabilidad. El material más empleado es la bentonita de tipo sódico. Hay que evaluar su vulnerabilidad frente al ataque de ciertos lixiviados.

\* Geosintético de impermeabilización

Las geomembranas son láminas sintéticas cuya permeabilidad y capacidad de absorción de sustancias son muy bajas. El material polímero empleado suele ser polietileno de alta densidad (PEAD), aunque se pueden emplear otros como el polipropileno (PP).

- **Compatibilidad de la geomembrana con los residuos**

La resistencia química de los materiales de construcción de la membrana flexible frente a los lixiviados para la capa de impermeabilización deberá ser evaluada y certificada, mediante el Método 9090 de la EPA (U.S. Environmental Protection Agency) o similar, por el proveedor antes de su instalación.

En la capa impermeable de sellado solamente deberá tenerse en cuenta dicha compatibilidad, en su caso, frente a los gases del vertedero.

No deberán introducirse nunca residuos que puedan producir lixiviados susceptibles de atacar el material de fabricación. Dicha constatación podrá efectuarse en una Cámara de Exposición.

El objetivo del análisis es asegurar que los materiales no perderán su función durante el período operativo del depósito y post-clausura.

El fabricante deberá presentar las certificaciones que avalen los ensayos de las láminas para los siguientes apartados de la norma UNE 104-300-99:

CARACTERÍSTICA	Unidad	Apartado	Frecuencia
Densidad	g/cm <sup>3</sup>	Apdo. 4.1	Por lote
Espesor y variación en el borde	mm	Apdo. 4.2	Por rollo
Tolerancia la anchura	Mm	Apdo. 4.3	Por rollo
Contenido en negro de carbono y cenizas	%	Apdo. 4.5	Por lote
Dispersión de negro de humo	-	Apdo. 4.6	Por lote
Índice de fluidez	g/10 min.	Apdo. 4.7	Por lote
Resist. Tracción, pto. Fluencia, alargamiento			
Resistencia a la tracción	Mpa	Apdo. 4.10	10.000 m <sup>2</sup>
Esfuerzo en el pto. de fluencia	Mpa	Apdo. 4.10	10.000 m <sup>2</sup>
Alargamiento en la rotura	%	Apdo. 4.10	10.000 m <sup>2</sup>
Alargamiento en el pto. de fluencia	%	Apdo. 4.10	10.000 m <sup>2</sup>
Resistencia a la perforación			
Resistencia a la perforación	N/mm	Apdo. 4.11	10.000 m <sup>2</sup>
Recorrido	Mm	Apdo. 4.11	10.000 m <sup>2</sup>

En obras menores de 10.000 m<sup>2</sup> se considerará un ensayo por obra.

- **Cálculos para el diseño**

La membrana flexible deberá ser capaz de soportar su propio peso en los taludes del vaso. Así mismo, deberá tenerse en cuenta la carga que ejerce el residuo a medida que aumenta su altura de apilado.

La capacidad de carga de la lámina en función de su espesor, por ello con objeto de calcular la tensión que puede soportar, deberá

reflejarse claramente la densidad de la membrana, ángulo de fricción, espesor y límite elástico.

A la hora de efectuar el citado cálculo deberán tenerse en cuenta los posibles asentamientos del residuo.

En el diseño se tendrán en cuenta las siguientes condiciones:

- Se tomará un factor de seguridad de 3 a la hora de evaluar la relación entre la tensión máxima y la de trabajo.
- El espesor mínimo, para láminas de polietileno de alta densidad será  $2 \cdot 10^{-3}$  m. Para los vertederos que en la fecha de aprobación de la presente norma se encuentre en operación y en los que el espesor de la lámina de polietileno de alta densidad (PEAD) sea de  $1,5 \cdot 10^{-3}$  m, se podrán mantener en explotación bajo el cumplimiento de la condición de aumentar en un 50 % la frecuencia de las actividades de control y vigilancia relativas a la protección de las aguas subterráneas con respecto a las especificadas en los apartados 14 y 15 del presente documento
- La membrana flexible se colocará directamente sobre una capa de arcilla, cuyas características se reflejan en el apartado correspondiente.
- Sobre la membrana flexible deberá colocarse un geotextil con objeto de ofrecer una protección adecuada frente a punzonamiento.
- Cuando la lámina tenga inserciones de superficie para aumentar el rozamiento, en ningún caso tendrá menor peso/m<sup>2</sup> que la original del mismo espesor nominal. La resistencia a tracción en dos direcciones perpendiculares no variará en más del 10% respecto a los nominales (del mismo espesor).

#### - **Capa de arcillas geosintéticas**

Consta de modo habitual de una capa de bentonita entre dos geotextiles o bien una combinación de bentonita y geomembrana. Existen diversos medios de conexión entre ambos geosintéticos en zona de taludes, dicho aspecto es fundamental, al condicionar su resistencia al corte. Se suministrará dicha capa lo más seca posible antes de su instalación (humedad < 20%).

Se evaluará la posibilidad de existencia de ciclos humedad-sequedad que puedan afectar a su comportamiento.

Se considerará al igual que antes la compatibilidad química con los posibles lixiviados, en el caso que proceda para preservar su integridad.

Las características mínimas a exigir a las capas de arcilla geosintéticas son las siguientes:

Propiedades	Norma	Unidad	Valor
Peso total unitario	UNE EN 965	g/m <sup>2</sup>	5.300
Espesor	UNE EN 964-1	mm	6,5
Contenido de bentonita	ASTM D 5993	Kg/m <sup>2</sup>	5,0
Peso geotextil tejido	UNE EN 965	g/m <sup>2</sup>	130
Peso geotextil no tejido	UNE EN 965	g/m <sup>2</sup>	200
Porcentaje de montmorillonita		%	70
Resistencia al corte directo en seco y en húmedo	ASTM D 3080 Carga 25 kN/m <sup>2</sup>	°	25
Resistencia a tracción (En ambos sentidos)	UNE EN ISO 10319	kN/m	12
Permeabilidad. k	DIN 18130	m/s	≤ 1*10 <sup>-11</sup>

Además será estrictamente necesario que exista una masa de fibras en la bentonita que una ambos geotextiles impidiendo la pérdida y movimiento de bentonita, y que los geotextiles no estén perforados para que no fluya la bentonita por esos huecos al hidratarse.

\* Capa de drenaje

En cuanto a las capas de drenaje, cumplirá las siguientes condiciones:

- Pendiente mínima tras los máximos asientos previsibles: 2%
- Nivel de lixiviados: Siempre inferior al espesor de la capa drenante.
- Cubrirá el fondo y las paredes del vaso.
- Su instalación no dañará a las capas inferiores

- **Elementos de drenaje:**

*Capa de gravas:*

- El coeficiente de permeabilidad hidráulica será mayor de  $10^{-2}$  m/s
- El contenido de finos (tamiz 0.08 UNE) no sobrepasará el 5%. El coeficiente de uniformidad será menor de tres.
- El tamaño de árido se encontrará preferentemente en el rango 2cm –4cm.
- De modo preferente se utilizará grava de tipo no caliza, con un contenido de carbonatos menor de un 30% en peso. Se justificará en caso contrario, evaluando su estabilidad frente al ataque químico potencial de los lixiviados.
- Si su ubicación se hace sobre una geomembrana impermeable, protegida con geotextil, el árido que este en contacto con ella cumplirá las condiciones de resistencia a punzonamiento.

*Geosintéticos de drenaje:*

Cuando en casos excepcionales la autoridad competente autorice soluciones de diseño distintas de la de referencia, se podrá plantear en los taludes del vertedero la colocación de geocompuestos de drenaje (georedes), siempre que tengan adecuada capacidad de drenaje y no presenten riesgos de colmatación.

Se tendrá en cuenta la presión vertical sobre el geocompuesto cuando se evalúe la capacidad hidráulica, así como la potencial precipitación de los efluentes en su interior, que supondrá una disminución de su capacidad hidráulica.

*Tuberías de drenaje:*

Se recomienda la colocación de tuberías ranuradas de drenaje uniformemente repartidas en la capa de drenaje para la extracción del lixiviado, cumpliendo los siguientes requisitos:

- La pendiente mínima de dichas tuberías será del 2% después de los asentamientos previsibles.
- Diámetro mínimo de las conducciones de lixiviados de 150 mm.

- Capas drenantes de material competente, gravas rodadas o de cantos no angulosos y con conductividad hidráulica mínima de, una vez colocadas, al menos  $1 \times 10^{-2}$  m/seg.
- Las tuberías se distanciarán aproximadamente 20 m como máximo unas de otras, minimizándose su longitud.
- El material con que esté fabricado el tubo garantizará que el sistema de drenaje no perderá su funcionalidad durante la vida útil del vertedero (construcción, explotación, post-clausura), debido a las acciones físicas, químicas o biológicas.
- Los registros mantendrán un espaciado que permita la limpieza de las instalaciones de los canales de lixiviado. El acceso a la red de las conducciones de drenaje deberá estar accesible desde ambos extremos de los colectores de drenaje.

#### *Tuberías de Evacuación:*

Llevarán los lixiviados procedentes de los sistemas de drenaje hasta la balsa de lixiviados o bien a pozos de registro de control. Sus características son las mismas que las especificadas en el punto anterior, sólo que serán conductos ciegos.

#### - **Protección del Drenaje**

Tanto los materiales de drenaje como las tuberías de evacuación deben ser protegidos mediante un material filtrante, contra la invasión de partículas finas que puedan ocasionar su colmatación.

Para ello deberá usarse un material intermedio con menores aberturas que las de los materiales de drenaje, de modo que cumpla la condición de filtro descrita más adelante.

#### *Geotextiles:*

Los Geotextiles son un material filtrante y de drenaje cuya eficacia ha sido ampliamente contrastada. Ocupan un espacio vertical muy reducido, son fáciles de instalar y no sufren alteraciones al trabajar bajo carga.

Los geotextiles están formados por fibras o filamentos poliméricos. Los espacios entre las fibras o filamentos son fundamentales para la infiltración. Estos deben ser suficientemente amplios para permitir el paso del flujo de líquido y

lo bastante pequeños para evitar su atasco por partículas que penetren en ellos.

Las características principales de estos materiales serán:

- Deberán ser químicamente resistentes al lixiviado.
- Los geotextiles deberán ser suficientemente resistentes para reforzar las aperturas de los materiales de drenaje a los que protegen.
- La resistencia al desgarramiento y a la perforación serán, al menos, el doble que las de las membranas a las que protegen.

Se distinguen dos tipos:

- Geotextiles tejidos: Son fabricados con fibras o filamentos entrecruzados en direcciones perpendiculares.
- Geotextiles no tejidos: Las fibras o filamentos se encuentran aleatoriamente dispuestas, de modo que no existe una dirección de flujo definida.

Los tres elementos de diseño esenciales son: flujo adecuado, retención, prevención de la obstrucción.

El primero se asegura comparando la razón entre la permeabilidad admisible con la requerida.

La relación entre la permeabilidad admisible de un geotextil y su espesor ( $k/b$ ) se ajustará a la norma ASTM D 4.491.

La segunda parte del diseño es la determinación de la malla necesaria para la retención de partículas del lixiviado, procedentes de materiales superiores, Se establece que el 95% de aquellas serán retenidas en él.

El tamaño  $d_{95}$  de un geotextil (ensayo UNE-EN ISO 12956:1999) es la apertura para la cual el 5% de las partículas pasan a través del mismo.

Otros ensayos referentes a los geotextiles serán:

Condiciones analíticas:	ASTM D 1.776
Muestreo:	UNE- EN 963:1995
Permeabilidad:	UNE- EN ISO 11058
Resistencia a microorganismos:	UNE- EN 12225:2001
Peso:	UNE- EN 965:1995
Resistencia a penetración:	UNE- EN 918:1996
Resistencia a tensión:	UNE- EN ISO 10319:1996 UNE- EN ISO 10321:1996

Si existe materia orgánica en el lixiviado y una alta probabilidad de precipitación del lixiviado, se recomienda el empleo de geotextiles tejidos al presentar una superficie específica menor al paso del lixiviado. No se recomienda la envoltura de las tuberías de drenaje en geotextiles por esta razón.

#### *Arenas:*

En el diseño del filtro granular se requiere la distribución granulométrica de las gravas de drenaje y de las partículas que contiene el lixiviado.

Los límites de granulometría de la arena para alcanzar un flujo y unas retenciones adecuadas serán:

Flujo adecuado:  $d_{85a} > (5) d_{15g.d.}$

Retención adecuada:  $d_{15a} < (5) d_{85f.i.}$

Donde:  $d_{85a}$  y  $d_{15a}$ : parámetros de caracterización de la arena,  $d_{85a}$  tamaño de malla por el que pasa el 85% de la arena.  
 $d_{15g.d.}$ : grava del drenaje.  
 $d_{85 f.i}$  : finos del lixiviado.

La curva granulométrica de las arenas empleadas deberá ajustarse a los valores  $d_{85}$  a y  $d_{15a}$  requeridos.

El Ensayo correspondiente será el UNE 7.139 58

Se evaluará la idoneidad del empleo del filtro de arena, al presentar un riesgo de oclusión por la mayor superficie específica de las partículas del filtro.

- **Capas de drenaje operacionales.**

Estarán situadas sobre capas de cubrición operacionales. Su colocación será opcional, cuando se considere necesaria la captación de lixiviados en dichos niveles. En este caso es fundamental considerar los potenciales asientos del nivel de apoyo, que pueden afectar la operatividad del drenaje, así como la impermeabilidad de la barrera. Sus especificaciones serán las mismas que se han establecido. El espesor de la capa de drenaje será como mínimo de 0.3 m.

## **6. Captación y tratamiento de lixiviados**

Los lixiviados y todas las aguas que entren en contacto con los residuos se tratarán antes de su vertido de modo que cumplan los límites de vertido a cauce fijados en la autorización. No obstante, en el caso de vertederos de residuos inertes, cuando una evaluación basada en la ubicación y configuración de la instalación, así como de los residuos que se admitan, muestre que el vertedero presenta un riesgo admisible para el medio ambiente, las autoridades competentes podrán decidir que no se disponga de un sistema de recogida de lixiviados.

- **Tanques Colectores de lixiviados**

El diseño de los tanques o depósitos colectores se atenderá a los siguientes criterios:

- Impermeabilidad
- Constituido por materiales compatibles con los vertidos
- Localizados en una superficie plana, con una cimentación estable y capaz de admitir los lixiviados estimados y de adaptarse a su funcionamiento y a las operaciones previstas con ellos.
- Si se localiza en el exterior deberá cubrirse para evitar el acceso de los animales

- **Balsa de almacenamiento**

El diseño detallado del tratamiento de los lixiviados y de la balsa de almacenamiento deberá atenerse a los siguientes puntos:

- La balsa se diseñara para la recepción de un volumen suficiente de lixiviados en cualquier época del año. Su volumen estará duplicado para facilitar el mantenimiento y prevenir fallos de operación.
- Los cálculos del dimensionamiento mínimo de la balsa de lixiviados se justificarán en función de la cantidad de materia orgánica, pluviometría, evapotranspiración, recubrimientos, etc.
- También se calcularán los riesgos de una posible avenida de tormentas, de 24 horas, para periodos de recurrencia de cómo mínimo 25 años (vertederos de residuos inertes y no peligrosos) o 50 años (vertederos de residuos peligrosos), dotando a la balsa de la superficie libre suficiente para absorberlas.
- Los cálculos del dimensionamiento también contemplarán el tratamiento previsto de los lixiviados y las restricciones en las distintas operaciones estacionales.
- Los costados y el fondo se recubrirán de material sintético impermeabilizante cuyas características deberán ser similares a la geomembrana del fondo del vaso de vertido.
- Se instalará un sistema de drenaje perimetral y se diseñará un sistema de inspección para la detección de cualquier fuga o filtración al terreno.
- La balsa podrá cubrirse, bien de manera permanente, o bien de forma temporal, si las condiciones meteorológicas lo requieren.
- El sistema de detección de lixiviados se localizará en la base de las balsas de almacenamiento para determinar la profundidad de los lixiviados y la de los líquidos residuales.

#### - **Tratamiento de los lixiviados**

Si los lixiviados se tratan en una instalación “in situ” se deberá asegurar que se cumplen las condiciones de vertido a cauce fijadas en la autorización del vertedero.

La reducción de los parámetros nocivos de los lixiviados a valores aceptables para que, posteriormente, puedan ser tratados conjuntamente con las aguas residuales, se puede alcanzar mediante la aplicación de diferentes procesos, frecuentemente complementarios, entre los que se consideran como más habituales:

- Tratamiento biológico
- Tratamiento físico químico
- Tratamientos mixtos.

## **7. Construcción**

### **- Planteamientos previos a la construcción**

La construcción de los sistemas de protección de un vertedero se ejecutará conforme a las especificaciones del Pliego de Condiciones y Planos del Proyecto.

De modo previo a la construcción el Contratista presentará a la Propiedad un Programa detallado de Obra, en el que se identifiquen las principales unidades y los plazos de ejecución. Otros aspectos que presentará son:

- **Materiales a emplear y procedencia. Características.**  
Se atenderá principalmente a la obtención de los materiales para las capas drenantes e impermeables de ser precisas. Se presentarán las características de dichos materiales que permitan establecer su idoneidad de acuerdo a las especificaciones del Proyecto.
- **Geosintéticos a emplear y procedencia. Características.**  
Se indicarán los suministradores y características de dichos materiales, comprobando que cumplen las especificaciones del proyecto. De modo especial se atenderá que cumplen las especificaciones de resistencia al corte entre geosintéticos y geosintéticos-suelo, que pueden influir en la estabilidad de la masa de vertido, así como en el caso de empleo de geocompuestos drenantes, de ensayos de transmisividad en su plano, que justifique su capacidad de drenaje.
- **Plan de control de Calidad.**  
Independiente del Control de Calidad de la Propiedad, el Contratista presentará, de acuerdo a las especificaciones del Pliego un Plan de Control de todos los materiales a emplear en la construcción y de las unidades ejecutadas.

Dada la singularidad e importancia en la construcción de un vertedero de las capas minerales impermeables y geosintéticos, en este capítulo se describen en concreto consideraciones y condiciones que deben de cumplir estas unidades.

### **- Capas minerales impermeables**

El material impermeable seleccionado presentará las características especificadas. Su puesta en obra contemplará los siguientes aspectos:

- Acondicionamiento
- Preparación del apoyo
- Compactación
- Protección contra la desecación

- Acondicionamiento

\* Ajuste de la humedad

Acorde a las especificaciones de compactación, los suelos compactados del lado húmedo tienden a tener, dentro del rango definido, menor permeabilidad y resistencia.

Si un suelo tiene que humectarse o secarse, se tiene que extender en una capa suelta que no supere 30 cm durante unos días. No se puede emplear para compactar un suelo helado.

\* Eliminación de partículas gruesas

Se recomienda que el tamaño máximo en la capa de suelo que se va a compactar no sobrepase 2 cm. Si por encima del suelo compactado se va a disponer una geomembrana, para la tongada superior se comprobará que dicho tamaño no punzonará el geosintético. Respecto a los bloques de suelo arcilloso duro, presentes en la capa a compactar, se comprobará que el equipo de compactación, con la energía prevista, puede romperlos, remoldearlos y compactarlos.

\* Aditivos

Si el suelo a emplear no alcanza los requisitos de permeabilidad se puede emplear para alcanzar dicho objetivo bentonita. La bentonita sódica es más efectiva que la cálcica. Este aditivo puede ser disuelto o degradado en contacto con ciertos lixiviados, por lo que de emplearlos hay que garantizar su estabilidad en el tiempo. Para la fabricación del suelo-bentonita se recomienda partir de un suelo granular, no cohesivo.

La dosificación se podrá hacer en una planta o bien sobre el suelo ya extendido y mezclado "in situ", en este último caso hay que garantizar su homogeneidad.

Otros aditivos que se pueden emplear son cemento, cal u otras arcillas.

- Preparación del apoyo

En el caso que se disponga una capa impermeable sobre el suelo natural, se eliminará de modo previo la capa vegetal y zonas de menor consistencia, o que pudieran dar un aporte excesivo de humedad, de modo que la disposición de la capa se efectúe en las condiciones previstas.

Si se coloca sobre un geosintético se comprobará de modo previo que éste se encuentra debidamente apoyado y anclado, así como que no afectará a su integridad durante las labores de compactación.

- Compactación

\* Equipo

Se recomienda el empleo de compactadores tipo “pata de cabra” que penetren totalmente el espesor de la tongada a compactar, con un peso mínimo de 18.000 Kg. En el caso que se empleen mezclas de suelo-bentonita o similares los compactadores vibratorios convencionales pueden ser adecuados.

Cuando se coloquen capas impermeables en taludes se observará el ángulo del talud. Si este es superior a 3H-1V no se podrán extender tongadas continuas que abarquen fondo y taludes, que es la disposición óptima. En este caso se compactará la capa impermeable de los taludes por tongadas horizontales, evitando que los contactos entre tongadas constituyan un plano preferente de filtración. Dado que el espesor de la capa en taludes en este caso será mayor que el prescrito en el diseño, por la necesidad de operación del equipo, se podrá reperfilear el espesor una vez compactado.

\* Espesor de tongada y número de pasadas

Estos dos factores están relacionados estrechamente, ya que fijan las propiedades de la capa compactada una vez se han definido los puntos anteriores.

Son habituales espesores de tongada entre 15 y 25 cm, se recomienda un valor de 20 cm. Estos valores aseguran los objetivos de compactación en todo el espesor y una adecuada conexión entre tongadas.

El número de pasadas del equipo influirá en la densidad alcanzada y la permeabilidad. De modo habitual se encuentra en el rango 5-15.

Para fijar estos aspectos se ejecutará una pista de ensayo, en la que se pueden verificar todos los aspectos que intervienen en la compactación, comprobando su resultado. El tamaño de la pista debe ser de ancho al menos tres veces el espesor del equipo de compactación, e igual o superior en longitud. El grosor debe ser el mismo que la capa a construir. Sobre esta capa se pueden efectuar ensayos de densidad y humedad "in situ" e infiltrómetros de doble anillo para medir la permeabilidad.

Durante la ejecución de la obra se adopta la siguiente densidad mínima de ensayos de campo:

ENSAYO	Ud / Ha / Tongada
Densidad y humedad "in situ"	4
Infiltrómetro de doble anillo	2
Densidad Proctor	1
Permeabilidad en triaxial	1
Granulometría. Límites de Atterberg	1

\* Conexión entre tongadas

Se garantizará que la conexión entre tongadas no constituirá un camino preferencial de potenciales filtraciones, para ello se podrán emplear dos tipos de acciones:

- Rodillos con patas de longitud suficiente que penetre totalmente la capa a compactar.
- Preparación de la superficie de la última tongada compactada antes de disponer la siguiente, mediante discos, escarificadores u otro equipo similar y humectar su superficie.

\* Protección contra la desecación

Una vez compactada una tongada o se haya ejecutado una capa mineral impermeable, es precisa la protección de la superficie contra la desecación o la congelación, para evitar su deterioro. Con este objeto se pueden adoptar las siguientes acciones:

- Compactar la superficie dejándola lisa.  
Se crea una capa dura en superficie que minimiza la migración y los cambios de humedad.
- Humectar la superficie.

- Sobre todo en épocas calurosas. Se evitará crear humedades excesivas.
- Cubrición de la capa mediante una lámina de plástico.
- Se lastrará con sacos y se comprobará que no alcanza una temperatura tal que pueda desecar el contacto.
- Protección de la capa mediante un suelo de cubrición.

Su espesor mínimo será de 30 cm.

- **Geosintéticos**

- Normas para consulta

UNE 53.131 - Plásticos. Tubos de polietileno para conducciones de agua a presión. Características y métodos de ensayo.

UNE 53.421 - Membranas impermeabilizantes. Determinación de la resistencia a los microorganismos.

UNE 104.300 – Plásticos. Láminas de polietileno de alta densidad (P.E.A.D.), para la impermeabilización de obra civil. Características y métodos de ensayo.

UNE 104.311 - Plásticos. Láminas de polietileno de alta densidad (P.E.A.D.), coextruido con otros grados de polietileno para la impermeabilización de obra civil. Características y métodos de ensayo.

UNE 104.481 - Membranas impermeabilizantes, métodos de ensayo. Comprobación de la estanqueidad de las uniones entre láminas impermeabilizantes. Método del aire a presión en el canal de prueba.

- Geomembranas

\* Características

Se recomienda el empleo de geomembranas de polietileno de alta densidad, homogéneas en todo su espesor. Su elección y puesta en obra será cuidada rigurosamente.

Se recomienda utilizar láminas del mayor ancho posible con el fin de minimizar el número de uniones en obra.

\* Colocación de las geomembranas

La extensión y colocación de geomembranas se realizará de forma continua. Así mismo se realizarán los taludes y la base de forma

diferenciada e independiente. Las láminas una vez presentadas se soldarán cuidando que su temperatura sea la misma para evitar tensiones en las soldaduras.

Las operaciones de cierre de base y talud y anclaje a obras de fábrica se realizarán a las horas más frías del día.

Los pasos seguir para la colocación son los siguientes:

- Extensión y numeración de los paños.
- Anclaje provisional de los mismos (si fuere necesario)
- Soldadura y numeración de las mismas
- Comprobación de soldaduras
- Anclaje definitivo

Bajo ninguna circunstancia se permitirá el tráfico no controlado de maquinaria sobre la geomembrana sin una protección adecuada.

\* Soldadura

Las geomembranas de polietileno de alta densidad serán unidas única y exclusivamente por alguno de los siguientes métodos. No se permitirán uniones de tipo adhesivo, químico u otros que no se hallen contemplados en este punto.

- **Soldadura doble**

La soldadura de las geomembranas será siempre del tipo doble con canal intermedio de comprobación.

Las dimensiones de esta soldadura serán las de la figura 7.1.

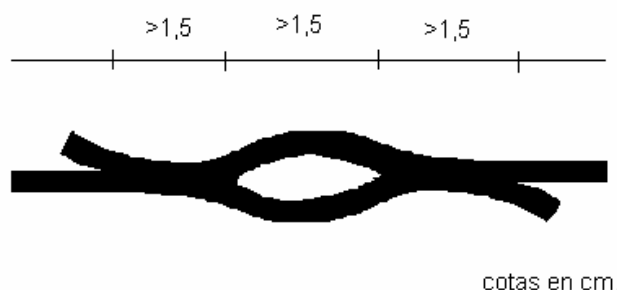


Figura 7.1. Dimensiones mínimas de la soldadura doble.

La anchura del solape será siempre mayor de 10 cm.

La maquinaria a utilizar podrá ser de cuña caliente, aire caliente o ambas, pero siempre será automática, y con un sistema de control de la temperatura de soldado, a ser posible digital y con impresión de las condiciones de soldadura: (presión de los rodillos, velocidad y temperatura)

La temperatura y velocidad de soldadura, se regulará según las condiciones climatológicas, y a partir de ensayos previos realizados in-situ con tensiómetro automático de campo.

Las geomembranas a soldar estarán limpias y exentas de polvo o grasa, para lo cual en ocasiones será necesario limpiarlas con un paño previamente.

Las soldaduras dobles con canal de comprobación se comprobarán según UNE 104-481-3-2. Aquellas soldaduras que no cumplan la anterior comprobación podrán repararse de alguna de las dos formas siguientes:

- Si el punto de fuga es localizable se reparará mediante una soldadura por extrusión.
- Si la soldadura es completamente defectuosa se reparará insertando un nuevo paño del mismo material de anchura no inferior a 1m. el cual se suelda a los paños cuya soldadura era defectuosa, comprobándose de nuevo las nuevas soldaduras.

- **Soldadura por extrusión.**

Se realiza con una máquina extrusora portátil que aporta material del mismo tipo que la geomembrana. Se pondrá especial énfasis en que la materia prima de la geomembrana y el material de aporte sean del mismo fabricante, para garantizar la durabilidad de la misma.

La operación de soldadura por extrusión consiste en:

- Limpieza enérgica de la zona a soldar
- Unión mediante calor
- Lijado de una zona de aproximadamente de 6 cm. común a ambas láminas. Este lijado se realizará siempre en dirección perpendicular a la soldadura, no eliminando más de un 10% del espesor de la lámina.

- Extrusión del material de aporte.

El cordón de soldadura tendrá una anchura mínima de 3 cm. y una altura mínima del espesor de la geomembrana.

La comprobación de ésta soldadura se podrá realizar dejando embebido un cordón de hilo de cobre para su comprobación con chispómetro, o mediante el procedimiento de la campana de vacío.

Este tipo de soldadura será solo utilizable en zonas de unión de varios paños y en puntos donde no sea posible la realización de la soldadura doble.

\* Anclaje de las geomembranas

Cualquier anclaje estará calculado para soportar la tracción máxima a la que pueda estar sometido, con un coeficiente de seguridad mínimo de 3 para la tensión sobre los geosintéticos (tensión máxima / tensión de trabajo) y de 2 para la capacidad de rozamiento del anclaje. Los 'valores resistentes' se determinarán teniendo en cuenta su evolución "in situ" a largo plazo (fluencia, degradación) y su deformación. Los geosintéticos tendrán las protecciones precisas (otros geotextiles,...) Se tendrán en cuenta los siguientes aspectos:

- Anclaje con zanjas: La distancia de la zanja al borde será tal que la tracción no desestabilice dicho tramo, nunca será menor de 1 m. La profundidad y ancho de la zanja no será menor de 0,5 m.
- Anclaje en bermas: El anclaje se puede efectuar de modo preferente por el peso propio de las tierras de cubrición. En el caso de ejecutar zanjas se cuidará de modo especial la calidad de las soldaduras transversales en el caso de emplearlas para conexión de dos tramos, su situación será siempre en la zona de pie del talud superior
- Conexión con elementos singulares: cuando haya que restituir la continuidad de un geosintético de impermeabilización, o anclarlo en elementos de fábrica, se pueden emplear piezas especiales de dicho material previamente introducidos en la fábrica, con soldadura posterior, dispositivos de compresión (brida-contrabrida), ...

En todos estos sistemas se verificará que no se producen concentraciones de tensiones que puedan desgarrar el material, por movimientos o asentamientos de la masa.

- Utilización de otros geosintéticos

\* Geotextiles

El material recibido en obra se identificará según EN UNE 10320

La extensión de los geotextiles se hará de forma continua, cuidando el anclaje eventual de los mismos durante la instalación para evitar posibles movimientos por viento.

Los geotextiles se unirán por termofusión o cosido con hilo sintético de los mismos con un solapo mínimo de 20 cm.

Si las uniones se realizan por simple solape este no será menor de 50 cm. Se evitarán las uniones transversales en los taludes a no ser que estas se realicen por cosido. Cuando sea preciso las uniones podrán ser ensayadas según UNE EN ISO 10321.

Se pondrá especial cuidado en la instalación del geotextil de filtro.

\* Geocompuestos drenantes

Se utilizan a veces como sustitutos de capas de drenaje de material granular, cumplirán las especificaciones establecidas.

Los geocompuestos drenantes se colocarán de forma continua colocando seguidamente el material que le siga para evitar su desplazamiento por el viento.

En cuanto a la unión se realizará de forma que el núcleo que lo forma quede "a testa" y se solape el geotextil con 10 cm. mínimo unido por termofusión para asegurar la continuidad del filtro.

Los materiales recibidos en obra vendrán empaquetados y etiquetados según UNE EN 10320.

En taludes se evitarán uniones transversales. Caso de realizarse se unirán también los núcleos de forma que la resistencia de la unión se mantenga.

\* Geocompuestos impermeabilizantes

Están formados por bentonita encapsulada entre dos geotextiles. Además será estrictamente necesario que exista una masa de fibras en la bentonita que una ambos geotextiles impidiendo la pérdida y

movimiento de bentonita, y que los geotextiles no estén perforados para que no fluya la bentonita por esos huecos al hidratarse.

La forma de unión de los paños será mediante solape de no menos de 15 cm. con pasta de bentonita o polvo de bentonita entre ambos paños.

En uniones transversales este solape será de más de 30 cm. Se recomienda el empleo de productos de anchos superiores o iguales a 5 m.

\* Geocompuestos de protección

Su colocación se realiza igual que la de los geotextiles.

\* Geomallas

Su aplicación requerirá un estudio geotécnico detallado en el cual se obtengan las características del producto a exigir.

## 8. Operación

Se denomina operación al conjunto de actuaciones que se desarrollan durante el funcionamiento del vertedero hasta su clausura, encaminadas a garantizar una adecuada disposición de los residuos admitidos.

El proceso se iniciará con el Protocolo de Aceptación y la identificación de los residuos, previa a su admisión en el vertedero.

Uno de los objetivos necesarios para conseguir una buena explotación del vertedero será limitar la producción de lixiviados. Esta restricción se conseguirá no solamente fijando el porcentaje de humedad de los residuos que son admitidos, sino la cantidad absoluta de agua que entre en el vertedero.

Además de estas precauciones, debe minimizarse en lo posible el contacto de las aguas de lluvia con los residuos, para que no adquieran características químicas que hagan necesario su tratamiento posterior.

La explotación se realizará, por tanto, cuidando especialmente la cubrición de los residuos y disponiendo éstos en capas controlables de forma que sea posible realizar esta cubrición con facilidad, incluyendo tanto la parte superior como el frente de los mismos.

## - Disposición de los residuos

Los residuos deberán depositarse, de modo general, en capas de altura en el rango 2,5 m – 3,5 m una vez compactados. Se podrán emplear mayores espesores siempre que se justifique una adecuada compactación de los residuos y su estabilidad local durante dichos trabajos, así como la protección e idoneidad del frente de vertido.

Por encima de los residuos compactados se colocará una capa de cobertura de unos 20 cm con fines sanitarios. Esta capa evitará la aparición de volantes, olores, animales,... además de impedir el contacto directo de las aguas pluviales con los residuos. Con dicho objeto la capa de cubrición tendrá una pendiente transversal que facilite la evacuación de las aguas pluviales y evite la creación de puntos bajos por donde se pueda infiltrar el agua. Salvo que se especifique concretamente, las capas de cubrición no tendrán una función impermeable, como en las capas minerales de las barreras. En el caso que así se requiriera se deberá preparar el apoyo sobre residuos de la capa a compactar, y se dispondrá por encima una capa de drenaje operacional. Puede ser preciso su mantenimiento junto con los drenajes dispuestos, por los asentamientos que tenga el vertedero.

Dentro de una misma capa se irán formando celdas independientes mediante dicha capa de cubrición cubriendo el talud frente de vertido una vez se haya alcanzado la capacidad prevista de la celda. La capacidad de la celda se establecerá en función de la entrada de residuos, del equipo de compactación, disponibilidad de tierras y de la situación y protección ambiental requerida. Las aguas pluviales que hayan entrado en contacto con los residuos se recogerán y se conducirán a la balsa correspondiente para su tratamiento de acuerdo a su calidad.

El sistema de explotación tenderá a reducir el máximo esta última posibilidad. Cuando sea totalmente preciso minimizar esta situación se puede plantear acciones extraordinarias como cubrición inmediata de los residuos con tierras, láminas lastradas,...

Durante el proceso de explotación se cuidará especialmente la gestión de las aguas superficiales de escorrentía, las aguas que hayan podido estar en contacto con los residuos y los lixiviados, de modo que se optimice su tratamiento en función de su calidad. Es por ello preciso la preparación de un plan de explotación detallado que considere los siguientes aspectos:

- Proceso de rellenado del vertedero. Protección Ambiental.
- Captación en cada fase de los distintos tipos de aguas.

- Conexiones. Minimización de aguas contaminadas.
- Mantenimiento y protección de las instalaciones.
- Plan de Emergencia. Dentro de las especificaciones descritas en el apartado correspondiente.

A continuación se procederá a depositar una nueva capa de residuos siguiendo el mismo procedimiento de forma secuencial hasta el llenado del vaso, previendo un margen en altura necesario para colocar las capas de cobertura final cuando se proceda a la clausura del vertedero.

Durante la explotación de la primera capa de residuos a disponer se cuidará especialmente que se empleen los equipos adecuados y que se tienen las protecciones precisas para no dañar los elementos presentes en la impermeabilización de fondo. Esta acción se extenderá a las celdas que estén en contacto con los taludes excavados del vaso.

Conforme se vaya incrementando la altura de explotación, es habitual disponer bermas, con un máximo desnivel entre ellas no superior a 20 m, de modo que mejore la estabilidad de la masa de vertido y permita el acceso al vertedero. Su anchura será superior a 4 m.

El talud de explotación permitirá su ejecución con adecuada seguridad, considerando su estabilidad y la erosión de las aguas de escorrentía. Este último aspecto será de atención preferente cuando el talud sea superior a 3H – 1V, disponiendo las medidas correctoras precisas para evitar esta acción (captación de aguas pluviales en coronación, sistemas protectores de erosión,....).

La instalación dispondrá de un sistema de lavado de ruedas para los vehículos que circulen por el interior del vertedero con el fin de evitar la dispersión de los residuos fuera del vertedero.

#### - **Ubicación de los residuos en el vertedero**

En vertederos de residuos peligrosos o bien de no peligrosos en los que por la heterogeneidad de los residuos se observe la conveniencia de su localización se adoptará un sistema a dicho efecto.

Para ello el vertedero se dividirá en una serie de zonas en cada piso.

Cada una de ellas estará subdividida por un sistema de coordenadas en varias subzonas que se identificarán por letras y/o números. Estas podrán recibir varias capas de residuos que se irán diferenciando.

El objetivo de esta subdivisión será la identificación de la zona adecuada para cada residuo y permitirá un mayor control de la utilización del vertedero, ya que se irá obteniendo un mapa donde quedará localizada cada carga de residuos.

Los residuos no deben mezclarse indiscriminadamente, deberán segregarse de forma que se asegure la inmovilización de los mismos, no permitiendo que reaccionen unos con otros, con el riesgo de producción de compuestos solubles.

Puntos a tener en cuenta en la línea de la argumentación anterior:

- Los residuos que contengan metales pesados deberán verterse conjuntamente con hidróxidos, ya que un pH alto disminuye su solubilidad, mientras que un pH bajo la incrementa de modo considerable.
- Deberá ser evitado el vertido conjunto de residuos orgánicos con residuos de compuestos oxidantes a fin de evitar las reacciones potenciales entre los mismos.
- La zona donde se viertan residuos que contengan metales pesados deberá cubrirse con materiales que contengan cal, carbonatos y sulfatos, a fin de provocar su retención y asegurar la inmovilidad de los hidróxidos y sales de los metales pesados.
- La zona que reciba residuos que contengan compuestos inorgánicos solubles en agua, tales como permangatos, cromatos y dicromatos necesitará una cubierta reductora y un medio básico precipitante.
- Por otro lado, la disposición de las diferentes capas de residuos, junto con la utilización de materiales de cubrición intermedia juega un papel clave en la inmovilización de los residuos a largo plazo.

En general, se pueden distinguir entre los siguientes tipos de residuos para un esquema genérico de segregación:

- Orgánicos
- Inorgánicos de carácter básico
- Inorgánicos de carácter ácido

- Inorgánicos con metales reactivos o lixiviables
- Inorgánicos poco reactivos con trazas de contaminantes

Para la disposición de las distintas zonas se tendrán en cuenta los siguientes criterios (se presenta a continuación una relación de mezclas no recomendables):

- Los residuos orgánicos aceptables se colocarán en una zona de nivel topográfico bajo, debido al alto potencial de sus lixiviados para incorporar metales.
- Los residuos que contienen metales reactivos se colocarán en la zona de nivel más alto, evitando su contacto con otros lixiviados.
- Los residuos de carácter básico se colocarán adyacentes y aguas debajo de la zona con residuos de metales reactivos, con el fin de inmovilizar, por precipitación, los metales incorporados en lixiviados.
- Los residuos ácidos se colocarán en la zona más baja de modo que estén separados de los residuos básicos por medio de los residuos orgánicos, evitando así las reacciones entre sus lixiviados.

## **9. Clausura y, en su caso, sellado del vertedero**

El diseño del sistema de clausura y, en su caso, sellado del vertedero responderá, entre otros, a los siguientes condicionantes:

- tipo de residuos almacenados en el vaso de vertido (biodegradabilidad, generación de gases esperable, tipo de compuestos tóxicos en el residuo, etc)
- condiciones de compactación de dichos residuos, es decir, asentamientos previstos
- climatología (precipitaciones anuales, etc)
- uso previsto, en su caso, para la zona ocupada por el vertedero
- barreras de impermeabilización dispuesta en el vertedero bajo la masa de residuos, existencia de una adecuada red de drenaje para recogida y tratamiento de lixiviados o no

La diversidad de factores que pueden condicionar el diseño de la fase de clausura del vertedero es tal que no puede prescribirse un sistema de clausura y/o sellado aplicable a todos los casos que pueden presentarse en la realidad

El proyecto de clausura y/o sellado de cada vertedero tomará en consideración los condicionantes mencionados anteriormente y propondrá la solución que:

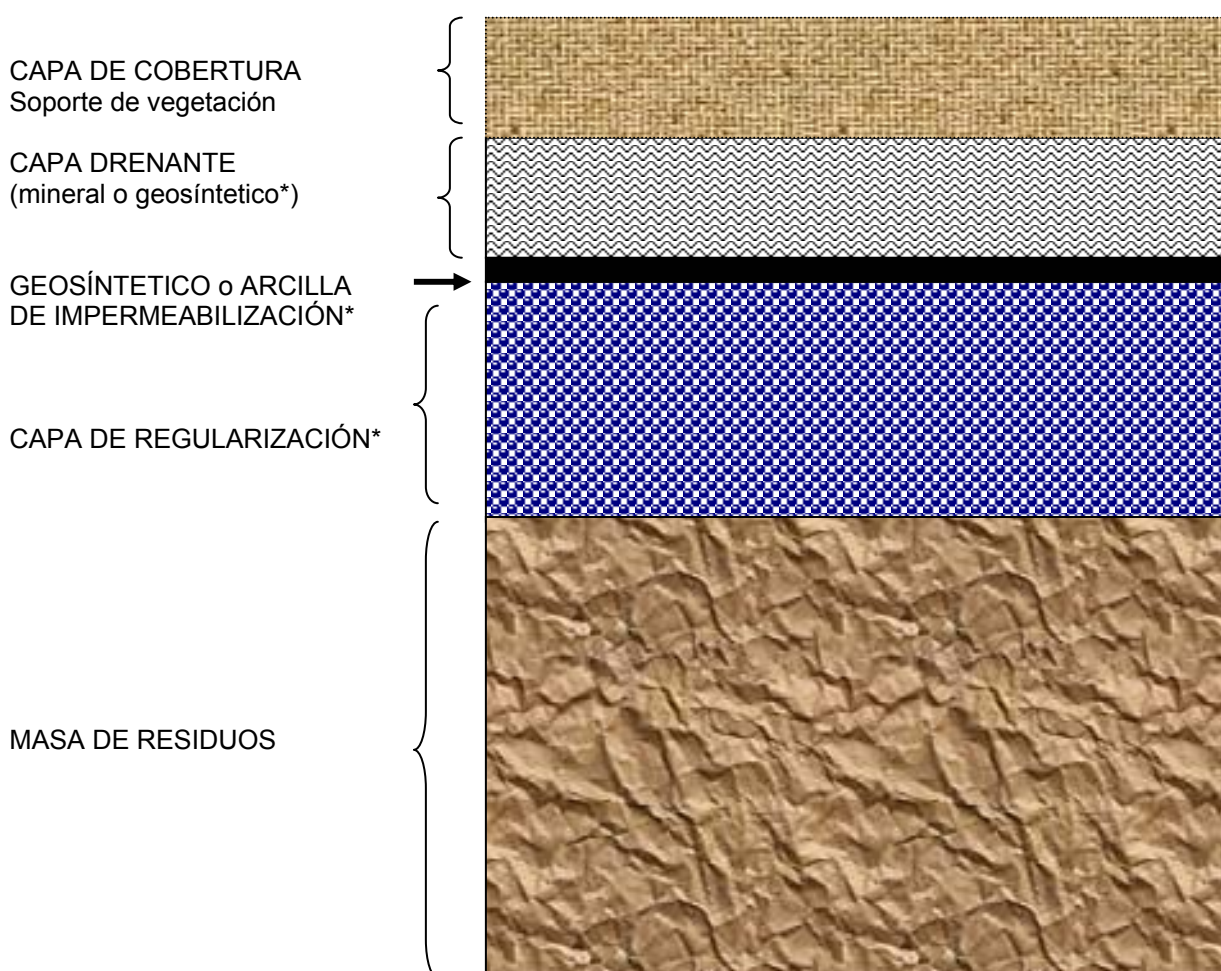
- a) minimice el período en que el vertedero representará un riesgo significativo para la salud de las personas o el medio ambiente
- b) induzca en la masa de residuos unas condiciones que favorezcan el desarrollo de los procesos físicos y/o químicos deseados (estabilización de contaminantes peligrosos, mineralización de materia orgánica, etc)
- c) evite que se produzcan efectos indeseables, como asentamientos, reacciones no deseadas en la masa de residuos, etc.

El proyecto de clausura y/o sellado del vertedero propondrá, además de la solución de diseño para el sistema de clausura, el proceso constructivo que garantice la integridad a medio y largo plazo del sistema (impermeabilidad, drenaje, asentamientos previstos, etc) y que se desarrollarán los procesos deseados en la masa de residuos.

No obstante lo anterior, se recogen a continuación una serie de recomendaciones para los sistemas de sellado en los casos más comunes que pueden presentarse.

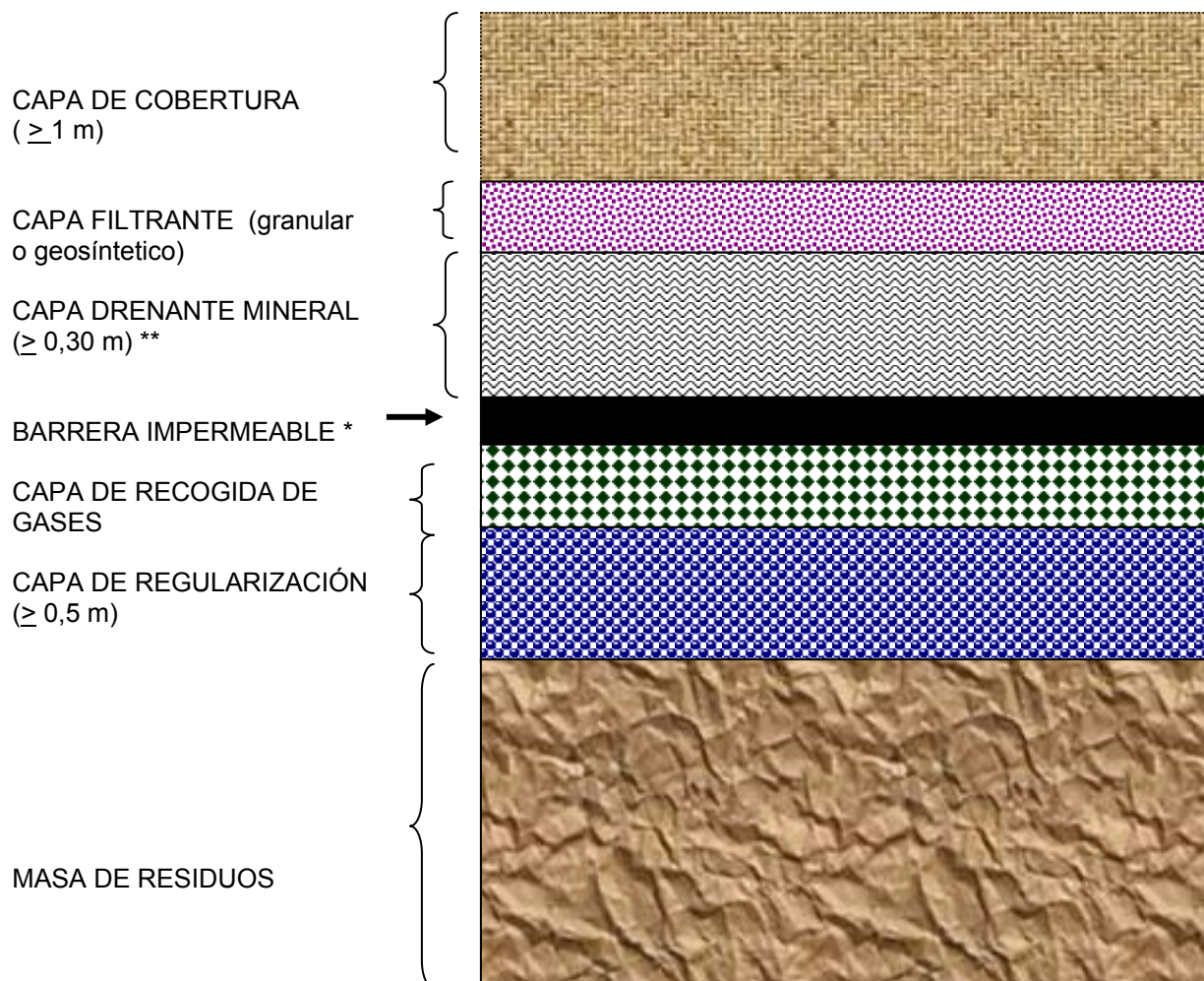
*Las prescripciones técnicas para las capas de impermeabilización, drenaje y filtro serán las recogidas en el apartado 5.*

Figura 9.1. Vertederos de residuos inertes que dispongan bajo la masa de residuos de las barreras de protección recogidas como Solución de Referencia en la sección 5



(\*) Las capas de regularización, de impermeabilización y de drenaje se colocarán en caso de que sean necesarias, a juicio de la autoridad competente para la autorización de la clausura del vertedero.

Figura 9.2. Vertederos de residuos no peligrosos con contenido significativo de M.O. biodegradable (>15% de residuos vertidos)



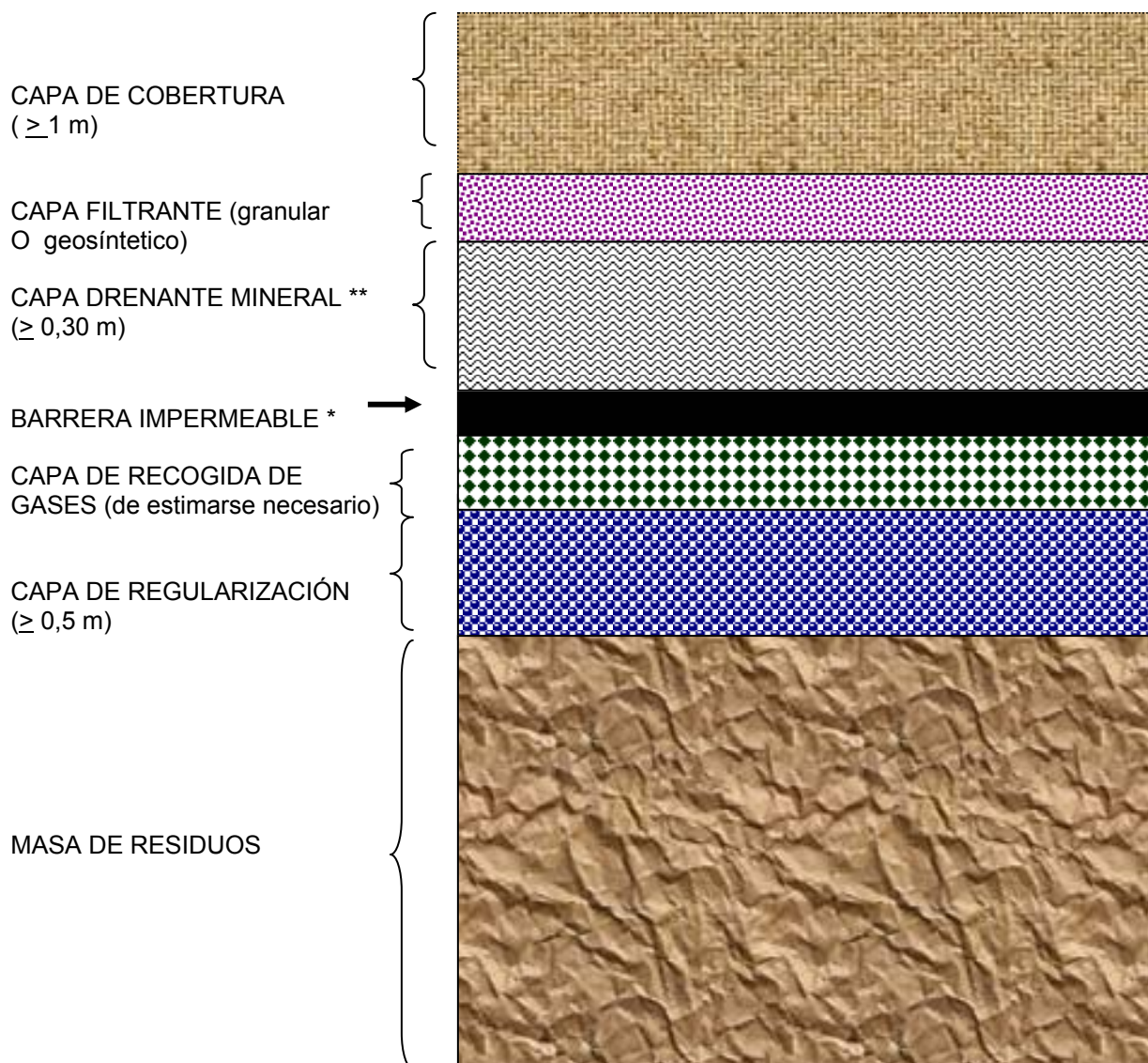
*(\*) Capa impermeable: si se plantea un uso posterior del espacio ocupado por el vertedero, mediante plantaciones o superficies no pavimentadas, la capa impermeable será mineral con un espesor mínimo de 50 cm y con  $K \leq 10^{-9}$  m/s.*

*Si se plantea un uso posterior del espacio ocupado por el vertedero clausurado mediante superficies pavimentadas, la capa impermeable podrá estar constituida exclusivamente por compuestos geosintéticos con geotextil de protección.*

*(\*\*) Capa de drenaje: será de material granular y de un espesor mínimo de 30 cm.*

*Dispondrá de un adecuado elemento de filtro sobre ella, formado por un geotextil o por una capa granular*

Figura 9.3. Vertederos de residuos no peligrosos con contenido no significativo de M.O. biodegradable ( $\leq 15\%$  de residuos vertidos)

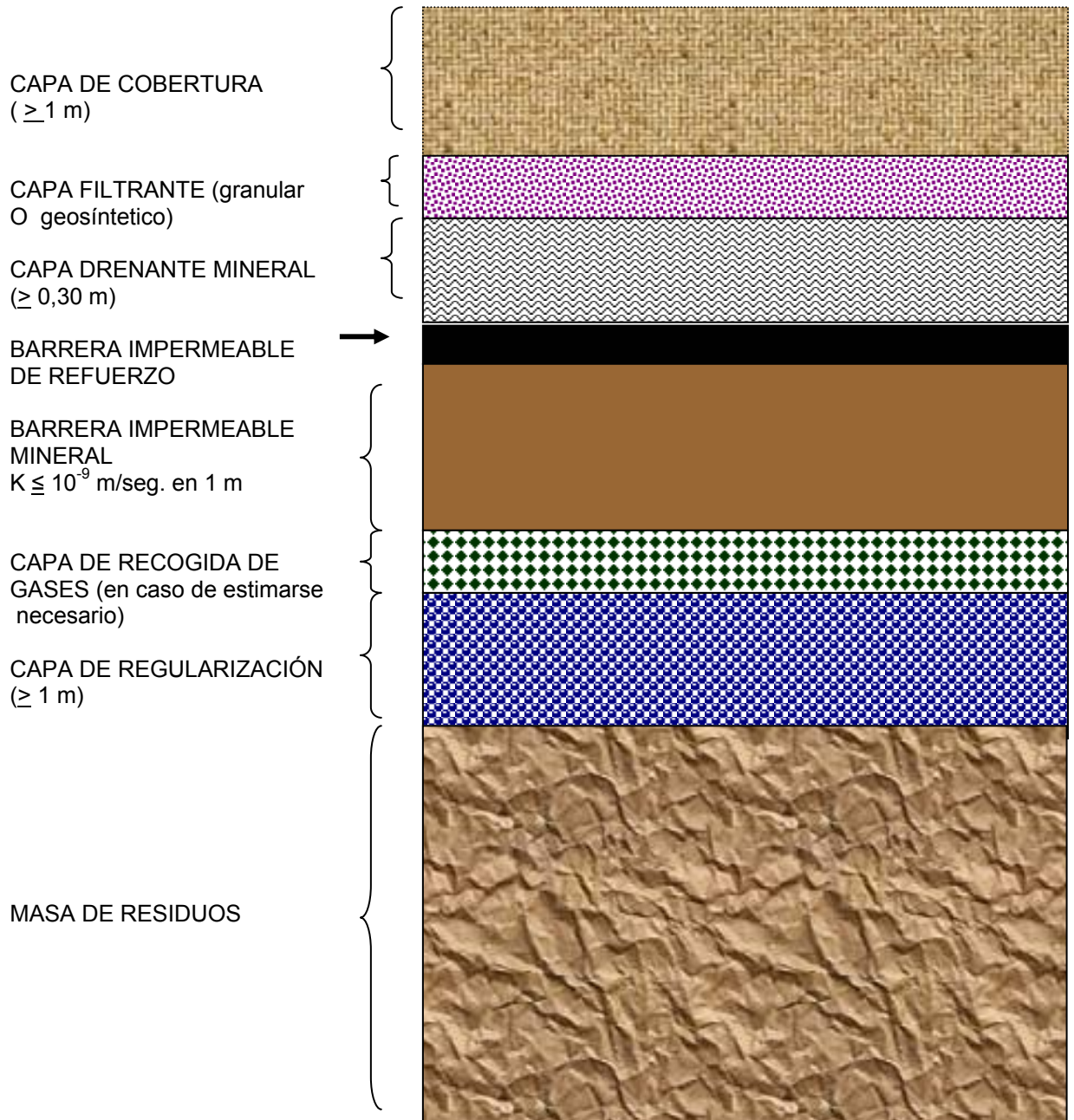


*(\*) Capa impermeable: podrán emplearse compuestos geosintéticos con geotextil protector si procede.*

*(\*\*) Capa de drenaje: será de material granular o de compuestos geosintéticos. Dispondrá de un adecuado elemento de filtro sobre ella, formado por un geotextil o por una capa granular.*

Figura 9.4. Vertederos de residuos peligrosos

*Cuando, de acuerdo con el proyecto de clausura del vertedero, la solución de confinamiento total de la masa de residuos sea la mejor opción, se recomienda la siguiente secuencia de capas de sellado*



## 10. Control de gases

Todos aquellos vertederos que reciban residuos biodegradables, en un porcentaje significativo (por ejemplo más del 15 % de los residuos vertidos) o que emitan gases en una cantidad significativa dispondrán de un sistema de recogida de gases, tratamiento y aprovechamiento. Si no se puede aprovechar se quemará. Se minimizarán los potenciales impactos de esta operación. En el diseño de la cobertura se justificará que el sistema de control garantiza la adecuada protección, no provocando levantamientos ni inestabilidades en el sellado.

Se evitará la acumulación de gases mediante los pertinentes puntos de evacuación durante la explotación del vertedero y fase postclausura.

El sistema de cobertura para extracción de gases se podrá potenciar mediante una red activa de pozos de captación de gas que garantice su total eliminación.

En este caso será imprescindible el análisis de la situación una vez se pare la explotación de la red de pozos, de modo que se garantice que no se producirán levantamientos en la cobertura por acumulación de gases remanentes o generados con posterioridad, o bien de inestabilidad en los taludes. Se puede plantear un sistema mixto debidamente aislado, en el que una vez explotada la red de pozos exista una capa de drenaje de gases que evite el efecto descrito.

Su espesor mínimo, de emplear una capa de gravas, será 0,3 m, y será de tipo no calizo. Su capacidad será suficiente para garantizar la captación de los gases.

Siempre y cuando los gases evacuados puedan representar un impacto significativo para las personas o el medio, la entidad explotadora del vertedero gestionará los gases evacuados.

Para controlar las emisiones de gas, se deberán seguir los siguientes criterios de diseño:

- Sistema flexible y adaptable a las variaciones en la tasa de producción de gas, a las modificaciones en los modelos de funcionamiento, a las variaciones de la composición química del gas y a una amplia variedad de posibilidades operacionales y ambientales.
- Los sistemas de control deberán diseñarse con un 100% de capacidad para apagar los incendios potenciales.
- Deberán incorporarse controles eficaces de combustión para prevenir igniciones accidentales en las chimeneas de salida de gases.

- Las tuberías incorporarán sistemas corta – apaga llamas para evitar incendios fuera del punto de combustión.
- Se dispondrá de un sistema de control continuo o periódico del contenido de O<sub>2</sub> y de CH<sub>4</sub> para detectar mezclas explosivas (O<sub>2</sub> entre el 5 y 14%) y poder actuar con antelación.
- Las unidades de combustión deberían equiparse con sistemas de ignición automática y de alarmas.
- Las conducciones principales deberán tener el 3% de pendiente mínima, después del asentamiento.

Para el diseño del sistema de control de gas del vertedero se deberá:

- Proceder a un sellado efectivo de las zonas de producción y gestión de gas.
- Manejar la tasa más alta de flujo de gas prevista para el vertedero.
- Estimar la variabilidad en la generación de gas, composición y otros factores.
- Extender tanto como pudiera necesitarse los colectores de gas, pensando en futuras celdas.

El diseño de los quemadores de gas de un vertedero tipo recogerá, entre otros los siguientes aspectos:

- Indicador y registrador de temperatura  
Mide y registra la temperatura del gas en la chimenea del quemador que mientras esté en funcionamiento mantendrá una temperatura de 850°C o superior, 2 s después de pasar a través del quemador.
- Sistema de arranque del piloto automático
- Funcionamiento automático del sistema
- Sistema de alarma y aislamiento ante fallos del sistema: Aísla el quemador del suministro de gas, desactiva el ventilador y alerta al responsable.
- Rejillas de aire para la combustión controladas automáticamente.
- Equilibrio de la cantidad de aire de combustión y de la temperatura de la llama.
- Ventanillas de muestreo e inspección.
- Supervisión de la combustión, temperatura y muestreo de las emisiones atmosféricas.
- Pantallas de protección: Para el viento o para proteger las operaciones de muestreo e inspección.

El control del movimiento de los gases del vertedero tiene como objeto reducir las emisiones atmosféricas, minimizar la salida de emisiones olorosas, minimizar la migración subsuperficial del gas y facilitar la recuperación de

energía a través de metano. Se distinguen entre sistemas de control pasivos y activos:

- Sistema de control activo:

- La recuperación de gas deberá hacerse por pozos perforados de al menos 0.5 m de diámetro. De modo justificado se podrán emplear diámetros menores.
- El revestimiento de los pozos de extracción y colectores laterales deberán ser de PVC, HDPE o acero inoxidable.
- Sistemas de combustión equipados con controladores de llama para la prevención de igniciones accidentales en el sistema de conducción y descarga de las chimeneas.
- Se equiparán las unidades de combustión con sistemas y alarmas de ignición automática.
- En los lugares con alto riesgo de migración de gas, se instalarán sistemas de alarma con capacidad de comunicación telefónica permanente con los centros de auxilio.
- El diseño del ámbito de actividad de cada uno de los pozos de extracción debe asegurar que el 100% del área susceptible de contener gas está cubierta.

- Sistema de control pasivo

- La migración lateral de los gases del vertedero se reduce rebajando la presión del gas en su interior, mediante la instalación de chimeneas a través de la cobertura final.
- La combinación adecuada de las coberteras de protección, constituidas por la geomembrana y las barreras naturales, optimiza el control de las emanaciones de gas y su recuperación, así como reduce la intromisión de aire en cada pozo.
- En el global de las instalaciones, excluidas las de control de gas y las del sistema de recuperación, la concentración de metano no excederá los límites admitidos por la autoridad competente.
- La mezcla de gases recuperables no contendrá más de un 5% de O<sub>2</sub> en volumen para no tener mezclas explosivas.

## **11. Molestias y riesgos**

Se tomarán las medidas necesarias para reducir al mínimo inevitable las molestias y riesgos procedentes del vertedero debido a: emisión de olores y polvo, materiales transportados por el viento, ruido y tráfico, aves, parásitos e insectos, formación de aerosoles, incendios.

El vertedero deberá estar equipado para evitar que la suciedad originada en la instalación se disperse en la vía pública y en las tierras circundantes.

## **12. Estabilidad e integridad de la masa de residuos y de las capas de impermeabilización.**

El conjunto formado por el terreno y vertedero será una estructura estable e íntegra a lo largo del tiempo, que garantizará la estabilidad de la masa de residuos. Del mismo modo los asentamientos previstos, tanto en la capa de impermeabilización como en el sellado, se comprobará necesariamente que serán compatibles con su integridad, función impermeable y drenante, sobre todo cuando el terreno de apoyo sea muy deformable y en el caso de vertederos de RSU con un alto contenido orgánico, que provocará importantes asentamientos en el sellado.

Respecto a la estabilidad se efectuarán al menos las siguientes comprobaciones:

- Estabilidad del conjunto vertedero-terreno.
- Estabilidad interna de la masa de residuos.
- Estabilidad local de la capa de sellado por deslizamiento del contacto de los distintos elementos del sellado.
- Estabilidad del conjunto vertedero – impermeabilización de fondo, si procede, por deslizamiento entre distintos elementos de la capa impermeable.

Para estas comprobaciones se tendrán en cuenta los siguientes aspectos:

- Se evaluará la resistencia al corte de los residuos considerando su origen. De ser preciso se efectuarán ensayos a gran escala.
- Se considerará el ritmo de explotación, sobre todo en materiales impermeables, que puede generar presiones intersticiales que se introducirán en la evaluación.
- La resistencia al deslizamiento entre geosintéticos y geosintéticos-suelo empleada en el cálculo se comprobará de modo obligatorio, con un número suficiente de ensayos, con los geosintéticos específicos que se vayan a utilizar en la obra. Del mismo modo se efectuará la comprobación de la capacidad drenante de un geocompuesto de drenaje, en función de su nivel de carga en dirección perpendicular al plano de drenaje.
- Los parámetros resistentes del resto de materiales empleados en el cálculo estarán igualmente justificados a partir de los reconocimientos y ensayos pertinentes. Dado que el comportamiento tensodeformacional es muy diferente para los distintos materiales (residuos, geosintéticos, terreno) se justificarán los parámetros resistentes a emplear en función

de los niveles de deformación estimados, por lo que se podrán emplear distintos parámetros dependiendo del cálculo efectuado.

Los coeficientes de seguridad mínimos recomendados, en función de las consecuencias de una potencial inestabilidad y en situación estática son los siguientes:

RIESGO	TIPO DE VERTEDERO		
	INERTE	NO PELIGROSO	PELIGROSO
BAJO	1.3	1.4	1.5
MEDIO	1.4	1.5	1.6
ALTO	1.5	1.6	1.8

Las situaciones de bajo riesgo son aquéllas en las que una potencial inestabilidad provocaría exclusivamente daños materiales sin consecuencias significativas ambientales ni para la seguridad de las personas.

Por riesgo medio se entiende la situación de un vertedero cuya inestabilidad provocaría daños significativos para el medio ambiente pero no para la seguridad de las personas.

Las situaciones de alto riesgo son aquéllas en las que se pueden provocar daños a personas o bien impactos ambientales severos o irreversibles.

En situación dinámica, cuando de acuerdo con el apartado 2 (limitaciones), sea necesario un análisis de sismicidad, el coeficiente de seguridad será como mínimo de 1.2 en vertederos de residuos inertes, 1.3 en vertederos de residuos no peligrosos y 1,4 en vertederos de residuos peligrosos.

Se considerará en los cálculos de estabilidad la hipótesis de obturación de los drenajes. En dicha situación se estimará la posición del nivel de lixiviados y se calculará la estabilidad. Se admitirá una reducción de 0.10 en el coeficiente de seguridad sobre los valores especificados. Esta misma reducción se podrá adoptar durante el proceso de explotación del vertedero.

### **13. Cerramientos**

El vertedero deberá disponer de medidas de seguridad que impidan el libre acceso al emplazamiento. Las entradas estarán cerradas fuera de las horas de servicio. El sistema de control y acceso de cada instalación deberá incluir un programa de medidas para detectar disuadir el vertido ilegal en el emplazamiento.

## **Desarrollo del Anexo III; Procedimientos de control y vigilancia en las fases de explotación y mantenimiento posterior**

El presente Anexo especifica los requisitos mínimos que deben cumplir los procedimientos de los planes de vigilancia y control en la fase de explotación y en la fase de mantenimiento posterior a la clausura, con el objetivo último de comprobar que los residuos han sido admitidos para su eliminación de acuerdo con los criterios fijados para la clase de vertedero de que se trate; los procesos dentro del vertedero se producen en la forma deseada; los sistemas de protección del medio ambiente funcionan plenamente como se pretende y, en general, cumplen las condiciones de la autorización del vertedero.

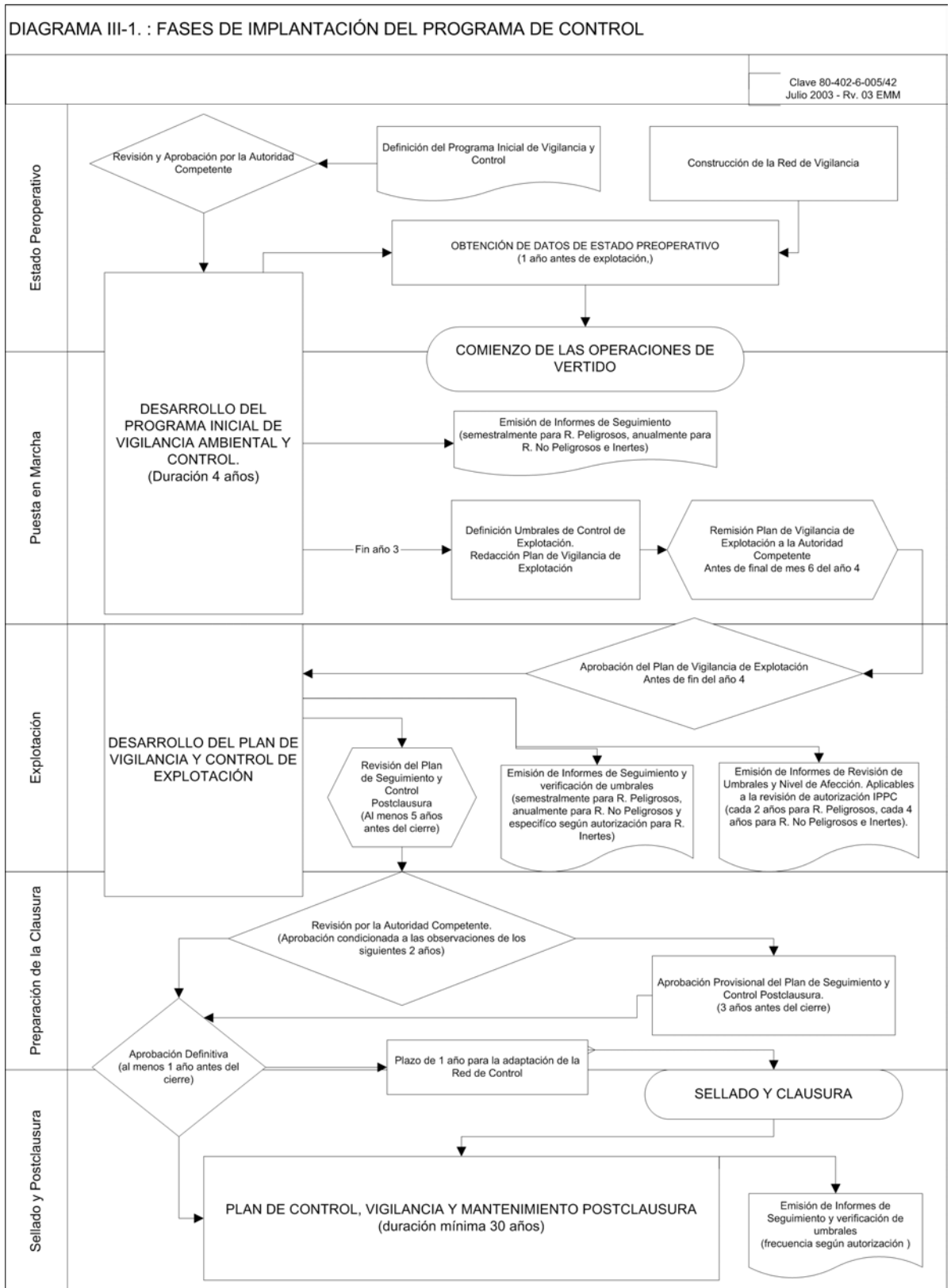
### **1. Fases de implantación del Plan de Vigilancia y Control del Vertedero**

Las fases de aplicación del Plan de Vigilancia y Control del Vertedero serán:

- Construcción de la Red de Vigilancia.
- Obtención de Datos Preoperativos
- Programa Inicial de Vigilancia y Control
- Plan de Vigilancia y Control de Explotación
- Plan de Control, Vigilancia y Mantenimiento Posterior.

La caracterización del estado inicial o preoperacional deberá cumplir la condición de determinar la composición de aguas subterráneas y nivel freático en al menos tres puntos por cada unidad hidrogeológica que pudiera ser afectado por la instalación, la composición de las aguas superficiales pertenecientes a cauces (en al menos dos puntos por cauce) y en las masas de aguas o humedales (al menos un punto por elemento)

A título indicativo, las fases del Plan de Vigilancia y Control del vertedero serán las reflejadas en el Diagrama III-1.



El Programa Inicial de Vigilancia y Control incluirá como mínimo:

- Control del sistema de evacuación aguas pluviales y lixiviados
- Localización de los puntos de toma de muestras de lixiviados y aguas superficiales
- Definición de los puntos de control de gases
- Diseño de la red de piezómetros de control
- Metodología utilizada para el seguimiento de la formación y estructura del vaso
- Inspección visual de la zonas de vertido y distintas instalaciones
- Definición de los elementos utilizados para el control de asientos y movimientos
- Especificación de la frecuencia de muestreo particular del vertedero
- Umbrales Provisionales de Control y Actuación.

En esta fase se realizará, por cada unidad hidrogeológica afectada por el vertedero, la medida de niveles y la determinación analítica al menos en tres puntos de aguas subterráneas y en dos puntos de aguas superficiales. El alcance analítico incluirá la determinación detallada de parámetros, como mínimo en un punto de aguas superficiales y en un punto de aguas subterráneas.

## **2. Requisitos de la red de vigilancia y control.**

Para la aplicación de los Planes de Vigilancia y Control la instalación dispondrá de una Red de Control que permitirá obtener como mínimo los siguientes datos: meteorológicos; de emisión de aguas, lixiviados y gases; de las aguas subterráneas y de la topografía de la zona de vertido.

### **- Datos meteorológicos.**

Las autoridades competentes fijarán como deben recopilarse los datos meteorológicos en la zona de cada vertedero.

Para la obtención de dicha información la autoridad competente podrá dar como válidos la recopilación de datos meteorológicos de estaciones de organismos oficiales cuando:

- Las estaciones de referencia correspondientes al ámbito regional del vertedero puedan suministrar los datos necesarios para el balance.
- Se podrá emplear los datos de una única estación cuando, siendo esta la más próxima, se justifique convenientemente que el vertedero se encuentra dentro del ámbito de estudio de la misma,

bajo condiciones geográficas semejantes (respecto a altitud y latitud), no existan accidentes relevantes del terreno que puedan dar lugar a comportamientos climáticos diferenciados y la estación disponga de un registro de datos de duración (en años) suficientemente representativo de acuerdo a los criterios del Instituto Nacional de Meteorología.

- En los demás casos se ponderarán los datos convenientemente a partir de los obtenidos de las tres estaciones más próximas que representen un comportamiento climático semejante al de la situación del vertedero y formen un triángulo en el que quede inscrito el mismo.

La autoridad competente podrá dar como válidos la recopilación de datos meteorológicos a partir de estaciones de medida instaladas en el vertedero cuando las mismas presenten capacidad de realizar registros automáticos independientemente de la presencia de personal de servicio en las instalaciones. La Entidad Explotadora deberá aportar la documentación justificativa relativa a la homologación y estandarización de los equipos de toma de datos instalados. Además el explotador deberá redactar y cumplir obligatoriamente un plan de calibración y mantenimiento de los sensores meteorológicos durante toda su vida útil.

En el caso de considerarlo necesario para el establecimiento del balance hidrológico del vertedero, las autoridades competentes establecerán la obligatoriedad de recopilación de los datos meteorológicos en función de las frecuencias indicadas en los cuadros 3.1, 3.2 y 3.3.

- **Datos de emisión: aguas superficiales y lixiviados.**

Deberán recogerse muestras de lixiviados y aguas superficiales, si las hay, en puntos representativos.

La red de muestreo de Aguas Superficiales considerará cada uno de los cauces que drenen el vaso de vertido, las masas de aguas situadas en un ámbito de 1.000 m y puntos de descarga de la red de desvío de pluviales.

Se establecerán un mínimo de dos puntos de toma de muestras (uno aguas arriba de la instalación y otro aguas abajo) en el caso de las aguas superficiales asociadas a cauces; un punto para las masas de agua independientes situadas aguas abajo y un punto de toma de muestras en el último punto de descarga de cada tramo independiente de la red de desvío de pluviales.

La red de control de lixiviados deberá incluir dos puntos de control del nivel de lixiviados y muestreo en la masa del apilado de residuos y un

punto de control de lixiviados por cada celda diferenciada en los casos especificados en el siguiente Cuadro 2.1.

Cuadro 2.1

<ul style="list-style-type: none"><li>• Vertederos con capacidad de gestión superior a 50.000 Tn/año</li><li>• Vertederos que supongan la formación de una masa de apilado de altura igual o mayor de 24 m</li><li>• Vertederos que presenten un talud frontal general con pendiente igual o superior a 2H : 1V</li><li>• Vertederos en los que la evacuación de lixiviados requiera de medios mecánicos o no pueda realizarse por gravedad</li><li>• Vertederos con almacenamiento de sustancias biodegradables</li><li>• Vertederos en los que la calificación de riesgos haya resultado con una valoración<sup>3</sup> de media o alta.</li><li>• Vertederos de residuos peligrosos susceptibles de reaccionar entre si o entre sus lixiviados</li></ul>
---

Las balsas superficiales de almacenamiento de lixiviados podrán ser utilizadas como puntos de muestreo en el caso de que dispongan de sistemas para la prevención de los cambios de composición por pérdida o entrada de aguas o líquidos.

Las instalaciones con tratamiento de lixiviados deberán disponer de puntos de control de la cantidad y calidad de los lixiviados a la entrada y la salida de la unidad de tratamiento.

Los vertederos que dispongan de celdas que contengan sustancias con capacidad de reaccionar entre si o entre sus lixiviados, dispondrán de un punto de control en cada una de las celdas, así como en la zona de separación entre dos celdas contiguas situadas aguas abajo en la dirección del flujo de una potencial fuga.

La frecuencia de la toma de muestras y análisis de aguas y lixiviados serán las especificadas en los cuadros 3.1, 3.2 y 3.3 para la Fase de explotación<sup>4</sup> y la Fase de mantenimiento posterior<sup>5</sup>.

---

<sup>3</sup> De acuerdo a las definiciones establecidas en el apartado 12 del Anexo 1.

<sup>4</sup> La frecuencia de toma de muestras podrá adaptarse si la evaluación de los datos indica que mayores intervalos son igualmente efectivos mediante permiso justificado emitido por la Autoridad competente. Para los lixiviados, siempre se deberá medir la conductividad como mínimo una vez al año. También podrá adaptarse en función de las características particulares del vertedero (composición, morfología del vertedero –en túmulo, enterrado, etc- , sistema de tratamiento de gases, etc) mediante permiso justificado emitido por la Autoridad competente. Las mediciones tendrán en cuenta el contenido en materia orgánica del residuo.

<sup>5</sup> En el caso de los lixiviados, los parámetros que deban medirse y las sustancias que deban analizarse variarán conforme a la composición de los residuos depositados; deberán indicarse en el documento de autorización y reflejar las características del lixiviado de los residuos. Los controles sobre el volumen y la composición de los lixiviados se aplicarán sólo cuando tenga lugar la recogida de los lixiviados (ver apartado 6 del Anexo I). En el caso de las aguas superficiales, sobre la base de las características del emplazamiento del vertedero, las Comunidades Autónomas podrán determinar que dichas mediciones no son necesarias, e informaran de ello al Ministerio de Medio Ambiente.

Las tomas de muestras y medición (volumen y composición) del lixiviado deberán realizarse por separado en cada punto en que se descargue el lixiviado de la instalación según norma UNE-EN 25667:1995, sobre "Calidad del agua. Muestreo. Parte 2: guía para las técnicas de muestreo (ISO 5667-2: 1991)".

Para el control de aguas y lixiviados se tomarán las precauciones necesarias para que las muestras sean representativas de la composición media.

- **Datos de emisión: gases.**

En los Puntos de Toma de Muestras de Gases de los vertederos en los que se depositen residuos biodegradables, los compuestos objeto de control serán<sup>6</sup>: CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S y H<sub>2</sub>, etc. En los vertederos con capacidad de liberación de gases distintos de los de biodegradación, y en especial en los vertederos de residuos peligrosos, la autorización (en sus apartados relativos al Plan de Vigilancia y Control) deberá indicar específicamente, en función de la composición de los residuos a gestionar; los parámetros y frecuencias objeto de control.

El control de gases deberá ser representativo de cada sección del vertedero. En aquellos vertederos en los que no se proceda al aprovechamiento energético de los gases, su control se realizará en los puntos de emisión o quema de dichos gases.

La frecuencia de la toma de muestras y análisis de emisiones potenciales de gases serán las especificadas en los cuadros 3.1, 3.2 y 3.3 para la Fase de explotación<sup>7</sup> y la Fase de mantenimiento posterior<sup>8</sup> en la que también se comprobará periódicamente la eficacia del sistema de extracción y tratamiento de gases.

Aquellos vertederos cuya morfología implique el apoyo lateral del vaso contra el terreno (en valle, en ladera o enterrado) y que gestionen residuos no peligrosos biodegradables o peligrosos con capacidad de liberación de gases, deberán contar con un sistema de control de la zona no saturada del terreno con el objeto de vigilar la migración de gases.

---

<sup>6</sup> Estas mediciones se refieren principalmente al contenido de materia orgánica en el residuos. En el caso de los vertederos de residuos peligrosos también se tendrán en cuenta los compuestos volátiles y semivolátiles.

<sup>7</sup> La frecuencia de toma de muestras podrá adaptarse si la evaluación de los datos indica que mayores intervalos son igualmente efectivos mediante permiso justificado emitido por la Autoridad competente. En vertederos de residuos orgánicos esta frecuencia se mantendrá para CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub>; para otros gases la Autoridad competente podrá establecer frecuencias y listas de comprobación distintas en función de la composición de los residuos depositados y para reflejar la composición de los mismos.

<sup>8</sup> La frecuencia de toma de muestras podrá adaptarse en función de las características particulares del vertedero (composición, morfología del vertedero –en túmulo, enterrado, etc-, sistema de tratamiento de gases, etc) mediante permiso justificado emitido por la Autoridad competente.

Por cada uno de los taludes de apoyo contra el terreno se dispondrá de un mínimo de dos puntos de control si se cumple la condición de barrera geológica natural para el tipo de residuo considerado, y de un mínimo de tres puntos de control si no cumple la condición de barrera geológica natural.

- **Protección de las aguas subterráneas.**

La instalación estará dotada de un sistema permanente de piezómetros de control que permitan la supervisión del nivel de las aguas subterráneas y la toma de muestras para la determinación analítica de su composición. La estructura y posición de los piezómetros se justificará ante la Autoridad Competente en función de la estructura hidrogeológica y del modelo conceptual del flujo hidrogeológico. En ningún caso el número de piezómetros de control de la instalación será inferior a tres por cada uno de los sistemas hidrogeológicos independientes identificados.

Se podrán utilizar puntos de control de aguas subterráneas preexistentes cuando así lo autorice la Autoridad Competente dentro del Plan de Control, y siempre que garanticen condiciones de control y aislamiento equivalentes o superiores a las expresadas más adelante sobre las características de los mismos.

Las mediciones para controlar la posible afección del vertido de residuos a las aguas subterráneas se realizarán en, al menos, un punto de control situado aguas arriba del vertedero en la dirección del flujo de aguas subterráneas entrante (en la unidad hidrogeológica objeto de control) y en, al menos dos puntos situados aguas abajo del vertedero en la dirección del flujo saliente. Al menos uno de los puntos situados aguas abajo se localizará en la zona que el modelo conceptual identifique como el punto de salida de posición piezométrica más baja ocupada por la instalación de vertido y dentro del ámbito de la isócrona correspondiente a los 30 años establecida por el modelo conceptual de flujo. En caso de la presencia de más de una región de salida se ubicará un punto de control por cada punto de salida. El número de puntos de control podrá aumentarse sobre la base de los resultados del reconocimiento hidrogeológico específico y teniendo en cuenta la necesidad de la detección rápida de cualquier vertido accidental (en su caso) de lixiviados en las aguas subterráneas.

Cuando la superficie de zona de vertido sea superior a 3 Ha y se cumpla alguna de las condiciones indicadas seguidamente, se incrementará el número mínimo de piezómetros de control (hasta alcanzar un valor mínimo de seis). Las condiciones mencionadas son:

- Que se trate de un vertedero donde no se cumpla la presencia de barrera geológica natural.
- Que se trate de un vertedero de Residuos No Peligrosos de capacidad superior a 50.000 Toneladas de residuos anuales.
- Que se trate de un vertedero de Residuos Peligrosos.

Para cualquier tipo de vertedero, el número de piezómetros de control, por cada sistema hidrogeológico independiente, se tendrá que incrementar en un piezómetro adicional por cada 1,5 Ha o fracción en que la extensión de la zona de vertido supere la superficie de 3 Ha.

Los piezómetros estarán dotados de un sistema de cierre y protección de su parte superior para prevenir la entrada de aguas pluviales o líquidos desde superficie. Se ejecutarán en materiales de suficiente durabilidad disponiendo de una zona filtrante (protegida por una zona anular de material granular de naturaleza silíceo) para muestreo y control. En posición superior a la zona filtrante, el piezómetro se protegerá hasta la zona superficial mediante revestimiento ciego y un anular sellado con material impermeable en una longitud no inferior a los 2 metros. Los piezómetros deberán profundizar un mínimo de 5 metros en la zona saturada y tener longitud suficiente para alcanzar la zona de nivel saturado, salvo autorización (en sentido distinto) por la Autoridad Competente bajo las siguientes premisas:

- En el caso de los vertederos en los que se verifique el cumplimiento de existencia de barrera geológica natural y en los que el nivel freático se sitúa a profundidades mayores de 50 m para Residuos Inertes y No Peligrosos, y de 100 m para vertederos de Residuos Peligrosos; los piezómetros se instalarán en la zona no saturada con función preventiva con una longitud mínima unitaria de 15 m para vertederos de residuos Inertes y No Peligrosos y de 25 m para residuos Peligrosos (ambas longitudes por debajo de la cota de fondo del vertedero).
- En el caso de vertederos en los que no haya garantía de existencia de barrera geológica natural por una diferencia en un orden de magnitud como máximo y existan evidencias razonables de que el nivel freático se sitúa a profundidades mayores de 100 m para Residuos Inertes y No Peligrosos, y de 150 m para Vertederos de Residuos Peligrosos; los piezómetros se instalarán en la zona no saturada con una función preventiva con una longitud mínima unitaria de 50 m para vertederos de Residuos Inertes y No Peligrosos y de 100 m para Residuos Peligrosos.

Antes de iniciar las operaciones de vertido se tomarán muestras, como mínimo en tres puntos, a fin de establecer valores de referencia para posteriores tomas de muestras.

La toma de muestras se realizará según Norma ISO 5667-11 (1993), sobre "Guías para el muestreo de aguas subterráneas".

Las frecuencias<sup>9</sup> y parámetros que habrán de analizarse comprenderá los indicados por los cuadros 3.1., 3.2. y 3.3.. Los parámetros objeto de análisis en las muestras tomadas deberán establecerse<sup>10</sup> en función de la composición prevista del lixiviado y de la calidad del agua subterránea en la zona. En la selección de parámetros se tendrá en cuenta la movilidad de las aguas subterráneas

- **Topografía de la zona: datos sobre el vaso de vertido.**

Los elementos de control de la estabilidad consistirán en un mínimo de 10 puntos de medida. Los vertederos que presenten taludes frontales de altura superior a 24 m o pendientes mayores de 2,5 H : 1V, deberán contar como mínimo con dos secciones de control (una en la zona de pie y otra en la zona de coronación) definidas como resultado de un estudio de estabilidad específico. Las características de los elementos de control consistirán en las siguientes:

- Secciones permanentes de instrumentación de asientos.
- Elementos de instrumentación de movimientos horizontales en masa de vertido.
- Puntos de Identificación e Inspección de indicadores externos de inestabilidad o rotura.

Las frecuencias de control considerarán las indicadas en los Cuadros 3.1, 3.2 y 3.3.

Los datos para la descripción del vertedero durante la explotación incluirán: superficie ocupada por residuos, peso (en Tn), volumen (en m<sup>3</sup>) y composición de los residuos, datos de peso (en Tn) y Volumen (en m<sup>3</sup>) de la capa de tierras de cobertura intermedia, método de depósito y explotación, tiempo y duración del depósito, y cálculo de la capacidad restante en el depósito

---

<sup>9</sup> Si existen fluctuaciones en los niveles de aguas subterráneas, deberá aumentarse la frecuencia. La frecuencia deberá basarse en la posibilidad de medidas correctoras entre dos tomas de muestras si se alcanza un nivel de intervención, es decir en función del conocimiento y evaluación de la velocidad de flujo de las aguas subterráneas. Cuando se alcancen niveles de intervención será preciso realizar una verificación mediante la repetición de la toma de muestras.

<sup>10</sup> En la selección de los parámetros a considerar se deberá atender a aquellos que actúen como indicadores de cambio de la calidad del agua y que además garanticen el pronto reconocimiento de dicho cambio de calidad (se recomienda incluir el pH, COT, fenoles, metales pesados, fluoruro, arsénico e hidrocarburos).

### 3. Operaciones de vigilancia y control

El Plan de Vigilancia y Control deberá comprender los aspectos y frecuencias indicados por los cuadros 3.1., 3.2. y 3.3. Estas condiciones podrán variar en el caso de que las condiciones particulares impuestas específicamente a cada instalación dentro del documento de autorización, de declaración de impacto ambiental, de aplicación de la Ley Prevención y Control Integrado de la Contaminación o de la legislación de las Comunidades Autónomas establezcan requisitos más estrictos.

El alcance analítico de aplicación al control de las aguas superficiales, subterráneas y lixiviados considerara tres niveles: Nivel de Indicadores básicos, Nivel simplificado y Nivel completo. En el caso de los vertederos de residuos peligrosos y no peligrosos para el cómputo de las frecuencias mínimas de control de analítico sólo se tendrán en cuenta las analíticas de los dos niveles más completos.

El Nivel de Indicadores básicos, consistirá en la determinación in situ mediante el empleo de equipos de campo adecuadamente verificados, calibrados y mantenidos. Los parámetros indicadores serán como mínimo: pH (para aguas y lixiviados), temperatura, conductividad, oxígeno disuelto, Eh, turbidez y nivel freático de las aguas subterráneas. Este control será de aplicación continua en la instalación para las aguas superficiales, subterráneas y lixiviados. Como mínimo se aplicarán las siguientes frecuencias de control:

TIPO	FRECUENCIA
Vertederos de Residuos Peligrosos	Semanal
Vertederos de Residuos No Peligrosos	Quincenal
Vertederos de Residuos Inertes	A establecer por la Autoridad competente

Los dos siguientes niveles (Nivel Simplificado y Nivel Detallado) constituirán la base de control analítico en laboratorio a partir de la toma de muestras de aguas superficiales, subterráneas y lixiviados. En el Nivel Simplificado los parámetros de control indicados en los cuadros 3.1., 3.2. y 3.3. serán objeto de determinación en laboratorio.

El nivel superior, Nivel Completo, también será objeto de determinación en laboratorio. Con respecto al alcance analítico de los controles de aguas (superficiales y subterráneas) y lixiviados se realizarán la determinación de los parámetros calidad a Nivel Completo con la periodicidad expresada en los cuadros 3.1., 3.2. y 3.3. en las instalaciones que dispongan de barrera geológica natural, y con el doble de esta frecuencia para aquellas instalaciones que no cumplan con la disponibilidad de barrera geológica natural.

Si la autoridad competente lo considera justificado los parámetros de control de los cuadros 3.1., 3.2. y 3.3. podrán adaptarse en función de la composición obtenida de los lixiviados, de la calidad natural preexistente del agua subterránea en la zona y de la movilidad de las mismas.

Durante las fases de estado preoperativo, puesta en marcha, explotación y postclausura se realizará la determinación de la calidad al Nivel Completo como mínimo en los siguientes puntos: una muestra de lixiviado, dos muestras (una aguas arriba y otra aguas abajo) de aguas superficiales si las hubiese y dos muestras de aguas subterráneas (aguas arriba y aguas abajo) para cada sistema hidrogeológico independiente.

El control de la composición de gases se realizará cuando las características del residuo determinen su potencial de generación.

Al finalizar la explotación se incorporarán al Plan de Control y Vigilancia Postclausura las tareas de los elementos integrantes del vertedero. Se revisarán los siguientes elementos:

- cunetas y bajantes
- red de control de lixiviados
- taludes
- presencia de erosiones
- grietas
- sellado superior
- plantaciones
- balsa de lixiviados
- sistema de tratamiento de lixiviados
- señalización
- cerramientos
- elementos de la red de vigilancia y control.

**CUADRO 3.1. Vertederos de Residuos Inertes.**

FACTOR	ACCIÓN	FRECUENCIA		FACTOR	COMPUESTO	ALCANCE ANALÍTICO	
		FASE EXPLOTACIÓN	FASE POSTCLAUSURA			Nivel Simplificado	Nivel Completo
Datos meteorológicos	Medida del Volumen de precipitación	Datos de valor medio diario	Datos de valor diario y estadísticos mensuales.	Alcance Analítico de la Determinación de la Calidad de aguas superficiales, subterráneas y lixiviados	pH	X	X
	Medida de Temperatura (mín., máx., 14:00h y HCE)	Datos del valor medio diario	Datos de las medias mensuales.		Temperatura		X
	Medida de Evaporación (lisímetro u otro medio adecuado)	Datos del valor medio diario	Datos del valor diario y estadísticos mensuales		Turbidez		
	Medida de Humedad atmosférica (14:00 h y HCE)	Datos del valor medio diario	Datos de las medias mensuales.		Oxígeno disuelto		
	Medida de Dirección y fuerza del viento dominante.	Datos del valor medio diario	No se exige.		Eh		
Controles de los datos de emisión: aguas superficiales y subterráneas	Frecuencia de Medida del caudal de aguas superficiales	Trimestral	Semestral		Conductividad	X	X
	Frecuencia de Cuantificación del Volumen de Lixiviados	Mensual	Semestral		DQO	X	X
	Frecuencia de Medida del Nivel de las Aguas subterráneas o Niveles Freáticos	Semestral	Semestral		DBO <sub>5</sub>		
	Frecuencia de Determinación de la composición de aguas superficiales, subterráneas y lixiviados. Nivel Simplificado	Trimestral	Semestral		COD	X	X
	Frecuencia de Determinación de la composición de aguas superficiales, subterráneas y lixiviados a Nivel Completo	Bianual	Cada cuatro años		TOC	X	X
					Alcalinidad y Dureza (como CaCO <sub>3</sub> )	X	X
Control de topografía de la zona. Datos sobre el vaso de vertido y asentamientos	Frecuencia de Control de Asientos y Subsidiencias	Semestral	Semestral		Carbonatos/bicarbonatos		
	Frecuencia de Movimientos horizontales de la masa de residuos	De acuerdo a la autorización	De acuerdo a la autorización		Calcio		
	Frecuencia de Reconocimientos e inspecciones de grietas, hundimientos y erosiones.	Mensual	Trimestral		Magnesio		
	Frecuencia de Levantamiento de la topografía, estructura y composición del vaso de vertido	Anual	- - -		Potasio		X
					Sodio		
					Sólidos Disueltos y Sólidos Sedimentables	X	X
					Cianuros		X
					Cloruros	X	X
					Fluoruros	X	X
					Nitratos y Nitritos		X
					Nitrógeno Kjeldahl Total		
					Amonio		X
					Sulfatos y Sulfuros	X	X
					Fósforo Total		X
					Arsénico	X	X
					Cadmio	X	X
					Cromo Total y VI	X	X
					Mercurio	X	X
					Plomo	X	X
				Aluminio			
				Bario	X	X	
				Berilio			
				Boro			
				Cobre	X	X	
				Hierro		X	
				Plata			
				Zinc	X	X	
				Talio			
			Teluro				
			Antimonio	X	X		
			Níquel	X	X		
			Selenio	X	X		
			Cobalto				
			Molibdeno	X	X		
			Vanadio				
			Coliformes totales				
			Coliformes fecales				
			Fenoles	X	X		
			Presencia de hidrocarburos y aceites.	X	X		
			Presencia de Orgánicos Volátiles y Semivolátiles.				
			Presencia de pesticidas y herbicidas				
			PCBs				

**CUADRO 3.2. Vertederos de Residuos No Peligrosos.**

FACTOR	ACCIÓN	FRECUENCIA		FACTOR	COMPUESTO	ALCANCE ANALÍTICO	
		FASE EXPLOTACIÓN	FASE POSTCLAUSURA			Nivel Simplificado	Nivel Completo
Datos meteorológicos	Medida del Volumen de precipitación	Datos de valor medio diario	Datos de valor diario y estadísticos mensuales.	Alcance Analítico de la Determinación de la Calidad de aguas superficiales, subterráneas y lixiviados	pH	X	X
	Medida de Temperatura (min., máx., 14:00h y HCE)	Datos del valor medio diario	Datos de las medias mensuales.		Temperatura		X
	Medida de Evaporación (lisímetro u otro medio adecuado)	Datos del valor medio diario	Datos del valor diario y estadísticos mensuales		Turbidez		
	Medida de Humedad atmosférica (14:00 h y HCE)	Datos del valor medio diario	Datos de las medias mensuales.		Oxígeno disuelto		
	Medida de Dirección y fuerza del viento dominante.	Datos del valor medio diario	No se exige.		Eh		
Controles de los datos de emisión: aguas superficiales y lixiviados. Controles de la Protección de las aguas subterráneas	Frecuencia de Medida del caudal de aguas superficiales	Trimestral	Semestral		Conductividad	X	X
	Frecuencia de Cuantificación del Volumen de Lixiviados	Mensual	Semestral		DQO	X	X
	Frecuencia de Medida del Nivel de las Aguas subterráneas o Niveles Freáticos	Trimestral	Semestral		DBO <sub>5</sub>	X	X
	Frecuencia de Determinación de la composición de aguas superficiales, subterráneas y lixiviados. Nivel Simplificado	Trimestral	Semestral		COD	X	X
	Frecuencia de Determinación de la composición de aguas superficiales, subterráneas y lixiviados a Nivel Completo	Anual	Bianual		TOC	X	X
Control de los Datos de emisión: gases	Frecuencia de Determinación de la composición para Residuos No Peligrosos biodegradables	Mensual	Semestral		Alcalinidad y Dureza (como CaCO <sub>3</sub> )	X	X
	Frecuencia de Determinación de la composición para otros Residuos No Peligrosos con capacidad de liberación de gases	La justificada en la autorización	La justificada en la autorización		Carbonatos/bicarbonatos		X
					Calcio		X
					Magnesio		X
					Potasio	X	X
					Sodio		X
					Sólidos Disueltos y Sólidos Sedimentables	X	X
					Cianuros	X	X
					Cloruros	X	X
					Fluoruros	X	X
					Nitratos y Nitritos	X	X
					Nitrógeno Kjeldahl Total	X	X
					Amonio	X	X
					Sulfatos y Sulfuros	X	X
					Fósforo Total	X	X
				Arsénico	X	X	
				Cadmio	X	X	
				Cromo Total y VI	X	X	
				Mercurio	X	X	
				Plomo	X	X	
				Aluminio		X	
				Bario	X	X	
				Berilio			
				Boro			
				Cobre	X	X	
				Hierro		X	
				Plata		X	
				Zinc	X	X	
				Talio			
				Teluro			

FACTOR	ACCIÓN	FRECUENCIA		FACTOR	COMPUESTO	ALCANCE ANALÍTICO	
		FASE EXPLOTACIÓN	FASE POSTCLAUSURA			Nivel Simplificado	Nivel Completo
Control de topografía de la zona. Datos sobre el vaso de vertido y asentamientos	Control de Asientos y Subsidiencias	Trimestral	Semestral		Antimonio	X	X
	Movimientos horizontales en el caso de R. No Biodegradables	Semestral	Semestral		Níquel	X	X
	Movimientos horizontales en el caso de R. Biodegradables	Trimestral	Semestral		Selenio	X	X
	Reconocimientos e inspecciones de grietas, hundimientos y erosiones en el caso de R. No Biodegradables.	Mensual	Trimestral		Cobalto		
	Reconocimientos e inspecciones de grietas, hundimientos y erosiones en el caso de R. Biodegradables.	Quincenal	Trimestral		Moibdeno	X	X
	Levantamiento de la topografía , estructura y composición del vaso de vertido en el caso de capacidad de gestión inferior a 50.000 Tn/año	Anual	---		Vanadio		
	Levantamiento de la topografía , estructura y composición del vaso de vertido en el caso de capacidad de gestión igual o superior a 50.000 Tn/año	Semestral	---		Coliformes totales	X	X
					Coliformes fecales	X	X
			Fenoles		X	X	
			Presencia de hidrocarburos y aceites.		X	X	
			Presencia de HPA			X	
			Presencia de Orgánicos Volátiles y Semivolátiles.			X	
			Presencia de pesticidas y herbicidas			X	
			BETX			X	
			PCBs	X	X		

**CUADRO 3.3. Vertederos de Residuos Peligrosos.**

FACTOR	ACCIÓN	FRECUENCIA		FACTOR	COMPUESTO	ALCANCE ANALÍTICO	
		FASE EXPLOTACIÓN	FASE POSTCLAUSURA			Nivel Simplificado	Nivel Completo
Datos meteorológicos	Medida del Volumen de precipitación	Datos de valor medio diario	Datos de valor diario y estadísticos mensuales.	Alcance Analítico de la Determinación de la Calidad de aguas superficiales, subterráneas y lixiviados	pH	X	X
	Medida de Temperatura (mín., máx., 14:00h y HCE)	Datos del valor medio diario	Datos de las medias mensuales.		Temperatura		
	Medida de Evaporación (lisímetro u otro medio adecuado)	Datos del valor medio diario	Datos del valor diario y estadísticos mensuales		Turbidez		
	Medida de Humedad atmosférica (14:00 h y HCE)	Datos del valor medio diario	Datos de las medias mensuales.		Oxígeno disuelto		
	Medida de Dirección y fuerza del viento dominante.	Datos del valor medio diario	No se exige.		Eh		
Controles de los datos de emisión: aguas superficiales y lixiviados. Controles de la Protección de las aguas subterráneas	Frecuencia de Medida del caudal de aguas superficiales	Mensual	Trimestral		Conductividad	X	X
	Frecuencia de Cuantificación del Volumen de Lixiviados	Mensual	Trimestral		DQO	X	X
	Frecuencia de Medida del Nivel de las Aguas subterráneas o Niveles Freáticos	Mensual	Trimestral		DBO <sub>5</sub>		X
	Frecuencia de Determinación de la composición de aguas superficiales, subterráneas y lixiviados. Nivel Simplificado	Mensual	Trimestral		COD	X	X
	Frecuencia de Determinación de la composición de aguas superficiales, subterráneas y lixiviados a Nivel Completo	Semestral	Anual		TOC	X	X
	Frecuencia de Determinación de la composición de los mismos para Residuos Peligrosos con capacidad de liberación de gases	Mensual	Trimestral		Alcalinidad y Dureza (como CaCO <sub>3</sub> )	X	X
Control de topografía de la zona. Datos sobre el vaso de vertido y asentamientos	Frecuencia de Control de Asientos y Subsidiencias	Trimestral	Semestral		Carbonatos/bicarbonatos		X
	Frecuencia de Movimientos horizontales de la masa de residuos	Trimestral	Semestral		Calcio		X
	Frecuencia de Reconocimientos e inspecciones de grietas, hundimientos y erosiones.	Quincenal	Trimestral		Magnesio		X
	Frecuencia de Levantamiento de la topografía, estructura y composición del vaso de vertido	Trimestral	---		Potasio	X	X
					Sodio		X
					Sólidos Disueltos y Sólidos Sedimentables	X	X
					Cianuros	X	X
					Cloruros	X	X
					Fluoruros	X	X
					Nitratos y Nitritos		X
					Nitrógeno Kjeldahl Total	X	X
					Amonio		X
					Sulfatos y Sulfuros	X	X
					Fósforo Total	X	X
					Arsénico	X	X
					Cadmio	X	X
					Cromo Total y VI	X	X
					Mercurio	X	X
					Plomo	X	X
					Aluminio		X
					Bario	X	X
					Berilio		X
					Boro		X
					Cobre	X	X
					Hierro		X
					Plata		X
					Zinc	X	X
					Talio		X
					Teluro		X
					Antimonio	X	X
					Níquel	X	X
					Selenio	X	X
					Cobalto		X
					Molibdeno	X	X
					Vanadio		X
					Coliformes totales		
					Coliformes fecales		
					Fenoles	X	X
					Presencia de hidrocarburos y aceites.	X	X
				Presencia de HPA	X	X	
				Presencia de Orgánicos Volátiles y Semivolátiles.	X	X	
				Presencia de pesticidas y herbicidas		X	
				BETX	X	X	
				PCBs	X	X	

#### 4. Niveles de intervención.

El seguimiento de los parámetros incluidos en el Plan de Vigilancia y Control será analizado de acuerdo a indicadores de control y umbrales de decisión, fijados específicamente para cada instalación en el documento de autorización siempre que sea posible.

Para su definición se tendrá en cuenta el modelo conceptual de flujo subterráneo en la instalación y los resultados de la caracterización del estado preoperativo.

Los indicadores serán de tres tipos:

- Indicadores de Verificación: patrones que evidencien la variación significativa de los resultados obtenidos en relación a los valores históricos observados durante el seguimiento.
- Indicadores de Evolución: consistentes en patrones que detecten cambios súbitos o aceleración no deseada en las tendencias de evolución de las series históricas obtenidas.
- Indicadores de Umbral de Actuación: consistentes en niveles de intervención jerarquizados con el objeto de no alcanzar o superar patrones basados en objetivos de calidad regionales o referencias normativas.

La superación (en función de la fluctuación real observada durante al menos los cuatro años anteriores) de los Indicadores de verificación supondrá un cambio de frecuencias en las lecturas.

Los Indicadores de Evolución considerarán el conjunto histórico de los datos obtenidos con respecto al punto de origen determinado en el estado preoperativo y la corrección (estimada a partir de los puntos blancos) de la variabilidad del nivel de fondo del medio.

La superación de indicadores de evolución implicará la realización de estudios para determinar las causas, así como la propuesta y puesta en marcha de actuaciones para atenuación y en los casos necesarios medidas la neutralización del cambio de tendencia.

Los Indicadores de Umbral de Actuación se establecerán en función de límites legales y objetivos de calidad para garantizar la protección del medio ambiente. Contemplarán un modelo de tres niveles:

- *Nivel de análisis (nivel cero)*: Su superación determinará el estudio de si las tendencias pueden llevar a la superación de los siguientes niveles.

- *Nivel de Actuación Preventiva (nivel uno)*: su superación supondrá la activación del Plan de Emergencia en sus aspectos preventivos, la determinación de las causas y la identificación de las actuaciones a implantar para su neutralización.
- *Nivel de Intervención (nivel dos)*: nivel límite no susceptible de superación. En el caso de alcanzarse deberá cesar temporalmente la actividad de la instalación hasta que las medidas ejecutadas como consecuencia de la puesta en marcha del plan de diagnóstico de daños y del Plan de Emergencia correctivo confirmen la vuelta a situaciones de actividad normal (niveles de análisis uno o cero).

En el establecimiento de los niveles de intervención para fijar los valores que suponen un cambio significativo, la autoridad competente tendrá en cuenta las formaciones hidrogeológicas específicas, la calidad de las aguas subterráneas y sus variaciones locales; y los posibles ámbitos de utilización que se estén dando a las mismas. Estos niveles de intervención y valores límites establecidos por la Autoridad Competente serán específicos para cada instalación particular.

## **5. Informes**

Como resultado de la aplicación de los Planes de Vigilancia y Control se facilitarán a la Autoridad Competente Informes periódicos, extraordinarios y especiales.

Los Informes Periódicos recogerán, con una periodicidad mínima semestral, todos los datos referentes al programa de vigilancia y control. La Administración Competente podrá incrementar o reducir dicha frecuencia (hasta un mínimo anual) en función de la evolución del plan de control.

Los Informes extraordinarios estarán vinculados a la superación de umbrales de actuación y al Plan de Emergencia. Cualquier anomalía será comunicada de modo inmediato, de acuerdo a los plazos máximos indicados en el Cuadros 5.1-A., a la Administración Competente e indicando la propuesta de medidas a adoptar teniendo en cuenta las especificadas en los cuadros 5.1. y 5.2.; así como cualquier otra que pudiese ser conveniente para garantizar la adecuada protección del medio ambiente, la salud humana y la operación segura de la instalación. .

Como Informes y Estudios Especiales se realizará durante la primera fase del programa de vigilancia y control una previsión de movimientos y un esquema del funcionamiento hidrogeológico que permita evaluar el comportamiento del

vertedero frente a estas variables y definir con precisión los umbrales de actuación y las medidas correctoras de ser necesarias.

Los informes recogerán las observaciones registradas incorporando gráficos de control con normas y niveles de control establecidos para cada pozo situado aguas abajo en el caso de las aguas subterráneas.

**CUADRO 5.1-A. Plazos\* y Actuaciones a ejecutar. Fase de Comunicación a la Autoridad Competente.**

TIPO DE NIVEL SUPERADO	PLAZO*							
	24 horas	48 horas	7 días		60 días	90 días	120 días	
Verificación			Comunicación de la superación de umbrales. <i>Contados desde la fecha de superación.</i>	Comunicación de los resultados de la repetición de lecturas. <i>Contados desde la fecha de repetición de lecturas, salva que el tiempo de determinación del parámetro no lo permita</i>	Comunicación de las acciones a emprender en caso de la confirmación de la superación de umbrales. <i>Contados desde la fecha de obtención de los resultados del análisis de causas.</i>			
Evaluación					Comunicación de las conclusiones del Análisis de Causas. <i>Contados desde la fecha de obtención de los resultados del análisis de causas.</i>	Comunicación del contenido del Plan de Actuaciones de Reducción y neutralización de la tendencia. <i>Contados desde la fecha de obtención de los resultados del análisis de causas</i>		
Umbrales de actuación	Activación del Plan de emergencia para los Niveles 1 o 2. <i>Contados desde la fecha de conocimiento de la superación.</i>	Comunicación de la superación de Umbrales de Nivel 2. <i>Contados desde el momento de la superación.</i>	Comunicación de la superación de umbrales para los umbrales 0 y 1. <i>Contados desde la fecha de superación.</i>			Comunicación del Alcance del Programa de Acciones Correctivas de Emergencia (Nivel 2) y de su plazo de implantación. <i>Contados desde la activación del Plan de Emergencia.</i>	Comunicación del Alcance del Programa de Acciones Preventivas de Emergencia (Nivel 1) y de su plazo de implantación. <i>Contados desde la activación del Plan de Emergencia.</i>	

\*: Plazos máximos. Estos plazos podrán ser reducidos de acuerdo al criterio de la Autoridad competente. En caso de circunstancias que puedan suponer peligro a la salud humana los plazos de aplicación de actuaciones pasarán a ser inmediatos, independientemente de lo especificado en los cuadros

CUADRO 5.1-B. Plazos\* y Actuaciones a ejecutar. *Fase de repetición de Muestras y comienzo de analíticas.*

TIPO DE NIVEL SUPERADO	PLAZO*			
	24 horas	48 horas	7 días	15 días
Verificación				Repetición de las tomas de datos, toma de muestras e inicio de los trabajos analíticos de laboratorio <i>Contados desde la fecha de superación de umbrales.</i>
Evaluación				
Umbrales de Actuación	Repetición de las tomas de datos, toma de muestras e inicio de los trabajos analíticos de laboratorio en el caso del Nivel 2 <i>Contados desde la fecha de superación de umbrales.</i>	Repetición de las tomas de datos, toma de muestras e inicio de los trabajos analíticos de laboratorio en el caso del Nivel 1 <i>Contados desde la fecha de superación de umbrales.</i>	Repetición de las tomas de datos, toma de muestras e inicio de los trabajos analíticos de laboratorio en el caso del Nivel 0 <i>Contados desde la fecha de superación de umbrales.</i>	

\*: Plazos máximos. Estos plazos podrán ser reducidos de acuerdo al criterio de la Autoridad competente. En caso de circunstancias que puedan suponer peligro a la salud humana los plazos de aplicación de actuaciones pasarán a ser inmediatos, independientemente de lo especificado en los cuadros

CUADRO 5.1-C. Plazos\* y Actuaciones a ejecutar. *Fase de Implantación de Acciones Derivadas de la Superación de Umbrales.*

TIPO DE NIVEL SUPERADO	PLAZO*			
	30 días		45 días	60 días
Verificación	Investigación y Estudio de las Causas <i>Contados desde la fecha de superación de resultados.</i>	Revisión de frecuencias de control. <i>Contados desde la fecha de determinación de causas.</i>	Revisión de Indicadores y Umbrales. <i>Contados desde la fecha de determinación de causas.</i>	/
Evaluación	Reevaluación de Riesgo Medioambiental. <i>Contados desde la fecha de confirmación de resultados.</i>			/
Umbrales de Actuación			Determinación del alcance de los efectos. <i>Contados desde la fecha de confirmación de resultados.</i>	

\*: Plazos máximos. Estos plazos podrán ser reducidos de acuerdo al criterio de la Autoridad competente. En caso de circunstancias que puedan suponer peligro a la salud humana los plazos de aplicación de actuaciones pasarán a ser inmediatos, independientemente de lo especificado en los cuadros

**CUADRO 5.1-D. Plazos\* y Actuaciones a ejecutar. Medidas derivadas de la Activación del Plan de Emergencia (preventivo o correctivo).**

TIPO DE NIVEL SUPERADO	PLAZO*				
	30 días			60 días	Plazo variable
Actuaciones de Estudio y Diseño	Investigación de las causas. <i>Contados desde la confirmación de resultados</i>	Reevaluación del Riesgo Ambiental. <i>Contados desde la confirmación de resultados</i>	Diseño de las líneas del Plan de Acción Correctivo. <i>Contados desde la determinación de causas.</i>	Diseño de las líneas del Plan de Acción Correctivo. <i>Contados desde la determinación de causas.</i>	
Actuaciones de Implantación de Medidas de Emergencia					Ejecución de Medidas de Aislamiento. Ejecución de Medidas de remediación y descontaminación. Sellado o Cierre de fuentes, manantiales, captaciones o pozos subterráneos y aplicación de medidas de compensación asociadas. Refuerzo de la Red de control y seguimiento. Clausura definitiva de la instalación.

\*: Plazos máximos. Estos plazos podrán ser reducidos de acuerdo al criterio de la Autoridad competente. En caso de circunstancias que puedan suponer peligro a la salud humana los plazos de aplicación de actuaciones pasarán a ser inmediatos, independientemente de lo especificado en los cuadros

CUADRO 5.2. Estudios Asociados a la Superación de Umbrales

<b>TIPO DE ACTUACIÓN</b>	Verificación	Evolución	Nivel Análisis (0)	Nivel Actuación Preventiva (1)
<i>Investigación y Estudio de las causas</i>	X	X	X	X
<i>Reevaluación del riesgo medioambiental</i>		X	X	X
<i>Determinación del alcance de los efectos</i>				X
<i>Revisión de Frecuencias de Control</i>	X		X	X
<i>Revisión de Indicadores y Umbrales</i>	X	X	X	X

## 6. Plan de Emergencia

Las instalaciones de vertido de residuos contarán con un Plan de Emergencia de acuerdo al artículo 10 del R.D. 1481/2001.

La Entidad Explotadora presentará un Programa Director del Plan de Emergencia vinculado a los diferentes umbrales e indicadores de control. El Programa Director contemplará las actuaciones de comprobación, análisis de causas, máximos tiempos estimados de respuesta, estudios de prevención y corrección y protocolos de comunicación a la Autoridad Competente vinculados al Plan de Emergencia.

Cuando la Entidad Explotadora detecte la superación de umbrales del Nivel de Actuación Preventiva deberá poner en marcha los Aspectos Preventivos del Plan de Emergencia en función de los resultados del análisis de causas de la superación.

Estos Aspectos Preventivos del Plan de Emergencia considerarán, al menos, los siguientes tipos de medidas: Rediseño y Refuerzo de la Red de Control; Refuerzo de los elementos de aislamiento; Pretratamiento del Residuo a Almacenar; Rediseño e intensificación de los procedimientos de aceptación de residuos; y Rediseño y reforzamiento de las instalaciones de captación, evacuación y depuración de lixiviados.

La Entidad Explotadora, cuando tenga conocimiento de la superación de umbrales, deberá emprender las pertinentes actuaciones de comunicación a la Autoridad Competente, repetición de muestreos, estudios de determinación de causas y alcance de la desviación y medidas de activación del Plan de Emergencia Preventivo o Correctivo de acuerdo a las acciones y plazos especificadas en el Cuadro 5.1.

En función del tipo de umbral superado el tipo de estudios a emprender incluirán los tipos indicados en el Cuadro 5.2.

## 7. Plan de mantenimiento posterior

Antes de finalizar la explotación de la instalación y el comienzo de las operaciones de clausura y sellado, la Entidad Explotadora remitirá para su revisión por la Autoridad Competente el Plan de Mantenimiento Postclausura, quien lo confirmará o modificará para adaptarlo a la situación real del vertedero, si esta fuera distinta a la prevista en el momento de la autorización.

Las tareas a incluir en el Plan de Mantenimiento deben considerar:

- Mantenimiento de la capa de sellado
- Conservación y operación del sistema de drenaje y evacuación de lixiviados
- Operación y Conservación del sistema de evacuación y tratamiento de gases
- Conservación de las zanjas de desvío de pluviales
- Estado de la red de pozos de control de lixiviados y aguas subterráneas
- Mantenimiento y gestión de la balsa de lixiviados
- Conservación y Funcionamiento del sistema de tratamiento de lixiviados o (en su ausencia) retirada de lixiviados y transporte a instalación de tratamiento
- Conservación y Mantenimiento de Taludes, bermas y caminos de servicio
- Conservación y Mantenimiento de Plantaciones
- Mantenimiento de los elementos de cerramiento y señalización
- Reparaciones de desperfectos en taludes, sellado, láminas, cunetas y bajantes
- Conservación y mantenimiento del sistema de vigilancia y control.

**APENDICE 1**  
**Estudio detallado del emplazamiento**

El proyecto que sirva de base para la construcción y puesta en marcha del vertedero, incluirá un estudio detallado geológico, geotécnico e hidrogeológico que como mínimo contendrá los siguientes aspectos relativos a las condiciones del emplazamiento del vertedero.

- **Reconocimiento Geológico**

Respecto al estudio geológico se elaborará un mapa del emplazamiento para determinar la distribución cartográfica de las unidades litológicas y su distribución estructural.

La cartografía a escala 1:5000; 1:1.000 o 1:500, en función de las características y complejidad del emplazamiento, se apoyará en una interpretación geomorfológica previa, preferentemente a escala 1:5.000, y se realizará de acuerdo con las prácticas habituales de trabajo en los reconocimientos de campo.

En el caso que sea preciso se pueden emplear técnicas geofísicas de apoyo. Estas pueden ser, sin que signifiquen limitación alguna, sísmica, eléctrica, radar o magnética.

La profundidad de la investigación deberá alcanzar, al menos en un punto 30 m por debajo de la cota de fondo del vertedero o bien penetrar como mínimo 5 m en la primera zona saturada que se encuentre. En este último caso se mantendrá como mínimo una profundidad de 15 m por debajo de la cota de fondo del vertedero.

Las cartografías geológicas y geofísicas se acompañarán de las correspondientes leyendas e informes explicativos que, en función de las características específicas del emplazamiento, correlacionarán e integrarán los datos geológicos y geotécnicos reflejando sus características más específicas en cuanto a:

- Litología, estratigrafía, tipos de contacto petrología, mineralogía, distribución espacial de las unidades, etc.
- Estructura, plegamiento y fracturación, discontinuidades, zonación sismotectónica, neotectónica.
- Estudio de estabilidad de los materiales, su clasificación geomecánica y en aquellos casos que se requiera un estudio tensional del terreno.
- Identificación, descripción y cartografía de deslizamiento, zonas de movilización de laderas o caída de bloques

- **Reconocimiento geotécnico**

Se realizará una campaña geotécnica tendente a cubrir los siguientes objetivos:

- Caracterizar las variaciones, profundidad, parámetros específicos, extensión y características de los materiales del emplazamiento.
- Identificar los yacimientos de suelos y otros depósitos, asignándoles el uso mas adecuado, en la construcción del vertedero.
- Caracterizar geotécnicamente el emplazamiento con atención especial a la estabilidad de laderas y asientos previsible.
- Establecer las condiciones del comportamiento mecánico de planos de discontinuidad, bloques o cuñas.
- Determinar los parámetros geotécnicos de diseño o ampliar la investigación, si se considera necesario, para poder establecer las medidas correctoras.

Los reconocimientos geotécnicos mínimos son:

- Calicatas. Toma de muestras

Las calicatas se efectuarán en emplazamientos donde los afloramientos sean suelos.

Las calicatas, de 4 a 5 m, de profundidad, se distribuirán en una malla que cubra el área del emplazamiento, con un mínimo de seis unidades para aquellos vertederos de superficie igual o inferior a 2 hectáreas y un mínimo de 3 calicatas por hectárea para los de superficie mayor. Se hará una descripción de los materiales y se tomarán muestras representativas, localizadas en un plano. Se confeccionará una Base de Datos de cada uno de los puntos de reconocimiento identificados en el plano con los siguientes contenidos:

- Localización
- Fecha y datos de excavación
- Identificación y firma del ingeniero geotécnico o geólogo autor del reconocimiento
- Cota del punto
- Profundidad de la excavación
- Descripción de cada horizonte, profundidad, textura, color, mineralogía, tamaño grano, consistencia y densidad relativa, contenido de humedad, grado de alteración, procedencia geológica, y otras características.
- Identificación y clasificación de los horizontes, tomando fotos de cada punto de muestreo

Se tomarán las medidas oportunas durante la campaña para no deteriorar en el futuro fondo del vaso la calidad de la barrera geológica natural.

- Sondeos

En emplazamientos homogéneos y de menos de 5.000 m<sup>2</sup> de extensión se efectuará un mínimo de tres sondeos geotécnicos con una distribución y profundidad que defina adecuadamente la distribución en profundidad de los niveles geotécnicos.

Al menos uno de ellos debe alcanzar unos 30 m de profundidad, de acuerdo a los criterios fijados en 3.4.1, con respecto al horizonte de apoyo del futuro vertedero, con testificación continua para obtener información precisa de los materiales del subsuelo. Se podrá interrumpir si se alcanza antes un sustrato impermeable de gran potencia conocido en la zona. El conjunto de los sondeos permitirá conocer la columna estratigráfica representativa de las zonas de apoyo inferior y laterales del vertedero. Como mínimo se empotrará cada sondeo 5 m en dicha formación. En suelos se tomarán muestras inalteradas cada 3 m de profundidad para los ensayos y análisis de laboratorio y se realizarán ensayos S.P.T. con la misma frecuencia, como mínimo uno por cada nivel geotécnico. En suelos arcillosos se pueden efectuar de modo complementario ensayos de penetración, con penetrómetro manual cada metro, o bien de molinete.

Si la zona es geológicamente compleja o de más de 5000 m<sup>2</sup> de extensión, se deben realizar ensayos de permeabilidad y sondeos adicionales para poder identificar las variaciones estratigráficas, estructurales y geotécnicas. Al menos se recomienda efectuar dos sondeos adicionales por cada unidad geológica identificada en cartografía y no caracterizada por los sondeos iniciales o uno por cada 5.000 m<sup>2</sup> de incremento en la superficie ocupada por el vertedero.

Se deberán aportar datos sobre la clasificación de los suelos y de los depósitos que se encuentren, con atención a la textura, color, mineralogía, humedad, grado de alteración, procedencia, etc.. Las descripciones visuales de los testigos deberán acompañarse de ensayos de laboratorio sobre muestras representativas de cada horizonte estratigráfico.

Las rocas se clasificarán de acuerdo con su litología, mineralogía, color, tamaño de grano, grado de cementación, de alteración, densidad y orientación de fracturas y otras características físicas que caractericen la roca.

Junto con los testigos de los sondeos, etiquetados y fotografiados se incorporará la siguiente información de cada sondeo:

- Localización y cota
- Fecha
- Identificación de la compañía perforadora y del geólogo del sondeo
- Firma del autor de la descripción.
- Diámetro de perforación y profundidad

- Tipo de revestimiento y método de perforación
- Tipo y volumen de los fluidos o aditivos usados
- Coeficiente de penetración o resistencia a la penetración
- Intervalos de muestreo y % de recuperación
- Descripción litológica
- Identificación de los acuíferos, niveles de agua o zonas de alta permeabilidad o claramente fracturadas
- Cualquier contaminación observada
- Registro de pérdidas de lodos u otras dificultades encontradas
- Descripción, fotografías y clasificación de las rocas testificadas
- En roca se medirá el R.Q.D. y se valorará la alteración, resistencia y fracturación de los testigos.

Aquellos sondeos situados dentro del vaso de vertido, se impermeabilizarán con una mezcla de cemento bentonita de modo previo a la construcción del vaso.

- Ensayos

Sobre las muestras de suelos que se tomen, se realizarán los siguientes ensayos geotécnicos de laboratorio, de forma que sean representativos y para poder caracterizar su comportamiento geotécnico cuando sea preciso.

**Identificación**

- Granulometría
- Límites de Atterberg
- Clasificación de Suelos
- Humedad natural
- Densidad in situ
- Granulometría por sedimentación (% de contenido de arcilla)

**Compactación, resistencia y deformabilidad**

- Proctor modificado
- Curvas de compactación
- Ensayo Edométrico
- Expansividad
- Ensayos de resistencia al corte: Compresión simple, Corte directo, triaxial.

Los ensayos de identificación se efectuarán en un mínimo del 50% de las muestras obtenidas, y los de compactación, resistencia y deformabilidad en un mínimo del 25%. Se dispondrá en cualquier caso un mínimo de tres analíticas completas. Los ensayos se adecuarán a la naturaleza del suelo.

- Estabilidad de los materiales

Los materiales geológicos del emplazamiento serán tales que se garantice la imposibilidad de ocurrencia de fenómenos de desplazamientos, corrimientos, deslizamientos, subsidencias, hundimientos o cualquier otro que ponga en riesgo la estanqueidad de la masa de residuos.

Para investigar la estabilidad de los materiales del emplazamiento se prestará atención a:

- Los materiales débiles e inestables para cimentación, incluyendo suelos, depósitos antrópicos, escombreras u otros materiales susceptibles de asentamientos excesivos.
- Las laderas inestables
- Los suelos susceptibles de ceder por un pequeño incremento de la presión de compactación, porosidad o compresión tensional o por una pequeña disminución en la tensión.
- Los deslizamientos preexistentes o laderas inestables localizadas en materiales similares a los del emplazamiento.
- La estabilidad de los terrenos frente a movimientos sísmicos, por lo que se evaluará los riesgos de fallamiento o desgarramiento de los materiales geológicos y geomembranas sintéticas.
- La topografía y geomorfología de los emplazamientos para prevenir los riesgos de erosión de los materiales y asegurar la estanqueidad del vertedero.
- La presencia de grietas, escarpes de deslizamiento, bloques inestables, cuñas o evidencias de caída o basculamiento de materiales.

Una vez realizados los pertinentes reconocimientos geotécnicos y caracterización del emplazamiento habrá que evaluar los siguientes aspectos:

- Identificar las laderas naturales potencialmente inestables y otras áreas que pudieran desestabilizarse como consecuencia de actuaciones constructivas, tales como excavaciones o relleno de materiales u otras modificaciones en el emplazamiento.
- Considerar la estabilidad de la cimentación del vertedero teniendo en cuenta el modelado (morfología específica) y las condiciones geológicas del emplazamiento, cargas estáticas y dinámicas y cualquier otro factor que pudiera influir.
- Determinar la compresibilidad de las unidades geológicas infrayacentes y el asentamiento potencial del relleno del vertedero. Estimar los asientos totales y diferenciales, basándose en los adecuados métodos de campo y ensayos de laboratorio.

## APENDICE 2

Medida de permeabilidad en materiales arcillosos

## INDICE

### 1. MÉTODOS DE CAMPO PARA LA MEDIDA DE LA CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA EN MATERIALES ARCILLOSOS COMPACTADOS

- 1.1. Generalidades
- 1.2. Ensayos de sondeos
- 1.3. Ensayos con sondas de filtro poroso
- 1.4. Infiltrómetro de doble anillo
- 1.5. Ensayos con lisímetros
- 1.6. Conclusiones

### 2. MÉTODOS DE LABORATORIO PARA LA MEDIDA DE LA PERMEABILIDAD EN MATERIALES ARCILLOSOS

- 2.1. Introducción
- 2.2. Ensayo de permeabilidad en célula triaxial
  - 2.2.1. Metodología del ensayo
- 2.3. Ensayos de permeabilidad con suelos no saturados
  - 2.3.1. Métodos indirectos para determinar el coeficiente de permeabilidad al agua en suelos no saturados
    - 2.3.1.1. Método basado en la relación entre el coeficiente de permeabilidad y el grado de saturación
    - 2.3.1.2. Método basado en la relación entre el coeficiente de permeabilidad y la succión
    - 2.3.1.3. Método basado en la relación entre el coeficiente de permeabilidad y el contenido en volumen de agua
- 2.4. Conclusiones

## 1. MÉTODOS DE CAMPO PARA LA MEDIDA DE LA CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA EN MATERIALES ARCILLOSOS COMPACTADOS

### 1.1. Generalidades

El objeto de estos ensayos es determinar “in situ”, y por tanto de forma complementaria a los ensayos de laboratorio, la conductividad hidráulica de materiales arcillosos compactados, utilizados como elemento esencial de muy baja permeabilidad en barreras hidráulicas. Las condiciones que deben cumplir estos materiales son estrictas en cuanto a su conductividad hidráulica, su resistencia a la deformación y comportamiento durante los procesos de humectación y secado. No obstante, no existe un método claramente establecido para la determinación de la conductividad hidráulica de estas barreras y se consideran necesarios ensayos de campo adicionales a los que se realizan en el laboratorio. Es posible que entre las diferentes capas o tongadas en que se aplican estos materiales no exista un grado de compactación homogéneo, pudiéndose establecer vías potenciales de flujo, especialmente en las zonas de contacto entre cada tongada, donde la permeabilidad relativa del material puede ser mayor. Incluso puede darse el caso de tener grandes diferencias entre la permeabilidad vertical y horizontal de los materiales depositados. Por estas circunstancias se suelen encontrar valores de la conductividad hidráulica del terreno superior en los ensayos de campo que en los realizados en laboratorio.

Durante las últimas décadas se han aplicado varios tipos de ensayos para determinar el valor de la conductividad hidráulica “in situ” en materiales arcillosos. Los métodos se agrupan en cuatro categorías principales, como se señala más adelante. Debe indicarse que no existe un procedimiento claramente superior o con más ventajas que el resto. Cada uno de ellos tiene ventajas e inconvenientes, como se describe brevemente en los siguientes párrafos. La aplicación de un tipo determinado de ensayo depende de las características concretas de los materiales en el punto donde se debe realizar la medida, de la experiencia del equipo técnico y de la disponibilidad de la instrumentación necesaria. En algunos casos, el tiempo necesario para realizar el ensayo es muy prolongado, lo cual puede condicionar la selección del tipo de ensayo. En otros casos, el costo y complejidad logística (especialmente, si se trata de un lugar remoto) es un factor limitante. Otra dificultad relevante puede derivarse del carácter puntual de ciertos ensayos, lo cual puede afectar seriamente su representatividad, especialmente si se trata de un número limitado de éstos.

En la actualidad, los tipos de ensayo que se utilizan para determinar la conductividad hidráulica se agrupan en las siguientes categorías:

- 1) Ensayos en sondeos
- 2) Ensayos con sondas de filtro poroso
- 3) Ensayos con infiltrómetro de doble anillo
- 4) Ensayos mediante la instalación de lisímetros

### **1.2. Ensayos en sondeos**

En este grupo se encuentran los ensayos con permeámetros de tipo Boutwell y los ensayos en sondeos a nivel constante del tipo Gilg-Gavard. En estos casos, se trata de medir el volumen de agua admitido por un tramo del sondeo. Se asume que el volumen de agua infiltrado, una vez alcanzado un estado estacionario, es proporcional a la conductividad hidráulica del terreno. Se trata de ensayos que se realizan en un periodo relativamente corto de tiempo, caracterizados por una escasa complejidad logística, y por un costo reducido. El primer tipo de ensayo citado permite estimar los componentes horizontal ( $k_h$ ) y vertical ( $k_v$ ) de la conductividad hidráulica, asumiendo que se cumplen ciertas condiciones durante la realización del ensayo. No obstante, los ensayos pueden demorarse bastantes días si los valores de  $k$  son inferiores a  $10^{-7}$  cm/s. El segundo método no es muy adecuado para medir valores de  $k$  inferiores a  $10^{-7}$  cm/s. La principal limitación, en ambos casos, es que el ensayo es sólo representativo de un volumen del terreno reducido y en materiales que están dispuestos en capas de cierta potencia, en los cuales se perfora el sondeo para el ensayo. En general los ensayos no se consideran muy adecuados para materiales de baja permeabilidad depositados en capas delgadas.

Una variante a este tipo de ensayos para la determinación de la permeabilidad en sondeos profundos se basa en una modificación del ensayo de Gilg-Gavard utilizando trazadores para identificar y medir la velocidad con la que el agua fluye por los diferentes tramos del sondeo. En este caso se inyecta agua hasta la boca del sondeo, de forma que se establece un flujo vertical dentro del sondeo. La admisión relativa de caudal de cada horizonte se estima cuantificando la velocidad del flujo vertical que se establece dentro de cada tramo del sondeo. Este sistema se recomienda en el caso de sondeos que alcanzan algunos metros de profundidad.

### **1.3. Ensayos con sondas de filtro poroso**

Mediante este tipo de ensayos se mide la conductividad hidráulica de capas de arcillas de pequeño espesor, tras introducir dentro de las mismas una sonda fabricada con un material poroso, que actúa de filtro, hasta el fondo

de una pequeña perforación realizada en los materiales depositados. Con la sonda instalada, se realizan ensayos de nivel variable o de nivel constante y se cuantifica la cantidad de agua que admite el terreno en función del tiempo. Este método se aplica habitualmente en arcillas saturadas, pero su uso no está generalizado en el caso de arcillas compactadas. El ensayo es rápido y permite medir valores de  $k$  del orden de  $10^{-10}$  cm/s. Se obtiene, preferentemente, el valor de la componente horizontal de la conductividad hidráulica. El equipo es asequible comercialmente.

La configuración habitual de estas sondas se muestra de forma esquemática en la figura 3. Aunque existe una versión de sondas con la base permeable, la sonda más utilizada es la de base impermeable. Como se ha señalado anteriormente, con ella se realizan ensayos tanto de nivel constante como de nivel variable.

En este caso el valor de conductividad hidráulica se calcula mediante las siguientes ecuaciones:

a) caso de ensayo a nivel constante:

$$k = \frac{q}{FH}$$

b) caso de ensayo a nivel variable

$$k = \frac{\pi \cdot d^2 / 4}{F(t_2 - t_1)} \ln\left(\frac{H_1}{H_2}\right)$$

donde  $q$  es el caudal admitido,  $d$  es el diámetro del tubo por donde se introduce el agua al filtro,  $t$  representa el tiempo, y  $H$  la altura de la columna de agua, según se señala en la figura 3. El valor de  $F$  se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación:

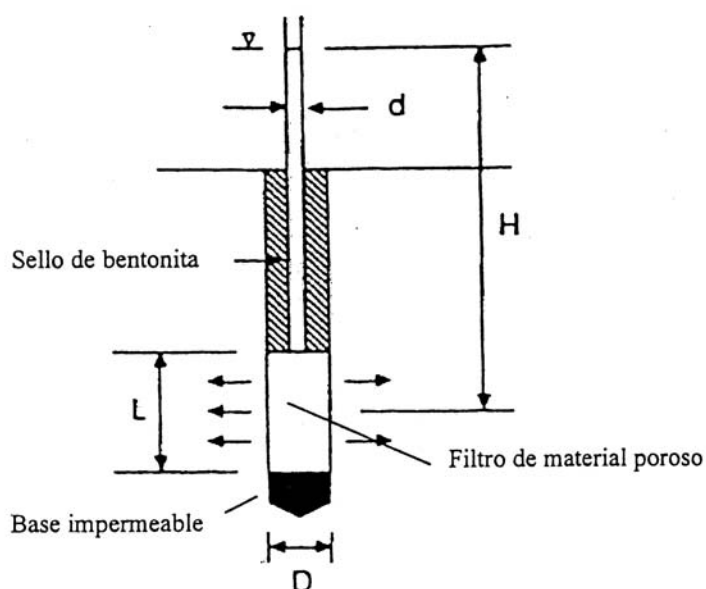


Fig. 3.- Esquema de una sonda de filtro poroso con base impermeable para la determinación de la conductividad hidráulica

$$F = \frac{2\pi L}{\ln\left(\frac{L}{D} + \sqrt{1 + (L/D)^2}\right)} - 2.8D$$

Además en este tipo de ensayos existe una variante de este método que facilita su realización. Se trata del denominado permeámetro BAT, que se ha utilizado de forma habitual por algunos grupos para medir de forma sistemática la conductividad hidráulica de paquetes de arcillas compactadas a través de la realización de numerosos ensayos dentro de una misma capa de arcillas.

Se trata de un equipo diseñado para medir de forma rápida (generalmente en menos de 60 minutos) la conductividad hidráulica. Su principal ventaja es precisamente la corta duración de los ensayos. El dispositivo consiste en un filtro de material poroso acoplado al extremo de una sonda (fig. 4), que se introduce a la profundidad deseada, intentando que el filtro poroso se ajuste lo mejor posible al terreno. El filtro se conecta a través de una aguja hipodérmica con un recipiente donde hay agua y aire, al cual, a su vez, se conecta con un regulador de presión, que permite presurizar o producir vacío en dicho recipiente. En el otro extremo del recipiente, se encuentra otro disco flexible que permite la conexión mediante otra aguja con el extremo de la sonda, en la que se encuentra la sonda con el filtro de material poroso.

La ventaja de este método es que se pueden realizar dos tipos de ensayos; a) medida de la admisión de agua en función de la presión aplicada el recipiente, y b) medida de la cantidad de agua intersticial que puede extraerse del terreno al aplicar un cierto vacío al sistema.

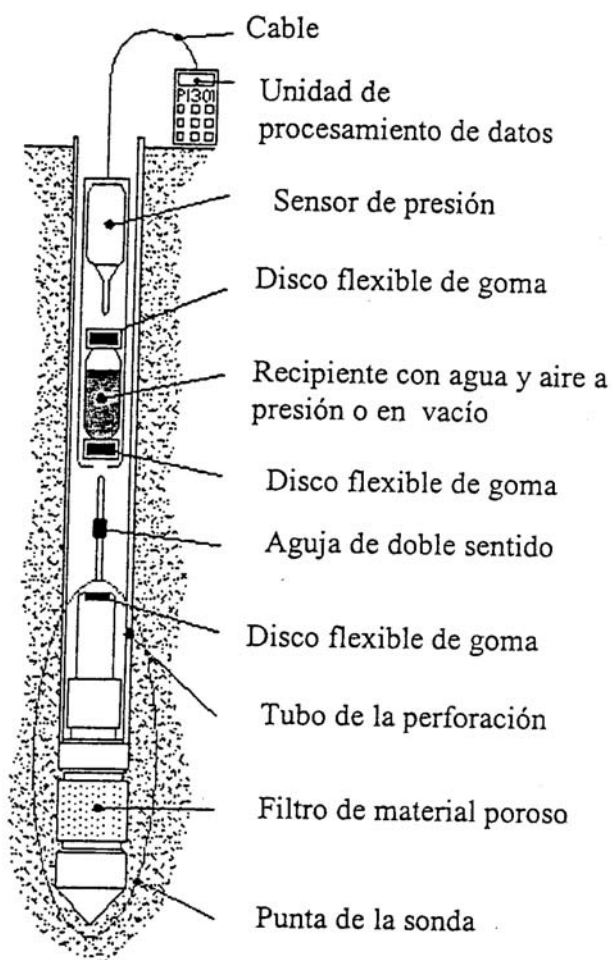


Fig. 4.- Esquema de un permeámetro de tipo BAT para determinar la conductividad hidráulica en paquetes de arcillas compactadas

El sistema es comercial y está automatizado, de modo que mide con precisión la velocidad con la que varía la presión en el recipiente, que obviamente depende de la capacidad de admisión de agua. Dicha velocidad permite calcular la permeabilidad en el punto donde se sitúa el filtro de material poroso. El ensayo se puede repetir en otros lugares o a profundidades diferentes con el objeto de obtener valores representativos de todo el paquete de arcillas.

#### **1.4. Infiltrómetro de doble anillo**

Las diferentes variedades de infiltrómetros son los equipos habitualmente utilizados para la medida de la tasa y capacidad de infiltración directamente sobre la superficie del terreno. Consisten en uno o dos anillos prismáticos o cilíndricos estancos, los cuales tienen un diámetro que puede variar entre 30 y 200 cm. Pueden estar abiertos por el extremo superior o cerrados, para minimizar el efecto de la evaporación (fig. 5).

La cantidad de agua admitida por el terreno se determina mediante medida directa con ayuda de escalas graduadas o bien mediante la pesada de una bolsa plástica que aporta toda el agua que admite el terreno, como se indica en el esquema de la figura 5. La existencia del segundo anillo exterior minimiza los efectos de infiltración lateral, por lo que se considera que estos instrumentos proporcionan valores representativos de la componente vertical de la conductividad hidráulica.

La bolsa plástica se extrae periódicamente del infiltrómetro y se pesa para determinar el flujo de infiltración. Generalmente, se utilizan varios tensiómetros previamente instalados en el terreno para identificar la profundidad que alcanza el frente de infiltración. De forma alternativa, se extraen

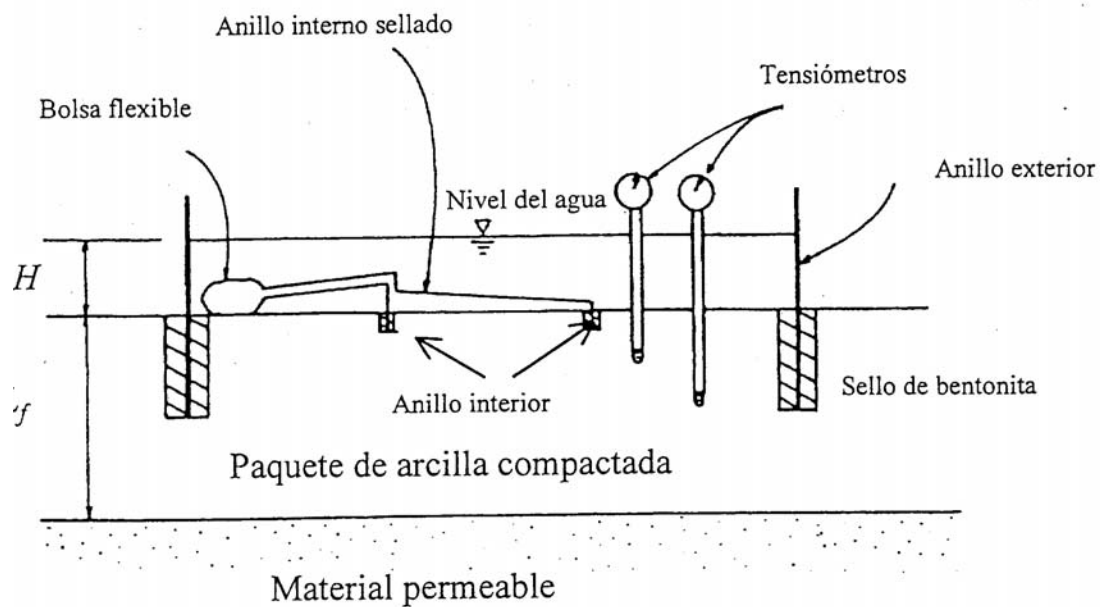


Fig. 5.- Esquema de los componentes de un infiltrómetro sellado de doble anillo utilizado para la medida de la tasa de infiltración en paquetes de arcillas compactadas

testigos de suelo después de realizar el ensayo y se determina el contenido de agua intersticial, lo que permite indicar cual ha sido la profundidad alcanzada por el frente de humectación.

En ciertas versiones de infiltrómetros cerrados, se mide la presión creada dentro del aparato, o bien la cantidad de aire que admite el aparato, ya que se crea una succión en su interior. Además de la complejidad asociada a su instalación, los ensayos se suelen demorar entre varios días y dos o tres semanas para determinar con fiabilidad el valor de  $k$ , especialmente en el caso de paquetes de arcillas compactadas.

La tasa de infiltración,  $I$  ( $l \cdot s^{-1} \cdot m^{-2}$ ), viene dada por la relación entre el volumen de agua que ha percolado  $\Delta V$  (medida a partir de la diferencia de pesos en la bolsa plástica) durante el intervalo de tiempo  $\Delta t$ , y el área del infiltrómetro  $A$ , de acuerdo a la expresión siguiente:

$$I = \frac{\Delta V}{A \cdot \Delta t} = \frac{Q}{A}$$

siendo  $Q$  el caudal del flujo de infiltración. Si la cantidad de agua que admite el terreno es muy baja, como ocurre generalmente en el caso de barreras de arcillas, la medida a partir de la pesada puede no ser suficientemente precisa para determinar la tasa de infiltración. Como método alternativo y de mayor precisión para dicha medida, se sugiere la posibilidad de utilizar un sistema basado en la inyección de una sustancia radiactiva.

La conductividad hidráulica del terreno donde se realiza el ensayo se calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$k = \frac{I}{i} = \frac{I}{(H + L_f + \psi_f) / L_f}$$

siendo  $i$  el gradiente hidráulico, que a su vez depende de la altura  $H$  de la columna de agua en el infiltrómetro, de  $L_f$  o profundidad alcanzada por el frente de humectación y de  $\psi_f$ , que es el potencial de succión de dicho frente. En la mayoría de los casos en los que se utiliza este tipo de infiltrómetro, el valor de este último parámetro se toma igual 0. Para otros tipos de infiltrómetros más sencillos, dicha succión se calcula en función del modelo de Green-Ampt, que examina la conductividades hidráulicas para diferentes valores de saturación del terreno. Por las características constructivas del infiltrómetro de doble anillo la infiltración que se mide, sólo representa su componente vertical, especialmente si el aparato se construye hasta una profundidad tal que la infiltración lateral sea despreciable y no afecta a la medida de la tasa de infiltración.

### 1.5. Ensayos con lisímetros

Se trata de instrumentos que permiten realizar ensayos de infiltración en una superficie importante del terreno, muy superior a la de los instrumentos descritos en los párrafos anteriores. Sin embargo, los equipos deben ser instalados previamente bajo el paquete de material arcilloso en el que se desea realizar el ensayo. Son sistemas que requieren de una instalación de equipos sofisticados y costosos. Además, como en alguno de los otros métodos descritos, es necesario disponer de largos periodos de tiempo de observación para realizar los ensayos con garantía. Generalmente, se precisan varias semanas, si los materiales presentan una conductividad hidráulica del orden de  $10^{-9}$  m/s. El método ha tenido una aplicación muy limitada, aunque puntualmente puede ser el método más idóneo. Se mide el caudal de infiltración que consigue atravesar la capa de arcilla depositada sobre el mismo.

### 1.6. Conclusiones

En el caso de capas de arcillas depositadas sobre el terreno natural en relación con la construcción de depósitos de materiales residuales, se precisa determinar la distribución de la permeabilidad en capas extendidas sobre gran superficie y generalmente de pequeño espesor. En la mayor parte de los casos, es más importante realizar medidas de la permeabilidad en una gran parte de la capa depositada a través de medidas realizadas en numerosos puntos de la misma, más que la determinación muy precisa de la permeabilidad en pocos puntos de dicha capa. Por tanto, se sugiere utilizar un método que proporcione resultados de forma rápida, aunque no se trate de un ensayo de muy alta precisión, que realizar unos pocos ensayos muy precisos, pero que requieran un periodo de tiempo muy prolongado para su ejecución.

Para ello, los dispositivos basados en el uso de un filtro poroso presentan indudables ventajas. En este sentido, el denominado permeámetro BAT ofrece ventajas evidentes, en especial la rapidez de la medida y la posibilidad de realizar muchos ensayos bajo condiciones controladas. Se trata de un equipo disponible comercialmente y ampliamente probado en investigaciones en las que los paquetes de arcillas presentan unas especificaciones de conductividad hidráulica previamente fijadas. En algunos ejemplos citados en la bibliografía la comparación de los resultados obtenidos por este equipo y el infiltrómetro sellado de doble anillo ha mostrado valores similares. No obstante, los mejores resultados se obtendrán combinando este método, con algún ensayo realizado con el infiltrómetro de doble anillo.

## **2. MÉTODOS DE LABORATORIO PARA LA MEDIDA DE LA PERMEABILIDAD EN MATERIALES ARCILLOSOS**

### **2.1. Introducción**

El análisis del movimiento del agua en el suelo implica la cuantificación de determinadas propiedades hidráulicas del suelo, en particular, el coeficiente de permeabilidad incluido en la ley de Darcy.

En general, este coeficiente se puede determinar, como ya se ha dicho en el apartado anterior, tanto en el laboratorio o in situ, para lo cual se utilizan o bien técnicas directas o métodos indirectos.

En el presente apartado se analizan los procedimientos más habituales para la determinación del coeficiente de permeabilidad en laboratorio para materiales de baja permeabilidad.

En el caso de estudios con muestras de suelo saturadas, existen diferentes procedimientos contrastados y normalizados que permiten obtener el valor del coeficiente de permeabilidad. A título complementario se incluye en el Anejo a este documento una descripción de los procedimientos más usuales recomendados por la Agencia Americana de Medio Ambiente (EPA), que incluye, además, metodología para la determinación de permeabilidad de lixiviados en arcillas.

### **2.2. Ensayo de permeabilidad en célula triaxial**

De forma general, cuando se ensayan suelos de muy baja permeabilidad se utiliza un permeámetro con célula triaxial, con el que, además de obtener el coeficiente de permeabilidad de la probeta saturada, se mantiene durante todo el ensayo el estado de tensiones correspondiente a las condiciones in situ correspondientes.

A continuación se describe el equipo y el proceso experimental para la realización del mencionado ensayo. Aunque en principio la pared exterior de la célula triaxial en la que se coloca la probeta es de material transparente, se pueden utilizar también camisas metálicas gruesas, de forma que puedan aplicarse presiones de saturación y de confinamiento altas.

#### **2.2.1. Metodología del ensayo**

Por este método se determina el coeficiente de permeabilidad de una probeta de forma cilíndrica de suelo en una célula triaxial, con un estado de tensiones efectivas determinado y aplicando una contrapresión (presión en cola). En el

ensayo se determina el volumen de agua que atraviesa la probeta en un tiempo conocido, con un gradiente hidráulico constante.

El procedimiento es apropiado para suelos de mediana a baja permeabilidad.

**Normalmente el ensayo se realiza durante un ensayo triaxial después de la consolidación, en un estado conocido de tensiones efectivas.**

Antes de la rotura, la presión de poros debe igualarse a lo largo de toda la probeta.

**Para la realización de este ensayo se necesitan tres equipos de presión constante.**

**El montaje general de los aparatos necesarios para el ensayo aparece en la fig. 6.**

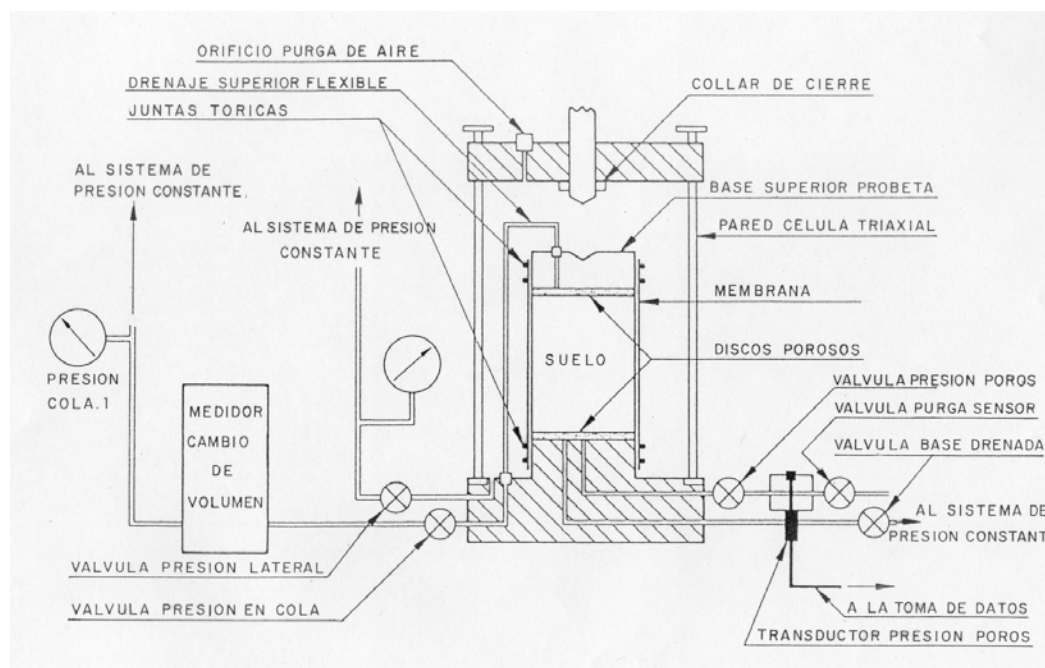


Fig. 6.- Esquema general para el ensayo de permeabilidad

Antes de realizar el ensayo se debe tomar nota de los siguientes datos de la probeta: diámetro  $\phi$  (cm), altura  $L_0$  (cm) y masa húmeda inicial  $m_{hi}$  (g).

**El procedimiento a seguir en el ensayo es el siguiente:**

- Montar la probeta en la célula triaxial, sin tiras laterales de papel de filtro, con base drenante superior, y dos piedras porosas.
- Llenar de agua la célula triaxial, y proceder a la saturación de la probeta.

- c) Una vez saturada la probeta, consolidarla hasta alcanzar la tensión efectiva deseada. La consolidación se habrá realizado con drenaje por la base superior de la probeta.
- d) Con las válvulas colocadas en ambas bases cerradas, ajustar la presión en el sistema conectado a la base inferior  $p_2$  (kgf/cm<sup>2</sup>), hasta igualarse con la presión aplicada a la base superior durante la consolidación. Abrir la válvula conectada a la base.
- e) Aumentar la presión  $p_1$  (kgf/cm<sup>2</sup>) en el sistema conectado a la base superior hasta alcanzar un valor de  $(p_1 - p_2)$  deseado.

La diferencia de presiones  $(p_1 - p_2)$  deberá producir una velocidad de flujo razonable a través de la probeta. En muchos suelos arcillosos es necesario aplicar un gradiente hidráulico muy alto ( $i > 20$ ). Debemos ir aumentando poco a poco el gradiente hidráulico, mientras observamos la velocidad de flujo, para evitar tubificaciones o erosiones en la probeta.

La diferencia entre la presión lateral  $\sigma_3$ , y  $p_1$  no debe ser inferior a  $(p_1 - p_2)$ .

**En este procedimiento el sentido del flujo de agua es descendente.**

- f) El ensayo comienza al abrir la válvula conectada en la base superior. En este momento se debe poner en marcha el cronómetro y anotar, a intervalos de tiempo, apropiados, el tiempo (minutos), y el volumen que atraviesa la probeta (cm<sup>3</sup>). Además, se debe anotar la temperatura media  $T$ , en °C, en la zona próxima a la célula triaxial.

La tensión efectiva media durante el ensayo  $\sigma'_3$  será igual a:

$$\sigma'_3 = \sigma_3 - \frac{p_1 + p_2}{2}$$

En el ensayo se representa gráficamente el flujo acumulado de agua  $Q$  (cm<sup>3</sup>) en ordenadas, y el tiempo transcurrido en abscisas (minutos), debiendo proseguirse el ensayo hasta tener un tramo lineal en la gráfica.

- g) Cerrar las válvulas que comunican el interior de la probeta con los sistemas de presión constante. Si se va a proceder a la rotura de la probeta se sigue el procedimiento habitual tras la consolidación de un ensayo triaxial; en caso contrario se despresuriza la célula triaxial y se desmonta la probeta.
- h) Determinar la masa húmeda final  $m_{hf}$  (g) de la probeta e introducir en estufa que seque, determinándose la masa seca  $m_d$  (g).

**Para los cálculos y la representación gráfica se sigue el siguiente procedimiento:**

1.- Calcular la sección media inicial  $S_0$  (cm<sup>2</sup>), y el volumen inicial  $V_0$  (cm<sup>3</sup>).

2.- Calcular las humedades inicial  $w_0$  (%), y final  $w_f$  (%), mediante:

$$w_0 = \frac{(m_{hi} - m_d)}{m_d} \cdot 100$$

$$w_f = \frac{(m_{hf} - m_d)}{m_d} \cdot 100$$

3.- Calcular la densidad aparente  $\rho$  (g/cm<sup>3</sup>) mediante la expresión siguiente:

$$\rho = \frac{m_{hi}}{V_0}$$

4.- Calcular la densidad seca  $\rho_d$  (g/cm<sup>3</sup>) mediante la expresión siguiente:

$$\rho_d = \frac{m_d}{V_0}$$

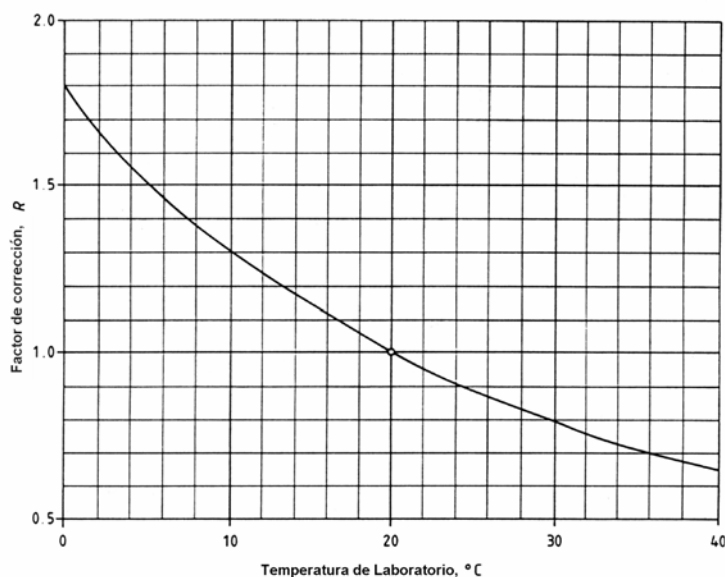
5.- Del gráfico determinar la pendiente media en el tramo lineal  $q$  (cm<sup>3</sup>/min.), que es la velocidad media de flujo en condiciones estacionarias.

En este ensayo hemos considerado despreciable la pérdida de carga debida a las piedras porosas.

**6.- Determinar el coeficiente de permeabilidad  $k$  (m/s), mediante la siguiente expresión:**

$$k = \frac{1,63 \cdot q \cdot L_0 \cdot R \cdot 10^{-3}}{9810 \cdot S_0 \cdot (p_1 - p_2)}$$

En donde  $R$  es un factor de corrección por la temperatura de la viscosidad del agua obtenida con ayuda de la fig. 7.



- Fig. 7.- Corrección por temperatura de la viscosidad del agua

7.- Calcular el gradiente hidráulico  $i$  mediante la siguiente expresión:

$$i = \frac{(p_1 - p_2) \cdot 100}{0,981 \cdot L_0}$$

A continuación aparece un ejemplo completo de un ensayo de permeabilidad, con la hoja de toma de datos (fig. 8), y el gráfico de volumen acumulado-tiempos (fig. 9).

### **2.3. Ensayos de permeabilidad con suelos no saturados**

Cuando se trata de determinar el coeficiente de permeabilidad de suelos no saturados, en los que coexisten la fase líquida y la fase gaseosa en los poros, los procedimientos descritos anteriormente deben variarse de forma que el estado de humedad, o lo que es igual, la succión no cambie durante todo el proceso experimental.

En teoría estos métodos, en los que se admite la validez de la ley de Darcy, controlan la succión y el gradiente hidráulico, y miden la cantidad de agua transmitida una vez transcurrido el tiempo y alcanzado el régimen permanente. Actualmente no se dispone todavía de una metodología contrastada y normalizada que asegure la precisión necesaria en la medida del caudal, sobre todo en los casos en que el valor de la tensión del suelo es alto.

Así pues, para superar estas dificultades y disponer de métodos que permitan obtener el valor del coeficiente de permeabilidad en suelos no saturados, se recurre a procedimientos indirectos, basados en la relación succión-humedad o succión-grado de saturación del suelo.

**PERMEABILIDAD EN CÉLULA TRIAXIAL**

Trabajo N° Denominación	Muestra N° Fecha	Presión lateral efectiva (kgf/cm <sup>2</sup> )	2.5
Diámetro probeta (cm) <b>3.76</b>	Sección probeta So(cm <sup>2</sup> )	Presión lateral (kgf/cm <sup>2</sup> )	<b>8.5</b>
Altura probeta Lo, (cm) <b>7.72</b>	Volumen probeta Vo, (cm <sup>3</sup> )	Presión en cola, p <sub>2</sub> (kgf/cm <sup>2</sup> )	<b>6.0</b>
Masa húmeda inicial, m <sub>hi</sub> (g)	Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )	Diferencia presiones (kgf/cm <sup>2</sup> ), (p <sub>1</sub> -p <sub>2</sub> )	2.0
Masa húmeda final, m <sub>hf</sub> (g) <b>160.40</b>	Humedad inicial wo, (%)	Presión entrada, p <sub>1</sub> (kgf/cm <sup>2</sup> )	<b>8.0</b>
Masa seca m <sub>d</sub> , (g) <b>118.50</b>	Humedad final wf, (%)	Presión efectiva media (kgf/cm <sup>2</sup> )	1.5
	Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	Gradiente hidráulico, i	26.4

**LECTURAS**

Tiempo, t (segundos)	Tiempo, t (minutos)	Lecturas volumen (cm <sup>3</sup> )	Volumen incremental que atraviesa la probeta (cm <sup>3</sup> )	Acumulado, Q (cm <sup>3</sup> )
0	0.00	66.337	0.000	0.000
190	3.17	65.322	1.015	1.015
400	6.67	64.307	1.015	2.030
610	<b>10.17</b>	<b>63.323</b>	0.984	3.014
840	<b>14.00</b>	<b>62.303</b>	1.020	4.034
900	<b>15.00</b>	<b>62.028</b>	0.275	4.309
1060	<b>17.67</b>	<b>61.326</b>	0.702	5.011
1290	<b>21.50</b>	<b>60.318</b>	1.008	6.019
1520	<b>25.33</b>	<b>59.329</b>	0.989	7.008
1760	<b>29.33</b>	<b>58.345</b>	0.984	7.992
1800	<b>30.00</b>	<b>58.167</b>	0.178	8.170
2010	<b>33.50</b>	<b>57.301</b>	0.866	9.036
2260	<b>37.67</b>	<b>56.291</b>	1.010	10.046
2490	<b>41.50</b>	<b>55.349</b>	0.942	10.988
2700	<b>45.00</b>	<b>54.500</b>	0.849	11.837
2750	<b>45.83</b>	<b>54.315</b>	0.185	12.022
3000	<b>50.00</b>	<b>53.322</b>	0.993	13.015
3250	<b>54.17</b>	<b>52.333</b>	0.989	14.004
3500	<b>58.33</b>	<b>51.360</b>	0.973	14.977
3600	<b>60.00</b>	<b>50.990</b>	0.370	15.347
3770	<b>62.83</b>	<b>50.341</b>	0.649	15.996
4030	<b>67.17</b>	<b>49.354</b>	0.987	16.983

Velocidad de flujo, q  
(cm<sup>3</sup>/min.) 0.24362

Coefficiente permeabilidad, k  
(m/s) **1.41E-08**

\* **Fig. 8.- Datos de un ensayo**

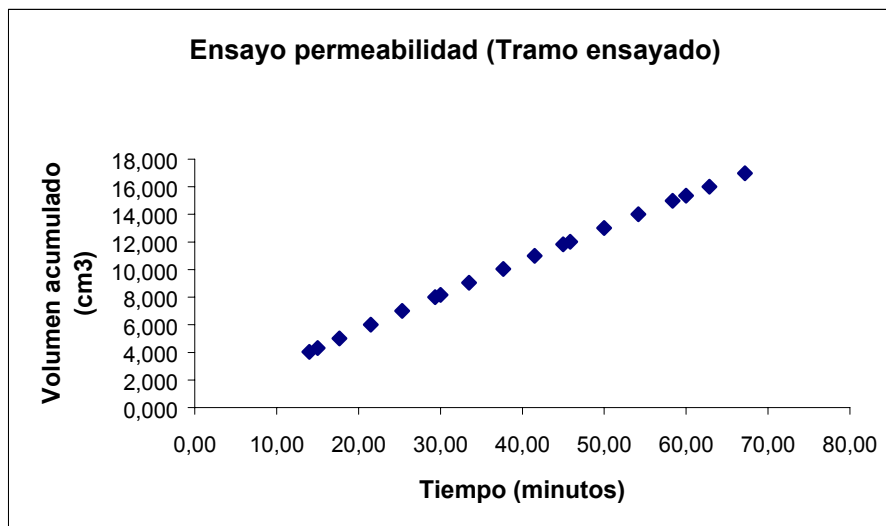


Fig. 9.- Gráfico de volumen acumulado (cm<sup>3</sup>) / Tiempos (minutos)

### 2.3.1. Métodos indirectos para determinar el coeficiente de permeabilidad al agua en suelos no saturados

Seguidamente se indican tres procedimientos indirectos para determinación de dicho coeficiente de permeabilidad.

#### 2.3.1.1. Método basado en la relación entre el coeficiente de permeabilidad y el grado de saturación

En los suelos no saturados el coeficiente de permeabilidad al agua puede variar considerablemente como resultado de los cambios que puede haber en el índice de poros y en el contenido de agua. No obstante, se suele admitir que, salvo en determinados casos, los cambios del índice de poros no son muy importantes, y que solamente son significativos los cambios motivados por la succión sobre el grado de saturación.

La relación succión-grado de saturación se obtiene a partir de la relación succión-humedad (determinada experimentalmente siguiendo los procedimientos habituales), admitiendo que no hay cambios de índice de poros y por medio de la expresión:

$$S = \frac{G_s \cdot W}{e}$$

siendo:

$G_s$  = peso específico de las partículas sólidas

$W$  = contenido de humedad

$e$  = índice de poros

Esta relación presenta un aspecto similar al de la figura adjunta 10.a) (solamente la rama de desecación), en la que se puede determinar el grado de saturación residual,  $S_r$ , como aquel valor de dicho grado para el cual un cambio de succión no produce variación en el grado de saturación.

Seguidamente, para cada valor de  $S$  de la gráfica se calcula el valor del grado de saturación efectivo,  $S_e$ , por medio de la expresión:

$$S_e = \frac{S - S_r}{1 - S_r}$$

y se representan las fases de valores correspondientes succión-grado de saturación efectivo. ( $u_a$ - $u_w$ ,  $S_e$ ).

Directamente, de esta gráfica se obtiene el denominado valor de entrada de aire, que se define como el máximo valor que puede alcanzar la succión matricial sin que pase el aire a través de los poros del suelo. Dicho valor, ( $u_a$ -

$u_w$ ), es la abscisa del punto A, intersección entre la ordenada que corresponde a la saturación,  $S_e = 1.0$  y la prolongación de la rama recta de la relación succión-grado de saturación específico.

Seguidamente se determina el valor  $\lambda$ , que es la pendiente negativa de dicha rama recta. (Fig. 10.b).

Obtenidos estos valores se calcula el coeficiente de permeabilidad al agua de la forma siguiente:

$$k_w = k_s \text{ para } (u_a - u_w) \leq (u_a - u_w)_b$$

$$k_w = k_s S_e \delta \text{ para } (u_a - u_w) > (u_a - u_w)_b$$

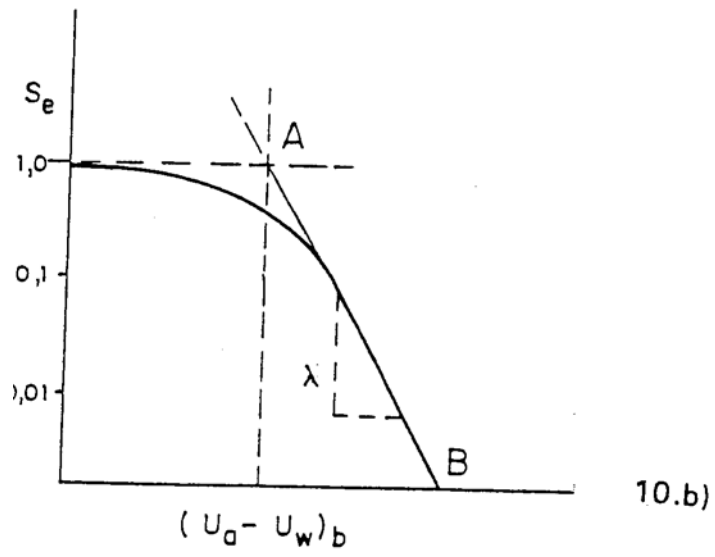
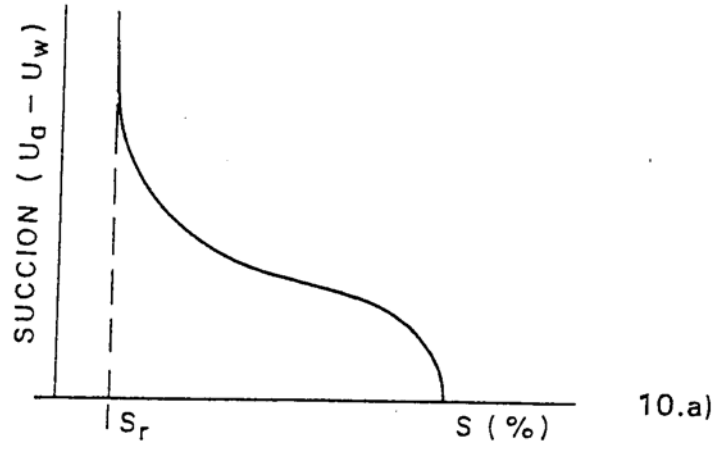


Figura 10

siendo:

$k_s$  = valor del coeficiente de permeabilidad para probeta de suelo saturada

$$\delta = \frac{2+3\lambda}{\lambda}$$

### 2.3.1.2. Método basado en la relación entre el coeficiente de permeabilidad y la succión

En la figura 10.b) anterior, el tramo recto de la relación succión-grado de saturación efectivo (tramo AB) se puede expresar mediante la ecuación:

$$S_e = \left[ \frac{(u_a - u_w)_b}{(u_a - u_w)} \right]^\lambda$$

para valores de  $(u_a - u_w)$  mayores que  $(u_a - u_w)_b$ . Si sustituimos este valor en la expresión del coeficiente de permeabilidad

$$k_w = k_s S_e^\delta$$

nos quedará,  $k_w = \left[ \frac{(u_a - u_w)_b}{(u_a - u_w)} \right]^{\frac{2+3\lambda}{\lambda}} \cdot k_s$

con lo que podremos conocer el valor del coeficiente de permeabilidad al agua, para cada succión, en función de parámetros que se han determinado anteriormente.

### 2.3.1.3. Método basado en la relación entre el coeficiente de permeabilidad y el contenido en volumen de agua

Adicionalmente, se puede obtener el coeficiente de permeabilidad a partir de la relación entre la succión y el contenido volumétrico de agua del suelo. En esencia, en este método se utilizan las diferentes configuraciones posibles de poros llenos de agua, suponiendo que el suelo presenta una distribución aleatoria de poros de diferentes tamaños, con una geometría indeformable.

La expresión de la permeabilidad al agua se define como un sumatorio de series de términos obtenidos a partir de la probabilidad estadística de interconexiones entre poros de diferentes tamaños llenos de agua.

El proceso a seguir consiste en la obtención de la relación succión-humedad o curva característica del suelo y transformarla en la relación succión-contenido volumétrico de agua por medio de la expresión:

$$\theta_v = d_s \frac{W}{100}$$

$\theta_v$  = contenido volumétrico de agua

$d_s$  = densidad seca

W = contenido de agua expresado en porcentaje en peso de suelo seco

Seguidamente, se representa la rama de secado de esta relación y se divide en "m" intervalos de igual contenido volumétrico de agua, partiendo prácticamente de la condición de saturación y llegando hasta el valor de humedad correspondiente a la máxima succión aplicada. De dicha representación pueden obtenerse parte de los valores que se utilizan en la expresión del coeficiente de permeabilidad, que se incluye seguidamente.

$$k_{wi} = \frac{k_s}{k_{sc}} \cdot \frac{T_s^2 \cdot \rho_w \cdot g}{2 \cdot \mu_w} \cdot \frac{\theta_s^p}{N^2} \cdot \sum_{j=i}^m \left\{ (2 \cdot j + 1 - 2 \cdot i) \cdot (u_a - u_w)_j^{-2} \right\}$$

siendo:

$k_{wi}$  = coeficiente de permeabilidad calculado para el intervalo de "i" contenido volumétrico (m/s)

$k_s$  = valor del coeficiente de permeabilidad con muestra saturada obtenido experimentalmente (m/s)

i = intervalo que se considere

$k_{sc}$  = valor del coeficiente de permeabilidad calculado con muestra saturada (m/s)

$T_s$  = tensión superficial del agua (kN/m)

$\rho_w$  = densidad del agua (kg/m<sup>3</sup>)

g = aceleración de la gravedad (m/s<sup>2</sup>)

$\theta_s$  = contenido de agua para saturación en volumen

$p$  = constante que puede considerarse 2.0

$m$  = número de intervalos tomados en la rama de secado de la curva característica del suelo

$$N = m \cdot \frac{\theta_s}{\theta_s - \theta_L} \text{ cuando } m \leq N \text{ y } N = m \text{ cuando } \theta_L = 0$$

$\theta_L$  = contenido de humedad más bajo en la relación succión-contenido volumen (o tiro de agua)

$(u_a - u_w)$  = succión correspondiente al punto medio del intervalo considerado

El término  $\frac{T_s^2 \rho_w g}{2\mu_w} \cdot \frac{\theta_s^p}{N^2}$  se toma como una constante en los cálculos de los valores del coeficiente de permeabilidad para los distintos valores de la succión.

Este proceso puede repetirse para la rama de humectación, pero tomando también en cuenta, como en el caso de la rama de desecación, proceder siempre valores bajos a altos de la succión.

## **2.4. Conclusiones**

Del estudio realizado en este documento, para la determinación de la permeabilidad en laboratorio de materiales arcillosos como capa de sellado en vertederos, pueden extraerse las siguientes conclusiones:

- Para arcillas saturadas, el ensayo en célula triaxial descrito en el apartado 4.2.1. está suficientemente avalado por la práctica y permite determinar valores de  $k$  muy próximos a  $10^{-9}$  m/s.
- Para arcillas no saturadas se han descrito tres procedimientos distintos. Todos ellos requieren determinar la curva succión-humedad del suelo en laboratorio. De los tres métodos, los basados en la relación entre el coeficiente de permeabilidad y el grado de saturación o el contenido en volumen de agua del suelo son los que permiten relacionar de forma más directa el parámetro  $k$  con otros parámetros del terreno, cuya evolución en el tiempo se puede determinar con relativa facilidad usando muestras inalteradas extraídas in situ. Por ello se recomienda la utilización conjunta de ambos en los estudios de infiltración que hayan de realizarse con arcillas no saturadas.
- En Anejo al documento se recoge metodología para el análisis de la permeabilidad de capas de arcilla frente a la acción de los lixiviados, cuyo desarrollo todavía no se ha realizado en España. Proponiéndose, como futura línea de desarrollo en el marco de este convenio la puesta a punto de este tipo de ensayos.