

Proyecto de depósitos de almacenamiento de efluentes de industrias agroalimentarias



JUNTA DE ANDALUCÍA
CONSEJERÍA DE AGRICULTURA Y PESCA

PROYECTO DE DEPÓSITOS DE ALMACENAMIENTO DE EFLUENTES DE INDUSTRIAS AGROALIMENTARIAS

Jesús Ayuso Muñoz
José Ramón Jiménez Romero
Francisco Agrela Sainz
Alfonso Caballero Repullo
Javier Merino Crespín
Martín López Aguilar

Título: PROYECTO DE DEPÓSITOS DE ALMACENAMIENTO DE EFLUENTES
DE INDUSTRIAS AGROALIMENTARIAS

© Edita: JUNTA DE ANDALUCÍA. Consejería de Agricultura y Pesca.
Publica: Secretaría General Técnica. Servicio de Publicaciones y Divulgación.

Colección: AGRICULTURA

Serie: Industrias Agroalimentarias

Autores: Jesús Ayuso Muñoz, José Ramón Jiménez Romero, Francisco Agrela Sainz, Alfonso Caballero
Repullo, Javier Merino Crespín, Martín López Aguilar

Fotografías e ilustraciones: Autores

I.S.B.N.: 978-84-8474-242-5

Dep. Legal: SE-3837-08

Maquetación e Impresión: LUMEN GRÁFICA, S.L.

PVP: 29 euros

PRÓLOGO

La enorme cantidad de depósitos existentes en la Comunidad Autónoma Andaluza para el almacenamiento y tratamiento de los efluentes de determinadas industrias agroalimentarias, fundamentalmente del sector de grasas y aceites, unido a su alta carga contaminante, ha dado lugar a un incremento notable del riesgo de que se puedan producir graves daños ambientales en caso de rotura de los mismos. Por ello, y al objeto de minimizar estos posibles efectos, la Administración ha introducido en los últimos años unos cambios profundos en relación a la autorización y legalización de estos depósitos aumentando enormemente las exigencias y controles tanto en la fase de proyecto como en la de explotación.

Las principales modificaciones que hemos detectado al analizar el nuevo marco normativo son las referentes a la clasificación de los depósitos en función de su riesgo potencial, así como la necesidad de elaborar un plan de emergencias en caso de riesgo de rotura del depósito. Por ello, en este libro además de tratar todos los aspectos relacionados con el diseño y proyecto de un depósito, se pretende profundizar en los aspectos más novedosos de la clasificación y elaboración del plan de emergencias.

Con el propósito de aclarar todos los aspectos relacionados con la clasificación de un depósito se ha realizado un ejemplo que se ha introducido como anexo en un fichero que se incluye en el cd que acompaña al libro y que pensamos será de gran utilidad para todos aquellos técnicos y estudiantes relacionados con este campo. Asimismo, se han incluido otros anexos en ficheros formato pdf en los que se proporciona una guía de ayuda para facilitar el uso de dos programas informáticos imprescindibles para la elaboración del proyecto de ejecución de este tipo de depósitos. El primero, es para el análisis de la estabilidad de los taludes de los depósitos de materiales sueltos, mientras que el segundo pretende determinar la llanura de inundación, velocidades y calados originados en caso de su rotura.

ÍNDICE

CAPÍTULO 1.- MARCO LEGISLATIVO	13
1.1. Introducción	15
1.2. Ámbito de aplicación del Decreto 281/2002	19
1.3. Autorizaciones y obligaciones derivadas del Marco Normativo	21
1.3.1. Autorización y control de depósitos de nueva construcción o modificación	21
1.3.1.1. Presentación de solicitudes y documentación	21
1.3.1.2. Tramitación de las solicitudes	22
1.3.1.3. Garantías	23
1.3.1.4. Póliza de seguro	24
1.3.1.5. Inicio de las obras	25
1.3.1.6. Finalización de las obras y autorización de explotación del depósito	25
1.3.2. Autorización y control para depósitos existentes	26
1.3.3. Autorización de abandono y clausura de un depósito	27
1.4. Redacción del proyecto constructivo	31
1.4.1. La memoria	31
1.4.2. Pliego de especificaciones técnicas	32

1.4.3. Planos	32
1.4.4. Presupuestos	33
1.4.5. Anexos	34
1.4.6. Fases del ciclo de vida de un depósito	34
1.5. Normas de seguridad estructural y plan de emergencias	38
1.6. Libro de registro	38
1.7. Informe anual	39
1.8. Régimen sancionador	40

CAPÍTULO 2. PROYECTO TÉCNICO **41**

2.1. Descripción y clasificación de los depósitos	43
2.1.1. Clasificación en función de la situación del depósito	43
2.1.2. Clasificación en función de sus dimensiones	45
2.1.3. Clasificación en función de su objeto	46
2.1.4. Clasificación en función de su riesgo potencial	46
2.1.5. Clasificación final de un depósito	47
2.2. Caracterización de los efluentes de las industrias agroalimentarias	49
2.2.1. Estudios preliminares	49
2.2.2. Plan de muestreo	50
2.2.3. Plan de análisis	50
2.2.4. Efluentes líquidos de industrias afectadas por el Decreto 281/2002 ...	52
2.2.4.1. Almazaras	52
2.2.4.2. Industrias de aderezo de aceitunas	55
2.2.4.3. Industrias conserveras de frutas y hortalizas	56
2.2.4.4. Industrias azucareras	57
2.2.5. Efluentes líquidos de industrias no afectadas por el Decreto 281/2002 ...	57
2.3. Elección del emplazamiento	60
2.3.1. Topografía	60
2.3.2. Geología	64
2.3.3. Sismicidad y condiciones dinámicas del entorno	65
2.3.4. Hidrología	65

2.3.5. Impacto ambiental	66
2.3.6. Otros factores	66
2.4. Estudios previos	69
2.4.1. Cartografía general y topografía de detalle	69
2.4.2. Estudio geotécnico	70
2.4.2.1. Programa de reconocimiento del terreno	71
2.4.2.2. Técnicas de prospección	71
2.4.2.3. Ensayos de campo	73
2.4.2.4. Toma de muestras y ensayos de laboratorio	73
2.4.2.5. Clasificación de suelos	76
2.4.3. Estudios hidrogeológicos	77
2.4.4. Estudios hidrológicos	77
2.4.4.1. Precipitaciones medias y máximas	78
2.4.4.2. El umbral de escorrentía	79
2.4.4.3. Coeficiente de escorrentía	79
2.4.4.4. Periodo de retorno	80
2.4.4.5. Relación entre la intensidad de la lluvia y el caudal desaguado . .	81
2.4.4.6. Caudal de diseño	83
2.4.4.7. Cálculos hidráulicos	85
2.5. Capacidad del depósito	86
2.5.1. Cálculo de la superficie de evaporación	86
2.5.2. Cálculo de la altura del depósito	88
2.6. Diseño geométrico del depósito	91
2.6.1. Disposición en planta	91
2.6.2. Disposición en alzado	92
2.6.2.1. Inclinación de los taludes en terraplén y en desmonte	94
2.6.2.2. Altura de efluente y de resguardo	95
2.6.3. Anchura de coronación	96
2.7. Pantalla de impermeabilización	97
2.7.1. Acciones sobre la pantalla	98
2.7.2. Tipología de pantalla	99
2.7.3. Elementos de la pantalla	99

2.7.4. Anclajes	109
2.7.5. Juntas de construcción y de deformación	112
2.8. Drenaje interior	115
2.9. Análisis de la estabilidad de los taludes	116
2.9.1. Coeficientes de seguridad	120
2.9.2. Cálculo de las presiones intersticiales	122
2.9.2.1. Presiones intersticiales durante la construcción de la presa	122
2.9.2.2. Presiones intersticiales con embalse lleno y talud saturado	123
2.9.2.3. Presiones intersticiales con depósito en niveles mínimos	126
2.9.3. Métodos para el análisis de la estabilidad de los taludes	128
2.9.3.1. Métodos de equilibrio límite	129
2.10. Elementos complementarios	135
2.10.1. Dispositivos de transporte y entrada de aguas	135
2.10.2. Aliviadero	137
2.11. Otros elementos accesorios	139
2.12. Proyecto básico de abandono y clausura	140

CAPÍTULO 3. RIESGO POTENCIAL Y PLANES DE EMERGENCIA 141

3.1. Introducción y aspectos legales en torno a la seguridad en depósitos	143
3.2. Clasificación de depósitos de efluentes líquidos y lodos en función del riesgo potencial	144
3.2.1. Criterios de clasificación de presas	147
3.2.1.1. Definiciones legales de los diferentes depósitos: Presas y Balsas	147
3.2.1.2. Depósitos que se deben clasificar según su riesgo potencial	147
3.2.1.3. Categorías de clasificación	148
3.2.1.4. Aspectos a analizar en la estimación del riesgo	148
3.2.1.5. Criterios básicos para el análisis de las roturas potenciales	151
3.2.1.6. Escenarios de rotura	153
3.2.1.7. Forma y dimensiones de la brecha. Tiempo de rotura	155
3.2.1.8. Datos básicos para el estudio de la propagación de la onda de avenida	156
3.2.1.9. Estimación de riesgos aguas abajo	157
3.2.1.10. Clasificación final de un depósito	158

3.2.2. Metodología a seguir para la clasificación de depósitos de efluentes líquidos o lodos	159
3.2.2.1. Métodos para el estudio de la inundación consecuencia de la rotura de una presa	160
3.2.3. Documentos a incluir en la propuesta de clasificación	164
3.3. Plan de emergencias ante el riesgo de daño grave o rotura del depósito	167
3.3.1. Ámbito de aplicación y contenidos del Plan de Emergencias	167
3.3.2. Análisis de la seguridad estructural	170
3.3.2.1. Fenómenos o situaciones que pueden poner en peligro la seguridad del depósito	170
3.3.2.2. Indicadores de riesgo de rotura del depósito	172
3.3.2.3. Establecimiento de umbrales y escenarios de seguridad	173
3.3.3. Zonificación territorial	177
3.3.4. Normas de actuación	177
3.3.4.1. Responsable de la actuación	177
3.3.4.2. Momento y proceso de la actuación	177
3.3.5. Organización, medios y recursos	180
Bibliografía	183

CONTENIDO DEL CD

Anexo I. Guía de uso del programa Geo-slope 2007 para el análisis de la estabilidad de un talud

Anexo II. Guía de uso del programa FLDAT V 1.1.1j y NWS-FLDWAV para la propuesta de clasificación en función del riesgo potencial

Anexo III. Ejemplo de propuesta de clasificación de un depósito en función del riesgo potencial



1. MARCO LEGISLATIVO

CAPÍTULO 1. MARCO LEGISLATIVO

1.1. INTRODUCCIÓN

La industria agroalimentaria andaluza es el sector industrial más importante de Andalucía, sujeto a profundos cambios como consecuencia de la internacionalización de la economía, las nuevas orientaciones de la Política Agraria Común, los avances tecnológicos, la concentración de la demanda en las cadenas de distribución, la demanda de los consumidores por productos que garanticen la calidad y la seguridad alimentaria, y sin duda sometida a las crecientes exigencias medioambientales.

Según datos del Anuario Estadístico de Andalucía 2007, en el año 2006 había 4.760 empresas inscritas en el Registro de Industrias Agrarias. Por sectores, la principal actividad es la de grasas y aceites con 1.075 establecimientos, seguida de la actividad cárnica, hortofrutícola, vinícolas y lácteas, según se aprecia en la figura 1.1.1. La principal industria dentro de la de grasas y aceites es la del aceite de oliva.

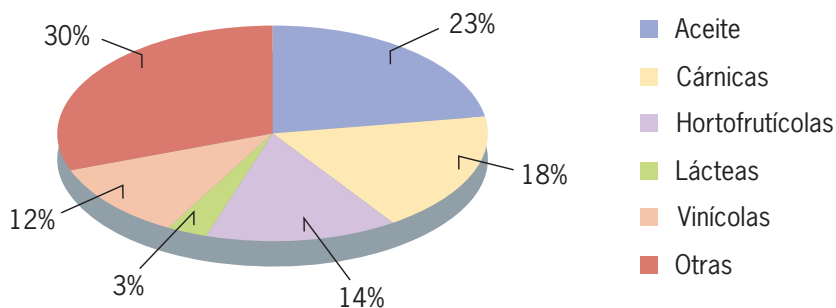


Figura 1.1.1. Distribución de las empresas inscritas en el Registro de Industrias Agrarias según actividad. Año 2006. Fuente: Anuario Estadístico de Andalucía 2007.

Por Decreto 173/2001, de 24 de julio (BOJA Nº 96 de 21 de agosto de 2001) se crea el Registro de Industrias Agroalimentarias de Andalucía y se regula su funcionamiento, este Decreto es modificado por el Decreto 194/2003 de 1 de julio (BOJA Nº 127 de 4 de julio de 2003), en este se establece la siguiente división de industrias:

- a) Industrias enológicas, alcoholes y bebidas alcohólicas.
- b) Industrias de aceites y grasas vegetales.
- c) Industrias de molinería, harinas y derivados, troceados y descascarados.
- d) Industrias de aprovechamientos de fibras textiles.
- e) Industrias de tabaco.
- f) Industrias lácteas.
- g) Industrias cárnicas y pecuarias.
- h) Industrias de piensos, granos y semillas.
- i) Azúcar, mieles y ceras.
- j) Industrias forestales.
- k) Industrias de aderezo y relleno.
- l) Centrales Hortofrutícolas y centros de manipulación de flores y plantas ornamentales.
- m) Industrias acuícolas, marisqueras y pesqueras.
- n) Industrias de zumos de frutas y hortalizas, y otras bebidas de carácter agroalimentario.
- ñ) Industrias de manipulación y conservación.
- o) Otras industrias agroalimentarias.

Algunas de estas industrias llevan asociada la utilización de depósitos de contención de efluentes líquidos o lodos, y están afectadas por el Decreto 281/2002, de 12 de noviembre (BOJA Nº 52 de 26 de diciembre de 2002), posteriores modificaciones y órdenes reguladoras.

A efectos del citado Decreto, se denomina depósito de efluentes líquidos o lodos, de forma abreviada depósito, a toda instalación integrada o no en una actividad industrial, minera o agraria, constituida por una estructura natural o artificial de contención y una acumulación de efluentes o lodos dentro de dicha estructura.

El referido Decreto 281/2002, regula el régimen de autorización y control de los depósitos de efluentes líquidos o de lodos procedentes de actividades industriales, mineras y agrarias, estableciendo los requisitos que han de ser exigidos en el proyecto de

construcción, explotación, abandono y clausura del depósito. Y se dicta, con objeto de completar la regulación existente en la Comunidad Autónoma de Andalucía destinada a prevenir y controlar los riesgos de posibles incidentes en los depósitos de efluentes líquidos o de lodos de las actividades descritas, con respecto a las personas, flora, fauna, bienes o el medio ambiente en general.

El propietario o titular de la explotación del depósito será el responsable de adoptar las medidas necesarias a fin de asegurar que no se produzcan daños al medio ambiente, a las personas y a sus bienes, y garantizará que el depósito, desde la fase de construcción hasta su abandono y clausura, estará dirigido por técnico competente.

De acuerdo con el citado Decreto, las industrias agrarias se debían someter a autorización sin hacer ninguna excepción, ni en función de la actividad, de la dimensión y/o capacidad de sus depósitos, del riesgo o de la complejidad de la instalación. Al igual ocurría con algunas explotaciones agrarias (vaquerías con más de 200 madres, cebaderos de vacuno con más de 1000 cabezas, granjas porcinas con más de 200 madres de crío o más de 1000 plazas de cebo y explotaciones de ovejas y cabras de ordeño con más de 1000 hembras).

La aplicación del citado Decreto 281/2002 puso de manifiesto que la mayor parte de las industrias agroalimentarias tratan sus efluentes mediante depuración y sólo algunas requieren la construcción de depósitos de residuos, además, la mayor parte de los depósitos de las almazaras e industrias de aderezo de aceitunas, ni por el volumen de los efluentes, ni por la peligrosidad de los mismos, debieran estar sometidos al mismo régimen que los de otras actividades industriales con mayor riesgo, ni por tanto, estar incluidas en las mismas condiciones, en su ámbito de aplicación.

Asimismo, en lo que se refiere a las explotaciones agrarias, se ha contrastado que en la mayor parte de los casos, debido a las características de las explotaciones, la aplicación del Decreto 281/2002 obligaba a realizar inversiones superiores a su propia capacidad productiva.

Por todo ello, se dicta el Decreto 167/2005, de 12 de julio (BOJA Nº 137 de 15 de julio de 2005) por el que se modifica el Decreto 281/2002, limitando su ámbito de aplicación e introduciendo modificaciones respecto al artículo relativo a la construcción y explotación de los depósitos, en especial de las balsas de evaporación.

Un ejemplo de empresas con balsas de evaporación son las industrias de aderezo de aceitunas, estas inician su campaña a primeros de septiembre y con el Decreto 281/2002 deberían estar vaciadas tres meses antes, es decir a primeros de junio

y estar vacías durante los meses de junio – julio y agosto, periodo estival y de mayor evaporación. Con la modificación del Decreto, sólo se exigirá que al inicio de la campaña de actividad, el depósito tenga la capacidad libre suficiente como para acumular los efluentes que se vayan a generar, teniendo en cuenta, la superficie de la lámina de evaporación, la propia evaporación esperada, así como la pluviometría y el resguardo por seguridad ante imprevistos.

Por otro lado, la Comunidad Autónoma de Andalucía tiene asumida las competencias exclusivas en materia de agricultura, ganadería y desarrollo rural, en virtud del artículo 48 del Estatuto de Autonomía, las cuales se encuentran atribuidas a la Consejería de Agricultura y Pesca, en virtud de los Decretos 11/2004, de 24 de abril, sobre reestructuración de Consejerías, y 242/2004, de 11 de mayo, de estructura orgánica de la Consejería de Agricultura y Pesca. Según este último corresponden a la **Dirección General de Industrias y Promoción Agroalimentaria** la competencia sobre los depósitos de efluentes líquidos o lodos procedentes de las actividades de las industrias agroalimentarias.

En el BOJA de 24 de noviembre de 2005 (Nº 230) se publica la Orden de 15 de noviembre, por la que se desarrolla el Decreto 281/2002, y regula el régimen de autorización y control de los depósitos de efluentes líquidos o de lodos procedentes de actividades industriales, mineras y agrarias, en lo relativo a las actividades de las industrias agroalimentarias.

CONCLUSIONES

- La Industria Agroalimentaria es el sector industrial más importante de Andalucía, siendo la principal actividad la de aceites y grasas.
- Existe un Registro de Industrias Agroalimentarias de Andalucía, regulado por el Decreto 173/2001 (BOJA Nº 96) y modificado por el Decreto 194/2003 (BOJA Nº 127).
- Algunas de estas Industrias llevan asociada la utilización de depósitos de contención de efluentes líquidos o lodos, y están afectadas por el Decreto 281/2002 (BOJA Nº 52).
- El Decreto 281/2002 regula el régimen de autorización y control de los depósitos de efluentes líquidos o lodos procedentes de actividades industriales,

mineras y agrarias, estableciendo los requisitos que han de cumplir el proyecto de construcción, explotación, abandono y clausura del depósito.

- De acuerdo con el citado Decreto, las Industrias Agrarias debían someterse a autorización sin hacer ninguna excepción. Sin embargo, la mayor parte de los depósitos de estas industrias, ni por el volumen de efluentes, ni por la peligrosidad de los mismos, deberían estar sometidas al mismo régimen que los de otras con mayor riesgo.
- En base a lo anterior, se dicta el Decreto 167/2005 (BOJA Nº 137) que modifica el Decreto 281/2002, limitando su ámbito de aplicación.
- De acuerdo con las competencias de la Comunidad Autónoma de Andalucía, corresponde a la **Dirección General de Industrias y Promoción Agroalimentaria de la Consejería de Agricultura y Pesca** la autorización y control de los depósitos de efluentes o lodos procedentes de las Industrias Agroalimentarias.
- La Orden de 15 de noviembre de 2005 (BOJA Nº 230) desarrolla el Decreto 281/2002 en lo relativo a las Industrias Agroalimentarias.

1.2. ÁMBITO DE APLICACIÓN DEL DECRETO 281/2002

De acuerdo con la modificación que incluye el Decreto 167/2005, el Decreto 281/2002 será de aplicación, en lo no regulado por su normativa específica, a los depósitos de efluentes líquidos o lodos existentes en actividades industriales, incluidas las agroalimentarias y mineras, con las siguientes exclusiones:

- a) Las actividades ganaderas, que serán reguladas por su normativa específica.

A partir de la entrada en vigor del Decreto 14/2006, de 18 de enero, por el que se crea y regula el Registro de Explotaciones Ganaderas de Andalucía (BOJA Nº 14 de 2006), la gestión de los excrementos sólidos y líquidos se adecuará a lo dispuesto en la normativa vigente y en la que al efecto se establezca para cada especie. En caso de no recogerse en ésta explícitamente, las explotaciones intensivas contarán como mínimo con balsas que deberán estar debidamente valladas en todo su perímetro, cuyo vaso se encuentre

impermeabilizado artificialmente, excavadas desde el nivel del suelo con una profundidad máxima de 2,5 m, manteniendo, en todo caso, una distancia de seguridad mínima de 50 cm entre la superficie de la lámina de efluente y el borde de la balsa.

- b) Los depósitos de evaporación de efluentes procedentes de actividades agroalimentarias cuyo vaso esté debidamente impermeabilizado, tenga una diferencia de altura, entre el fondo y la cota superior máxima de la lámina de efluente o lodo del depósito, menor de 2 m, y con un resguardo mínimo, entre la superficie de la lámina y la coronación del dique, de 50 cm, con capacidad de almacenamiento inferior a 5000 m³ y que los efluentes líquidos que almacenen no tengan la consideración de residuos peligrosos, según la lista de residuos peligrosos aprobada mediante la Orden MAM/303/2002 de 8 de febrero, y se encuentren incluidos en el proyecto requerido para la inscripción de la industria en el Registro de Industrias Agroalimentarias de Andalucía.
- c) Los depósitos intermedios o de tránsito de efluentes o lodos procedentes de actividades agroalimentarias debidamente impermeabilizados, de capacidad menor de 1000 m³, de acumulación previa a su tratamiento y aquellos otros que tienen por objeto facilitar la carga de efluentes o lodos en vehículos, para su transporte al lugar de su tratamiento definitivo, bien sea para su eliminación o valorización, y se encuentren incluidos en el proyecto requerido para la inscripción de la industria en el Registro de Industrias Agroalimentarias de Andalucía.

Igualmente están sujetas a este Decreto las estructuras subterráneas definidas en la Ley 2/1973 de Minas, a excepción de las que almacenan exclusivamente aguas no residuales.

CONCLUSIONES

- Según el Decreto 167/2005 quedarán excluidas de la aplicación del Decreto 281/2002, las siguientes:
 - Actividades ganaderas, que serán reguladas por su normativa específica.
 - Los depósitos de evaporación de efluentes procedentes de Industrias Agroalimentarias, si cumplen los siguientes requisitos:
 - El vaso se encuentra debidamente impermeabilizado.

- La diferencia de altura, entre el fondo y la cota superior máxima de la lámina de efluente sea menor a 2 m y con un resguardo mínimo entre la superficie de la lámina y la coronación del dique de 50 cm.
 - Capacidad de almacenamiento inferior a 5.000 m³.
 - Que los efluentes líquidos que almacenen no tengan la consideración de residuos peligrosos (Orden MAM/303/2002 de 8 de febrero).
 - El depósito se encuentra incluido en el Proyecto requerido para la inscripción de la Industria en el Registro de Industrias Agroalimentarias de Andalucía.
- Los depósitos intermedios o de tránsito de efluentes o lodos de industria agroalimentarias debidamente impermeabilizados, de capacidad inferior a 1.000 m³ y que se encuentren incluidos en el Proyecto requerido para la inscripción de la industria en el Registro de Industrias Agroalimentarias de Andalucía.

1.3. AUTORIZACIONES Y OBLIGACIONES DERIVADAS DEL MARCO NORMATIVO

Los depósitos de efluentes líquidos o de lodos procedentes de industrias agroalimentarias, y no excluidas del ámbito de aplicación del Decreto 281/2002, tienen que estar previamente autorizadas para su construcción, explotación y abandono.

Debe distinguirse entre los trámites para la autorización y control de los depósitos de nueva construcción y los trámites necesarios para la autorización y control de aquellos depósitos existentes a la fecha de entrada en vigor del Decreto 281/2002.

1.3.1. AUTORIZACIÓN Y CONTROL DE DEPÓSITOS DE NUEVA CONSTRUCCIÓN O MODIFICACIÓN

1.3.1.1. Presentación de solicitudes y documentación

Los titulares de los depósitos deberán formular su solicitud dirigida a la Delegación Provincial de Agricultura y Pesca de acuerdo con el modelo del Anexo I de la Orden

de 15 de noviembre de 2005 (BOJA Nº 230), y presentada preferentemente en la Oficina Comarcal Agraria o Delegación Provincial de la Consejería de Agricultura y Pesca correspondiente a la ubicación de las instalaciones.

Si en un depósito existente se va a efectuar alguna modificación, igualmente antes de su realización los titulares del mismo deberán presentar una nueva solicitud de autorización.

Las solicitudes para la autorización de depósitos nuevos o de modificación deberán ir acompañados de la siguiente documentación:

- a) Identificación del titular (DNI, CIF, Estatutos de la sociedad).
- a) Alta en el epígrafe del impuesto de actividades económicas.
- c) Proyecto técnico constructivo, firmado por técnico competente y visado por el Colegio Profesional. Incluirá valoración del riesgo ambiental.
- d) Justificación de la capacidad técnica y económica del solicitante.
- e) Normas de Seguridad Estructural y Plan de Emergencia.
- f) Informe técnico elaborado por una Entidad de Control Acreditada y autorizada al efecto, que dictamine sobre el proyecto, las Normas de Seguridad Estructural y Plan de Emergencia y determine el importe mínimo de las garantías necesarias que deberá satisfacer el titular.
- g) Estudio Básico o Anteproyecto del posible abandono y clausura del depósito.

En la Web de la Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía, en el apartado de Agroindustria y Calidad – Balsas, se pueden consultar las Entidades de Control Acreditadas y autorizadas.

1.3.1.2. Tramitación de las solicitudes

La tramitación de los expedientes corresponde a las Delegaciones Provinciales de la Consejería de Agricultura y Pesca.

En el plazo de un mes a contar desde la presentación de la solicitud y completada la documentación del expediente, esta será remitida a la Delegación Provincial de la Consejería de Medio Ambiente.

En la tramitación del expediente se tendrá en cuenta la Ley 7/2007 de Gestión Integrada de la Calidad Ambiental, que deroga a la Ley 7/1994 de 18 de mayo de Protección Ambiental de Andalucía.

En el Anexo I de la Ley 7/2007 se establecen las categorías de actuación y los instrumentos de prevención y control ambiental a los que tendrán que someterse los Proyectos de Industrias Agroalimentarias, y que son: Autorización Ambiental Integrada (AAI), Autorización Ambiental Unificada (AAU) y la Calificación Ambiental (CA).

En el plazo máximo de seis meses a contar desde la fecha de solicitud y una vez tramitado el procedimiento ambiental correspondiente, se procederá a dictar y notificar la Resolución denegatoria o de autorización para la construcción del depósito en la que se fijarán las cuantías de las garantías y de la póliza a suscribir, así como el condicionado que establezca la Resolución del Instrumento de prevención y control ambiental. Transcurrido dicho plazo sin notificación expresa se entenderá admitida la solicitud.

1.3.1.3. Garantías

El titular de un depósito debe disponer de unas garantías, fijadas en la correspondiente autorización administrativa, que habrán de constituirse antes del inicio de la construcción, de cuantía suficiente para responder de la restauración de los terrenos afectados por un posible accidente y para dar cumplimiento a las obligaciones del titular en las fases de abandono y clausura del depósito.

A cuenta de esta garantía, en el caso de que el titular no responda a sus obligaciones, se procederá a la ejecución forzosa de sus obligaciones. La cuantía exigida a esta garantía se calculará en función del presupuesto del anteproyecto de abandono y clausura aprobado, y se ponderará en función de la clasificación dada al depósito, de las características de riesgos del depósito y de los efluentes líquidos o lodos almacenados, y de las consecuencias de un posible accidente.

Según datos de la Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía, actualmente la cuantía de la garantía es equivalente al presupuesto del anteproyecto de abandono y clausura, salvo que el presupuesto no se ajuste a precios reales. No se considera ningún factor de ponderación, dado el bajo riesgo de los depósitos de industrias agroalimentarias.

Si el titular del depósito ya posee una garantía que le ha sido anteriormente exigida en virtud del artículo 52.4 de la Ley 7/2002 de Ordenación Urbanística de Andalucía, puede presentar un documento justificativo de dicha garantía. A la hora de

constituir la garantía, ésta se puede realizar mediante alguna de las posibilidades que recoge la ley.

El importe de las garantías debe ser actualizado al comienzo de cada ejercicio. Para esta actualización se utilizará el Índice de Precios Industriales, índice publicado por el Instituto Nacional de Estadística.

Para el abandono de un depósito, la cuantía de la fianza establecida será revisada por la Delegación Provincial de Agricultura y Pesca, para asegurar y garantizar el cumplimiento de las obligaciones por parte del titular. Una vez presentado el informe o dictamen de una Entidad de Control Acreditada y autorizada al efecto, en el que se dictamine que las obras de abandono se han ejecutado de conformidad a lo previsto en el proyecto y se ha respetado la legislación vigente y obtenida la autorización de abandono definitivo, se devolverá la fianza al titular del depósito.

1.3.1.4. Póliza de seguro

El Titular del depósito, de acuerdo con lo establecido en el Art. 13 del Decreto 281/2002, está obligado a tener suscrita una póliza de seguros de responsabilidad ante terceros, que cubra como mínimo los daños a personas, estructuras, bienes, flora y fauna.

En la autorización se fijará la cuantía mínima necesaria de cobertura que debe figurar en la póliza, que será de acuerdo con el tipo de riesgo potencial y la clase del depósito, con las siguientes limitaciones:

- Depósitos de la Clase 1: Cuantía mínima 1 millón de euros
- Depósitos de la Clase 2: Cuantía mínima 0,75 millones de euros
- Depósitos de la Clase 3: Cuantía mínima 0,30 millones de euros
- Depósitos de la Clase 4: Cuantía mínima 0,10 millones de euros

Estas cantidades mínimas se corresponden con el tipo de riesgo Categoría C y serán incrementadas en tramos de un 10%, para cada tipo de riesgo potencial mayor del depósito.

En el caso de depósitos de evaporación natural de riesgo potencial Categoría C, y con una capacidad de almacenamiento inferior a 7.500 m³, la cuantía mínima anteriormente especificada será reducida un 50%, igualmente tendrán esta consideración los depósitos de evaporación forzada del mismo riesgo y una capacidad inferior a los 10.000 m³.

Asimismo, en el caso de una instalación con varios depósitos independientes, la suma de las cuantías resultante de aplicar los baremos establecidos a cada uno de los depósitos, podrá ser reducida en un 50%, dependiendo de la clase y tipo de cada uno de los depósitos que componen el conjunto.

La suma asegurada será revisada, a comienzo de cada ejercicio, de acuerdo con el índice publicado por el Instituto Nacional de Estadística.

1.3.1.5. Inicio de las obras

El titular del depósito, previamente al inicio de las obras, deberá comunicar a la Delegación Provincial de Agricultura y Pesca correspondiente, la fecha de inicio y los datos del Técnico titulado competente, designado por el titular, para velar por el cumplimiento del diseño proyectado y de las especificaciones definidas de los materiales, así como para garantizar la seguridad de todas las obras o componentes de la estructura, con atención especial a la preparación y tratamiento de los terrenos, especialmente en la zona de asentamiento del dique o diques, y a la impermeabilización del vaso del depósito.

El titular del depósito deberá antes del inicio de las obras, presentar el justificante de haber depositado las garantías exigidas y de haber suscrito la póliza de seguro correspondiente, la licencia municipal de obras y un libro de registro del depósito para su diligencia, según el modelo determinado por la Consejería de Agricultura y Pesca.

En el caso de presas de Clase 1 y 2, se podrá solicitar adicionalmente el concurso de una Entidad de Control y autorizada al efecto para la supervisión de la ejecución de las obras.

1.3.1.6. Finalización de las obras y autorización de explotación del depósito

A la finalización de las obras, el titular del depósito presentará, en la Delegación Provincial de Agricultura y Pesca correspondiente, la certificación final de las mismas, firmada por técnico competente y visado por el Colegio Profesional correspondiente. En esta certificación se harán constar las inspecciones realizadas durante la ejecución de las obras, así como de las posibles incidencias ocurridas en cada una de las sucesivas fases y si estas han sido anotadas en el libro de registro del depósito, y en su caso corregidas.

Para presas de Clase 1 y 2, se necesitará un informe técnico elaborado por una Entidad de Control Acreditada y autorizada al efecto.

En el plazo máximo de tres meses a contar desde la fecha de recepción de la certificación final de obras, y realizadas las comprobaciones oportunas, la Delegación Provincial dictará resolución de autorización de explotación.

El titular del depósito tendrá la obligación de comunicar al Órgano competente, antes de iniciar la explotación, el nombre, dirección completa y titulación del técnico encargado de la explotación del depósito, de su mantenimiento y conservación.

Además de la información y documentación anteriormente mencionada, durante todo el ciclo de vida del depósito, el titular del depósito debe presentar dentro del mes de enero de cada año, un informe elaborado por un técnico competente sobre el estado del depósito. En el caso de que el depósito sea utilizado en campañas anuales discontinuas, este informe debe ser entregado quince días antes del comienzo de la campaña, una vez vacía la instalación de los productos de la campaña anterior. El contenido de este informe anual se describe en el apartado 1.7.

1.3.2. AUTORIZACIÓN Y CONTROL PARA DEPÓSITOS EXISTENTES

Los titulares de los depósitos existentes deben presentar ante la Delegación Provincial de Agricultura y Pesca, en un plazo no superior a seis meses desde la entrada en vigor del Decreto 281/2002 (12/05/2003), la documentación relativa a la autorización del depósito así como de las Normas de Seguridad Estructural y Plan de Emergencias del mismo.

La documentación a presentar para aquellos depósitos en fase de explotación es la siguiente:

- **Libro registro.** A fecha de entrada en vigor del Decreto 281/2002 (12/11/2002), el titular de un depósito de efluentes líquidos o lodos debe disponer de un Libro Registro para el depósito.
- **Garantías.** A partir del 12/02/2003, el titular del depósito debe haber presentado una garantía provisional suficiente para poder hacer frente a la posible restauración de los terrenos en el caso que fuera necesario. Asimismo, antes del 12/11/2003, el titular del depósito ha debido cumplir con los preceptos establecidos para las garantías de los depósitos fijados en el artículo 12 del Decreto 281/2002.
- **Pólizas de seguro.** Al igual que para las garantías, en un plazo de tres meses a partir de la entrada en vigor del Decreto 281/2002, el titular del depósito

debe tener cubiertos mediante una póliza de seguros de cuantía suficiente, el hacer frente a las posibles indemnizaciones por los daños que pudieran ocasionarse por la materialización de un accidente en el depósito o su funcionamiento incorrecto (fugas, filtraciones). Asimismo, antes del 12/11/2003, el titular del depósito debe poseer una póliza de seguro con los requisitos establecidos para dicha póliza, en el artículo 13 en el Decreto 281/2002.

- **Normas de Seguridad Estructural y Plan de Emergencia.** Los contenidos mínimos exigidos para las Normas de Seguridad Estructural y Plan de Emergencia se describen de manera detallada en el apartado 1.5.
- **Informe anual.** Además de la información/documentación anteriormente mencionada, durante todo el ciclo de vida del depósito, el titular del depósito debe presentar dentro del mes de enero de cada año, un informe elaborado por un técnico competente sobre el estado del depósito. En el caso de que el depósito sea utilizado en campañas anuales discontinuas, este informe debe ser entregado quince días antes del comienzo de la campaña, una vez vacía la instalación de los productos de la campaña anterior. El contenido de este informe anual se describe en el apartado 1.7.

1.3.3. AUTORIZACIÓN DE ABANDONO Y CLAUSURA DE UN DEPÓSITO

Para aquellos depósitos en los que el titular tenga la intención de cerrar y abandonar definitivamente el depósito por cese de la explotación del mismo o por condiciones económicas o de otro tipo, dicho titular deberá presentar con una antelación de seis meses al cierre de la explotación la siguiente documentación ante la Delegación Provincial de la Consejería Provincial de Agricultura y Pesca:

- Solicitud de abandono y clausura acompañada de Proyecto definitivo de abandono y clausura del depósito que garantice a largo plazo la seguridad estructural del mismo y evite cualquier proceso de contaminación. Este proyecto de abandono y clausura deberá ir firmado y dirigido por un Técnico Titulado competente.
- Certificación final de las obras de abandono y clausura del depósito firmada por el técnico competente y visado por el Colegio Profesional correspondiente, una vez haya sido aprobado el proyecto de abandono y clausura.

CONCLUSIONES

- Los depósitos de efluentes líquidos o de lodos procedentes de industrias agroalimentarias, y no excluidas del ámbito de aplicación del Decreto 281/2002, tienen que estar previamente autorizadas para su construcción, explotación y abandono. Se pueden solicitar:
 - Autorización del proyecto de construcción de depósito o depósitos para efluentes líquidos
 - Autorización del proyecto de construcción de depósito o depósitos de lodos.
 - Autorización de explotación del depósito o depósitos existentes en la empresa.
 - Autorización de clausura y abandono definitivo.

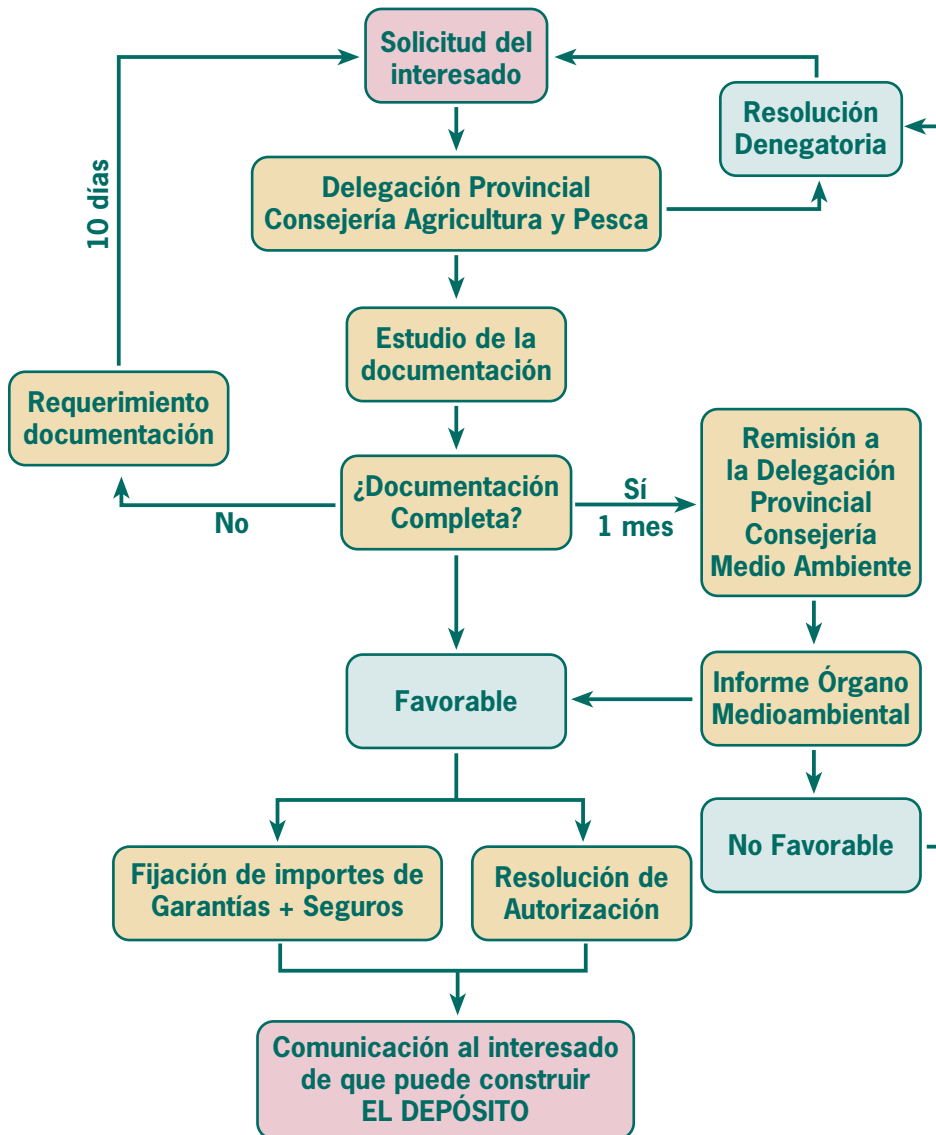


Figura 1.3.1. Diagrama de autorización para la construcción de un depósito. Antes de iniciar las obras. Fuente: Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía

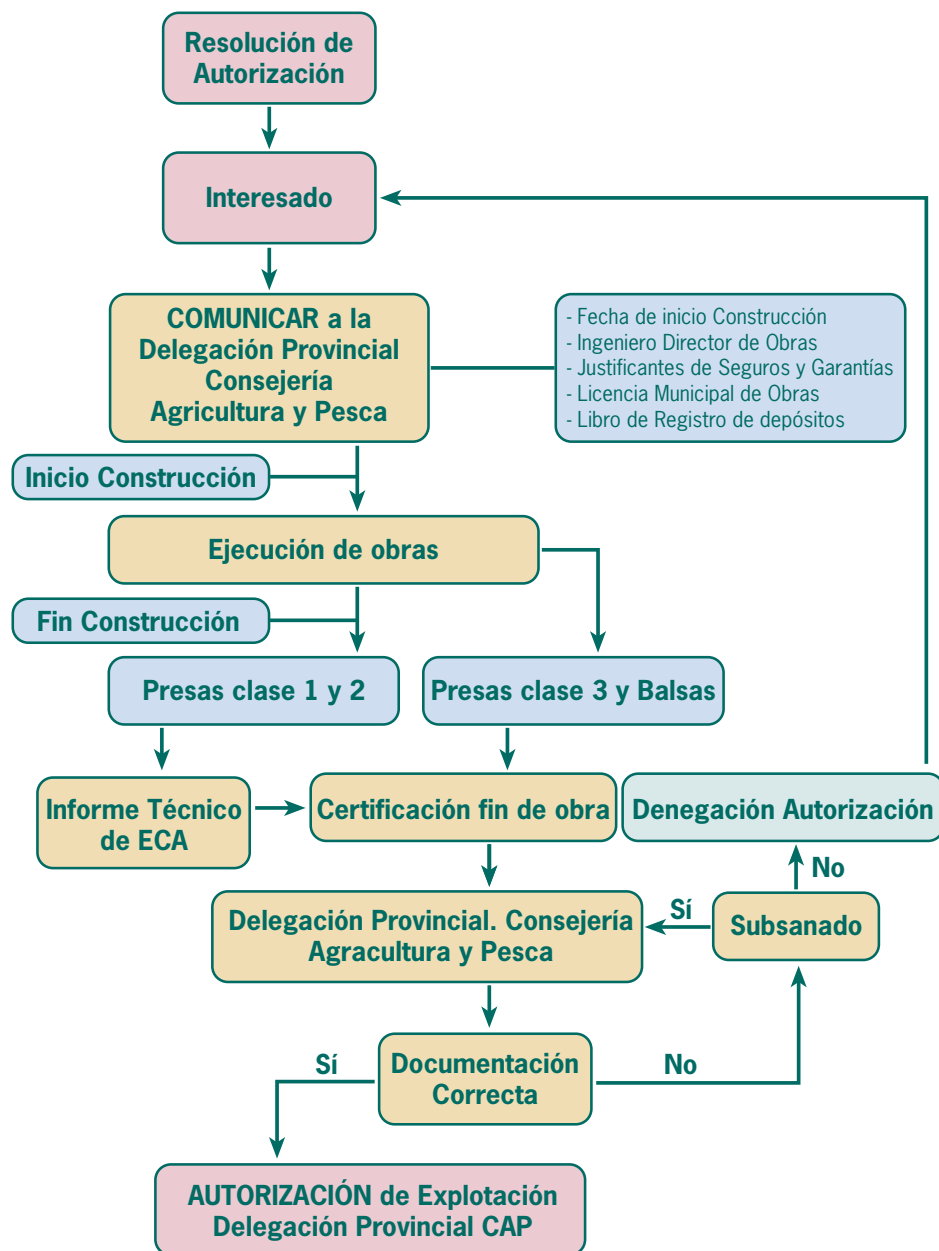


Figura 1.3.2. Diagrama de autorización para la explotación del depósito. Fuente: Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía

1.4. REDACCIÓN DEL PROYECTO CONSTRUCTIVO

Se entiende por proyecto de construcción de un depósito el conjunto de estudios y documentos que comprenden: la definición y dimensionamiento del depósito, la justificación del emplazamiento, la caracterización de los efluentes líquidos o lodos a depositar, de los materiales de construcción del dique y obras auxiliares, los estudios técnicos de apoyo necesarios, las medidas para su ejecución y control, los estudios de afección al medio natural, las medidas correctoras, y las medidas a aplicar cuando finalice la vida activa del depósito a efectos de su abandono y clausura.

Una parte importante del proyecto constructivo será el estudio detallado de las medidas de seguridad tanto para garantizar la estabilidad del depósito como para la seguridad de las personas y bienes sobre los que pudiera tener influencia, así como la del personal que intervenga directamente en las fases de construcción, explotación, abandono y clausura del depósito.

La modificación o recrecimiento de un depósito exigirá de un proyecto que complemente o modifique el previamente aprobado.

En todos los casos el proyecto incluirá, los siguientes documentos:

- Memoria
- Pliego de especificaciones técnicas
- Planos
- Presupuesto
- Anexos

Además el proyecto incluirá las normas de seguridad estructural y plan de emergencias y los estudios de seguridad y salud laboral.

El proyecto constructivo deberá considerar las diferentes fases del ciclo de vida del depósito.

1.4.1. LA MEMORIA

La memoria tratará fundamentalmente los siguientes aspectos:

- Ubicación del depósito y en su caso tipo de presa en función del emplazamiento en el terreno.

- Clase y tipo del depósito en función de sus dimensiones y riesgos potenciales.
- Sistema de transporte de lodos y efluentes líquidos a emplear
- Evolución prevista del volumen de líquidos existente y de lodos decantados en el depósito a lo largo de la vida del proyecto con estimación de porcentajes de reciclado, ritmo de elevación, etc.
- Curvas de superficies de depósito, volúmenes de lodos y líquidos, ritmo de elevación, etc.
- Características físico-químicas de los sólidos decantados
- Características de los efluentes
- Dimensionamiento del dique de la presa y cálculo de la estabilidad del depósito
- Control y gestión de las aguas superficiales y subterráneas durante la explotación del depósito
- Materiales de construcción y especificaciones técnicas que deben cumplir
- Dispositivos de drenaje y desagüe para garantizar la estabilidad del dique de la presa y control de las avenidas en periodos de máxima precipitación
- Medidas para el control de la contaminación
- Medidas de seguridad y salud laboral durante la construcción y explotación del depósito
- Normas de seguridad estructural y plan de emergencias

1.4.2. PLIEGO DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Este documento contendrá las descripciones generales de los trabajos a desarrollar, las características de los materiales y equipos, la forma de ejecución, etc.

Se hará referencia a las normas y reglamentos oficiales que deberán cumplirse en las diferentes fases del ciclo de vida del depósito.

1.4.3. PLANOS

Los planos del proyecto serán completos y suficientes e incluirán toda la información necesaria sobre los detalles de las obras y sus características constructivas así como la zona de influencia afectada. Los planos se elaborarán normalizados de acuerdo

con las normas UNE, tanto en formatos como en escalas utilizadas, y la distribución de los dibujos sobre ellos se realizará de acuerdo con las normas de dibujo técnico.

Los planos en los que se represente el terreno donde se emplazarán el depósito y otras instalaciones auxiliares incorporarán las referencias de la cartografía oficial.

Con carácter preceptivo se incluirán los siguientes planos:

- Plano general de situación: Escala 1:25.000 ó 1:10.000
- Plano de la totalidad de la cuenca hidrográfica.
- Plano del perímetro afectado e instalaciones: Escala 1/5000 (abarcará una superficie cuyo límite diste 500 m como mínimo alrededor del depósito e instalaciones anexas).
- Plano del depósito y zona de influencia: Escala 1/5000 a 1/200 (equidistancia curvas de nivel = 1 m).
- Plano de cartografía geológico-geotécnica del área del depósito y zona de influencia. Escala 1:2000 a 1:200.
- Planta general del dique de la presa y de las obras con él relacionadas.
- Planta, alzados y secciones suficientes para definir con entera claridad el depósito y las instalaciones anexas.
- Planos detallados de las obras de desvío de cauces existentes o interceptación del agua superficial.
- Planos detallados de los dispositivos de evacuación o desagüe del depósito, en régimen normal de explotación o en períodos de emergencia durante precipitaciones máximas.
- Planos detallados de los dispositivos de impermeabilización del dique y vaso del depósito, en su caso.
- Plano de situación de los dispositivos previstos para el control y vigilancia del depósito.
- Planos, en su caso, de las fases de recrecimiento del depósito. Plantas y perfiles.

1.4.4. PRESUPUESTOS

Este documento incluirá la descripción de las distintas partidas con sus precios unitarios, la valoración de los estudios a realizar y el coste total del proyecto.

1.4.5. ANEXOS

El proyecto irá acompañado del conjunto de anexos que de forma genérica se detallan a continuación. Su profundidad y alcance dependerá de los riesgos potenciales que presente el depósito de lodos, con especial atención a la estabilidad geotécnica, control de la contaminación ambiental y seguridad durante la explotación y abandono definitivo.

Anexos:

- Estudio geológico – geotécnico del emplazamiento.
- Estudio hidrogeológico del emplazamiento.
- Estudio hidrológico.
- Estudio de los lodos y efluentes a depositar.
- Estudio de los materiales para la construcción del dique de una presa.
- Estudio de estabilidad geotécnica de las presas.
- Estudio sismorresistente
- Estudio de seguridad y salud
- Estudio de impacto ambiental

1.4.6. FASES DEL CICLO DE VIDA DE UN DEPÓSITO

El proyecto constructivo del depósito deberá considerar las distintas fases de su ciclo de vida, que son:

- a) Fase de elección del emplazamiento, planificación y conceptualización.

El objetivo de la fase de elección del emplazamiento es identificar el lugar más adecuado para construir el depósito, tomando en consideración los costes de construcción y de operación, el impacto ambiental, el riesgo, la utilización de recursos y la viabilidad técnica.

- b) Fase de estudio del emplazamiento y caracterización de los lodos y efluentes líquidos.

Esta fase tiene como fin obtener suficiente información acerca de las propiedades geotécnicas e hidrogeológicas del área a ocupar y, también, de los lodos y efluentes a depositar.

En esta fase se evaluará la probabilidad de que se produzca algún seísmo y su magnitud.

c) Fase de diseño.

En esta fase se definirán la geometría y estructura del dique de la presa si la hubiera; los materiales constituyentes y sus especificaciones, los sistemas u obras de desagüe; los dispositivos de drenajes y control de las filtraciones; las necesidades de tratamiento o impermeabilización del vaso; la infraestructura necesaria, etc.

Se incluirán una planificación de la construcción o explotación del depósito a lo largo de su vida, determinándose los ritmos de elevación o recrecimiento, los diseños parciales, los dispositivos de seguridad o emergencia, el método de operación, la infraestructura, etc.

En esta fase se realizarán los estudios de estabilidad.

d) Fase de construcción, trabajos preparatorios y de puesta en marcha.

Desde el punto de vista técnico, los objetivos básicos de esta fase serán: velar por el cumplimiento del diseño proyectado y de las especificaciones definidas de los materiales, así como garantizar la seguridad de todas las obras o componentes de la estructura para que funcionen adecuadamente durante el período de explotación.

El titular del depósito designará un técnico titulado competente que velará por el cumplimiento de los objetivos anteriores.

e) Fase de explotación u operación.

Técnicamente en esta fase se describirán las medidas para: garantizar la seguridad y estabilidad del depósito de acuerdo con el diseño aprobado y con las exigencias legales, cumplir con los requerimientos medioambientales e intentar alcanzar la situación final prevista para el abandono y clausura.

Como aspectos técnicos fundamentales, en el caso de lodos, se observará la distribución de los mismos en el conjunto del depósito con el fin de conseguir la forma geométrica adecuada, manteniendo el líquido embalsado en una posición que garantice que la segregación de los lodos no compromete la integridad estructural del depósito; el mantenimiento del resguardo mínimo

mediante; la limitación de los ritmos de recrecimiento o elevación a los valores prescritos; el control de la construcción del dique perimetral de la presa para alcanzar la forma geométrica, la compactación y las resistencias al corte previstas; el control de posición y nivel del líquido dentro del depósito con el debido resguardo para evitar el rebose en caso de avenida; el control del drenaje del dique, y el control del funcionamiento del sistema.

Deberá incluir un plan coordinado de auscultación e inspecciones periódicas del depósito, orientado a la comprobación de su seguridad y estado de funcionamiento, prestando especial atención a: filtraciones (aforo y sistema de bombeo de retorno a depósitos), subpresiones (intersticiales: piezómetros), asientos y desplazamientos. Este plan señalará el alcance y periodicidad de las inspecciones, así como la composición del equipo encargado de la toma de datos del sistema de auscultación, con indicación de la frecuencia de lectura de cada aparato, las especificaciones relativas a la recogida, procesado de información y el método para su interpretación.

Después de un acontecimiento extraordinario, como seísmos, modificación brusca de los niveles u otros, se debe tener previsto realizar un reconocimiento del depósito y de sus instalaciones, incluidos los accesos y comunicaciones, cuyas incidencias se recogerán en el Libro de Registro del depósito.

Por otra parte, durante la fase de explotación el titular deberá realizar los trabajos de conservación de la obra, maquinaria e instalaciones con la finalidad de mantener permanentemente los niveles de seguridad requeridos y garantizar su correcta operación. El titular del depósito tendrá la obligación de comunicar al órgano competente, antes de iniciar la explotación el nombre, dirección completa y titulación del técnico encargado de la explotación.

f) Fase de abandono y clausura.

Se entiende como abandono de un depósito, cuando se produzca el cese definitivo de los trabajos de utilización y la clausura del mismo con el cierre y abandono definitivo del depósito por su titular obteniendo, previa presentación de un proyecto, la aprobación de la autoridad competente.

CONCLUSIONES

- Los depósitos de nueva construcción o sus modificaciones, necesitan un proyecto de construcción.
- El proyecto de construcción constará como mínimo de:
 - Memoria
 - Pliego de especificaciones técnicas
 - Planos
 - Presupuesto
 - Anexos
 - Estudio geológico – geotécnico del emplazamiento.
 - Estudio hidrogeológico del emplazamiento.
 - Estudio hidrológico.
 - Estudio de los lodos y efluentes a depositar.
 - Estudio de los materiales para la construcción del dique de una presa.
 - Estudio de estabilidad geotécnica de las presas.
 - Estudio sismorresistente
 - Estudio de seguridad y salud
 - Estudio de impacto ambiental
 - A la hora de elaborar el proyecto constructivo se debe considerar las distintas etapas o fases del ciclo de vida del depósito:
 - Fase de elección e investigación del emplazamiento, planificación y conceptualización.
 - Fase de caracterización de los lodos y efluentes líquidos
 - Fase de diseño
 - Fase de construcción y trabajos preparatorios
 - Fase de puesta en marcha
 - Fase de explotación u operación
 - Fase de reutilización
 - Fase de clausura y abandono

1.5. NORMAS DE SEGURIDAD ESTRUCTURAL Y PLAN DE EMERGENCIAS

El titular de un depósito, en función de su Clase y tipo de riesgo, se responsabilizará de la elaboración por técnico competente, de unas normas de seguridad estructural y un plan de emergencias, con los contenidos básicos establecidos en el Art. 9 del Decreto 281/2002, que previa aprobación por la Delegación Provincial de Agricultura y Pesca correspondiente, serán de aplicación en cada una de las fases del ciclo de vida del depósito.

Si el depósito, con independencia de la clase, es de riesgo potencial tipo Categoría A, el titular elaborará el citado plan de emergencias ante el riesgo de daño grave o rotura de la presa con el contenido mínimo siguiente, y que en el capítulo 3 se desarrolla con mayor profundidad:

- a) Análisis de seguridad del depósito.
- b) Zonificación territorial y análisis de los riesgos generados por la rotura del depósito.
- c) Normas de actuación.
- d) Organización.
- e) Medios y recursos.

Para el resto de depósitos el plan de emergencias contendrá: una memoria descriptiva sobre los posibles riesgos y zona afectada en caso de rotura, de acuerdo con el Art. 10 de la Orden de 15 de noviembre.

Los depósitos de clase 3 y 4 cuyo objeto sea la eliminación de efluentes líquidos por evaporación y de riesgo categoría C, sólo se les requerirá una memoria en la que se describan los posibles riesgos y la zona de afección directa, en el caso de una hipotética rotura del depósito, así como una breve descripción de las normas de actuación del plan de emergencias, la organización y medios de que se dispone.

1.6. LIBRO DE REGISTRO

El libro de registro es uno de los documentos que el titular del depósito debe disponer para poderlo presentar ante la Delegación Provincial de la Consejería de Agricultura y Pesca. A la hora de su presentación el libro registro del depósito debe

estar encuadernado y foliado, en cuya primera hoja se extienda diligencia, constando el número de hojas y el destino del libro.

El objetivo de este libro es recoger cronológicamente todas las incidencias que tengan lugar durante las fases sucesivas del depósito. En particular debe incluir las siguientes:

- Incidencias en la construcción que puedan influir en el comportamiento y seguridad futura del depósito.
- Incidencias que afecten a parámetros técnicos fundamentales a controlar en el caso de depósitos de lodos.
- Incidencias relacionadas con filtraciones, subpresiones, asientos y desplazamientos.
- Las originadas por cualquier comportamiento anómalo.
- Las incidencias que supongan la modificación de las condiciones de seguridad en cualquier fase del ciclo de vida del depósito.
- Las producidas en el depósito y sus instalaciones auxiliares (accesos, comunicaciones, red eléctrica).

La Dirección General de Industrias y Promoción Agroalimentaria ha establecido, según Resolución de 2 de diciembre de 2005, el diseño del libro de registro, el cual se puede descargar de la página Web de la Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía, en el apartado de Agroindustria y Calidad.

1.7. INFORME ANUAL

Tanto para los depósitos en construcción como para los ya existentes a fecha de entrada en vigor del Decreto 281/2002, el informe anual entregado a la Delegación Provincial de Agricultura y Pesca debe demostrar el correcto estado del depósito y en particular en lo referente a:

- Estabilidad.
- Erosión.
- Grado de llenado.
- Posibles filtraciones.
- Otros aspectos que pudieran inducir en un posible episodio de fuga o rotura.

- Información relativa a la evolución de la construcción.
- Operatividad de los medios técnicos y humanos disponibles en el depósito.
- Confirmación de que el depósito no ha sufrido ninguna modificación desde el último informe.

Asimismo, en el caso de que se haya detectado alguna anomalía o modificación del depósito, a la información anteriormente mencionada se le ha de añadir una valoración del riesgo ambiental del depósito.

En el caso de que los depósitos estén destinados a la utilización discontinua en campañas anuales, además del contenido anteriormente mencionado, el informe anual deberá contener un estudio en el que se incluya la siguiente información:

- Grado de llenado del depósito (% de llenado al inicio de la campaña).
- Cantidad a aportar en la campaña (volumen m³).
- Ritmo de llenado (m³/h).
- Evaporación de los efluentes (m/m).
- La pluviometría (m/m) y capacidad libre de seguridad o resguardos disponibles (cm).

1.8. RÉGIMEN SANCIONADOR

El incumplimiento de lo previsto en la legislación vigente a lo referente a la autorización y control de depósitos de efluentes líquidos y lodos podrá ser sancionado de acuerdo a lo establecido en el Título V de la Ley 21/1992, de 16 de julio, de Industria, sin perjuicio de las demás normativas que resulten de aplicación.

Según lo establecido en la Ley 21/1992 de 16 de julio las infracciones se clasifican en tres categorías, los cuales son las siguientes:

- Infracciones leves
- Infracciones graves
- Infracciones muy graves



2. PROYECTO TÉCNICO

CAPÍTULO 2. PROYECTO TÉCNICO

2.1. DESCRIPCIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LOS DEPÓSITOS

En base al Art. 4 de la Orden de 15 de noviembre de 2005 de la Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía, los depósitos se clasificarán de acuerdo con los siguientes criterios:

- Su situación
- Sus dimensiones
- Su objeto
- Riesgo potencial que pudiera derivarse de su posible rotura o funcionamiento incorrecto

2.1.1. CLASIFICACIÓN EN FUNCIÓN DE LA SITUACIÓN DEL DEPÓSITO

Los depósitos en función de su situación se clasifican en dos grandes grupos, presas y balsas.

Presas

Una presa es un depósito que por estar situado en todo o en parte por encima de la cota del terreno circundante, requiere una estructura de dique para la contención de los materiales depositados.

A su vez, las presas se clasifican en función de:

A) Tipo de dique exterior. Es uno de los métodos más utilizados para la clasificación de las presas. En este sentido, la Comisión Internacional de Presas (ICOLD) distingue entre las siguientes categorías:

- **Presas de fábrica:** aquellas construidas mediante sillería de ladrillos así como las construidas mediante muros de hormigón. Dentro de esta tipología se encuentran las presas de gravedad, de contrafuertes y de bóveda.
- **Presas de materiales sueltos:** presas cuyos materiales de construcción no sufren ningún proceso químico de transformación, siendo tratados y colocados mediante compactación. Dentro de esta tipología se encuentra las presas de escollera, y de tierra.
- **Presas mixtas:** aquellas presas que combinan ambos tipos de materiales.

B) Método de recrecimiento. Según el método utilizado para el recrecimiento del depósito, aumento de su capacidad, los depósitos se pueden clasificar en:

- **Hacia atrás o aguas arriba.** Este método consiste en el aumento de la capacidad de almacenamiento del depósito mediante la construcción de otro depósito, el cual contenga los efluentes líquidos o lodos antes de ser enviados al depósito principal.
- **Hacia delante o aguas abajo.** Este método consiste en el aumento de la capacidad de almacenamiento del depósito mediante la construcción de otro depósito, al cual, el depósito principal pueda verter el efluente líquido o lodo, aumentándose así la capacidad de almacenamiento.
- **Centrado.** Este método consiste en el aumento de la capacidad de almacenamiento del depósito mediante el aumento de la altura de los diques del propio depósito.

C) Emplazamiento en el terreno. El emplazamiento utilizado para construir un depósito puede ser diverso. En base al emplazamiento utilizado para su construcción los depósitos se clasifican en:

- **En valle.** Dentro de esta categoría se incluyen aquellos depósitos que han sido construidos en un valle entre laderas. Esta disposición reduce el tamaño del dique al aprovechar la existencia de laderas para su construcción.
- **En ladera.** Dentro de esta categoría se incluyen aquellos depósitos que han sido construidos sobre una ladera, aprovechándose la pendiente existente para la contención de la sustancia almacenada.

- **Exentas.** Depósitos cuyos diques se han construido sobre la superficie del terreno, sin realizar excavación en el mismo.
- **En huecos de superficie, de origen natural o de excavación.** Depósitos contruidos aprovechando un hueco existente en el terreno de origen natural, o aquellos que para la construcción del depósito se ha realizado una excavación mediante medios mecánicos en el terreno.

Balsas

Balsas son aquellos depósitos que por estar situados en su totalidad por debajo de la cota del terreno circundante, no requieren una estructura de dique para la contención de los materiales depositados. En función del origen de las balsas estas se puede clasificar en dos grandes grupos:

- **Balsas de origen natural.**
- **Balsas artificiales.**

2.1.2. CLASIFICACIÓN EN FUNCIÓN DE SUS DIMENSIONES

Los depósitos se clasifican en:

A) Clase 1: Presas grandes.

- Altura de dique superior a 15 m, medida desde la parte baja de la superficie general de cimentación hasta la coronación.
- Altura comprendida entre 10 y 15 m siempre que tengan alguna de las siguientes características:
 - Longitud de coronación superior a 500 m
 - Capacidad de embalsado superior a 1.000.000 m³.
 - Capacidad de desagüe superior a 2000 m³/s.

B) Clase 2: Presas medianas.

- Altura de dique comprendida entre 5 y 15 m.

C) Clase 3: Presas pequeñas.

- Altura de dique inferior a 5 m.

D) Clase 4: Balsas.

- De cualquier dimensión.

2.1.3. CLASIFICACIÓN EN FUNCIÓN DE SU OBJETO

Los depósitos se clasifican en:

A) De decantación.

- Depósitos cuyo objeto es la decantación de los sólidos contenidos en los lodos y efluentes líquidos, para su eliminación o no de los mismos.

B) De evaporación.

- Depósitos cuyo objeto es la eliminación del efluente líquido mediante evaporación natural o forzada.

C) De acumulación.

- Depósitos cuyo objeto es la acumulación de lodos o efluentes líquidos para su tratamiento o valorización posterior, para su eliminación o no de los mismos en el tiempo.

D) De tránsito o intermedios.

- Depósitos cuyo objeto es la acumulación, durante un periodo máximo de un mes, de efluentes o lodos previo a su tratamiento y aquellos otros que tienen por objeto facilitar la carga de efluentes o lodos en vehículos, al objeto de transportarlos al lugar de tratamiento definitivo, bien sea para su eliminación o valorización.

2.1.4. CLASIFICACIÓN EN FUNCIÓN DE SU RIESGO POTENCIAL

Los depósitos se clasifican en:

A) Categoría A.

- Depósitos cuya rotura o funcionamiento incorrecto puede afectar gravemente a núcleos urbanos o servicios esenciales, así como producir daños materiales o medioambientales muy importantes.

B) Categoría B.

- Depósitos cuya rotura o funcionamiento incorrecto puede ocasionar daños materiales medioambientales importantes o afectar a un reducido número de viviendas.

C) Categoría C.

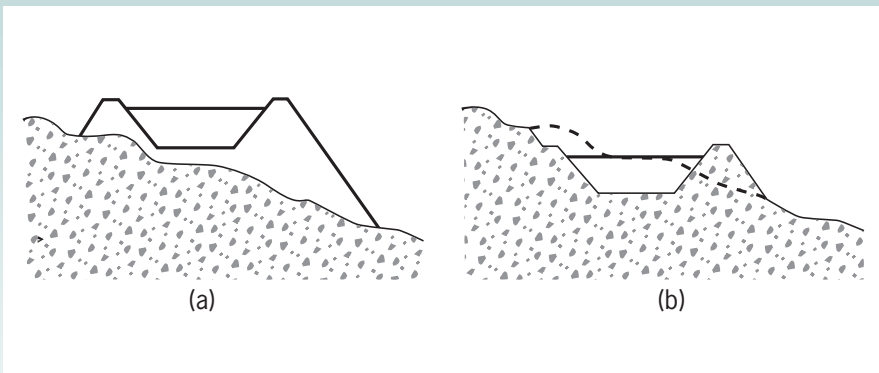
- Depósitos cuya rotura o funcionamiento incorrecto puede producir daños materiales de moderada importancia y sólo incidentalmente pérdidas de vidas humanas.

2.1.5. CLASIFICACIÓN FINAL DE UN DEPÓSITO

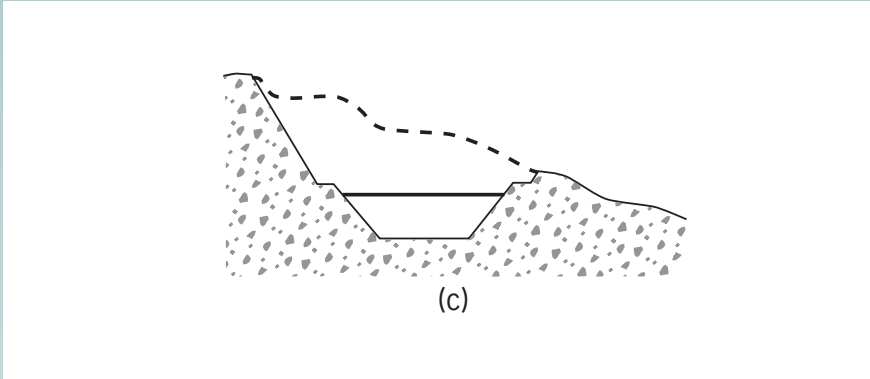
La clasificación de un determinado depósito de lodos o efluentes se hará basándose en los criterios anteriores especificando conjuntamente la clase (1, 2, 3 y 4) y el tipo de riesgo potencial (A, B o C).

CONCLUSIONES

- El Art. 4 de la Orden de 15 de noviembre de 2005, clasifica los depósitos de acuerdo con los siguientes criterios:
 - En función de su situación:
 - **Presas:** depósito situado en todo o en parte por encima de la cota del terreno circundante, requieren estructura de dique.



- **Balsas:** depósito situado en su totalidad por debajo de la cota del terreno circundante, no requieren estructura de dique.



- En función de sus dimensiones:
 - **Clase 1:** Presas grandes.
 - **Clase 2:** Presas medianas.
 - **Clase 3:** Presas pequeñas.
 - **Clase 4:** Balsas.
- En función de su objeto:
 - **De decantación.**
 - **De evaporación.**
 - **De acumulación.**
 - **De tránsito o intermedios.**
- En función de su riesgo potencial:
 - **Categoría A.**
 - **Categoría B.**
 - **Categoría C.**

La clasificación final de un determinado depósito de lodos o efluentes se hará basándose en los criterios anteriores especificando conjuntamente la clase (1, 2, 3 y 4) y el tipo de riesgo potencial (A, B o C).

- Recomendaciones:

Realizar los estudios previos necesarios para que los depósitos de efluentes líquidos de las industrias agroalimentarias se proyecten como clase 4 (Balsas) y categoría C.

2.2. CARACTERIZACIÓN DE LOS EFLUENTES DE LAS INDUSTRIAS AGROALIMENTARIAS

Los efluentes de la industria agroalimentaria se pueden caracterizar mediante un análisis físico-químico, químico o biológico con el fin de conocer su composición o características principales y así poder conocer si cumplen con las normativas de vertido o la posibilidad de realizar un tratamiento adecuado que permita su vertido o, incluso, su reutilización.

El análisis se realiza sobre una muestra que debe ser representativa del volumen total de efluente que se quiere caracterizar. El muestreo y el análisis deben abarcar las etapas siguientes:

- Estudios preliminares.
- Plan de muestreo.
- Plan de análisis.

2.2.1. ESTUDIOS PRELIMINARES

Los estudios preliminares deben permitir llegar a conocer, lo más completamente posible, los datos existentes que proceden de otras investigaciones o estudios anteriores tales como: caudales y calidad de los efluentes y del cauce receptor, datos del área bajo la influencia de la actividad industrial, otros datos de interés.

2.2.2. PLAN DE MUESTREO

El objetivo de la toma de muestras es la obtención de una porción del material cuyo volumen sea lo suficientemente pequeño como para que pueda ser transportado con facilidad y manipulado en el laboratorio sin que por ello deje de representar con exactitud al material de donde procede.

La gran variedad de clases de efluentes líquidos y de circunstancias que se pueden presentar, hace que no exista un método normalizado que se pueda aplicar, tanto para seleccionar la clase de muestra a tomar como para elegir el tipo de muestreo.

A la hora de planificar un muestreo se deben considerar los siguientes aspectos:

- Selección de los puntos de muestreo.
- Frecuencia del muestreo.
- Volumen de la muestra
- Equipos de muestreo: manual o automático.
- Tipos de envases.
- Identificación de la muestra.
- Conservación, transporte y almacenaje de la muestra.

2.2.3. PLAN DE ANÁLISIS

En relación al estudio de los lodos y efluentes a depositar, se definirá la relación sólido / líquido de los lodos a depositar.

Según la orden de 15 de noviembre de 2005, se realizarán los estudios necesarios para caracterizar adecuadamente la fase sólida de los lodos a depositar así como de los efluentes líquidos, tanto desde el punto de vista físico como químico, con especial énfasis en los siguientes aspectos:

Características físicas de la fase sólida:

- Granulometría
- Permeabilidad

- Plasticidad
- Resistencia al corte
- Peso específico
- Consolidación

En los efluentes de las industrias agroalimentarias la relación sólido / líquido es tan baja, que en la mayoría de los casos, se puede prescindir de los ensayos de caracterización de la fase sólida.

Características químicas:

Las características de interés a tener en cuenta en un agua residual de la industria agroalimentaria son las siguientes:

- Ph
- Conductividad eléctrica
- Sólidos en suspensión
- DQO y DBO₅
- Aceites y grasas
- Nitrógeno
- Fósforo
- Detergentes
- Toxicidad

Para garantizar la calidad de los resultados se recomienda realizar los ensayos en laboratorios acreditados.

2.2.4. EFLUENTES LÍQUIDOS DE INDUSTRIAS AFECTADAS POR EL DECRETO 281/2002

En Andalucía los principales tipos de industrias afectadas por el RD 281/2002 son las almazaras e industrias de aderezo de aceituna. En segundo lugar pueden verse afectadas, aunque excepcionalmente, las industrias remolacheras e industrias de conservas de frutas y hortalizas, donde puede ser necesaria la construcción de depósitos de almacenamiento o tratamiento de sus efluentes líquidos.

2.2.4.1. Almazaras

Tradicionalmente, en las almazaras, se distinguen varias etapas para la obtención del aceite de oliva:

- Recepción, limpieza y almacenamiento de la aceituna.
- Preparación de la pasta, mediante la molienda y el batido.
- Separación de las fases.
- Almacenamiento y conservación del aceite.

Para la separación de las fases se distingue el sistema tradicional (métodos de presión) y el sistema continuo (métodos de centrifugado). Dentro del sistema continuo por centrifugación, existen sistemas de tres fases (separan dos fases líquidas: aceite y alpechín, y una fase sólida: orujo), y sistemas de dos fases (separan el aceite del orujo y alpechín, los cuales salen juntas constituyendo el alperujo).

El alpechín fue durante años un gran problema en las comarcas oleícolas por la gran cantidad en que se producía y el difícil tratamiento que se le podía dar. Los alpechines son las aguas de vegetación de la aceituna y son líquidos fétidos, de color oscuro algo rojizo. La mayor perturbación que provoca el alpechín en su vertido es su gran DBO₅ (90.000-100.000 mg/l en el sistema tradicional y de 30-40.000 mg/l en el sistema continuo de tres fases). En la tabla 2.2.1 se presentan los valores característicos de un alpechín.

En la actualidad el sistema tradicional y el continuo de tres fases están en desuso, siendo el sistema continuo de dos fases el predominante en las almazaras actuales. En la figura 2.2.1 se esquematizan las operaciones realizadas en el proceso de

obtención del aceite de oliva mediante el sistema continuo de dos fases y los principales subproductos y efluentes líquidos generados.

Los principales efluentes líquidos en las modernas almazaras con sistemas continuos de dos fases son: aguas de lavado de aceitunas, aguas de lavado del aceite, agua de la limpieza en general. La alta carga orgánica, y el elevado contenido fenólico, dificultan el tratamiento de estos efluentes, optando por su almacenamiento en depósitos de evaporación.

Tabla 2.2.1. Caracterización de un alpechín de un sistema continuo de tres fases.
Fuente: García Ortiz y Frías (1995)

Parámetro	Valor determinado
Producción (kg por cada kg de aceituna)	1,2
Humedad (%)	90
pH	5,07
DQO (%)	0,8
Materia orgánica total (kg/m ³)	29,3
Materia inorgánica total (kg/m ³)	0,27
Grasa (%)	0,45
Azúcares reductores (%)	2,80
Polifenoles (ppm)	10.000

La mayoría de estos depósitos de efluentes están regulados por el Decreto 281/2002 de 12 de noviembre, salvo aquellos que estén excluidos por el Decreto 16/2005.

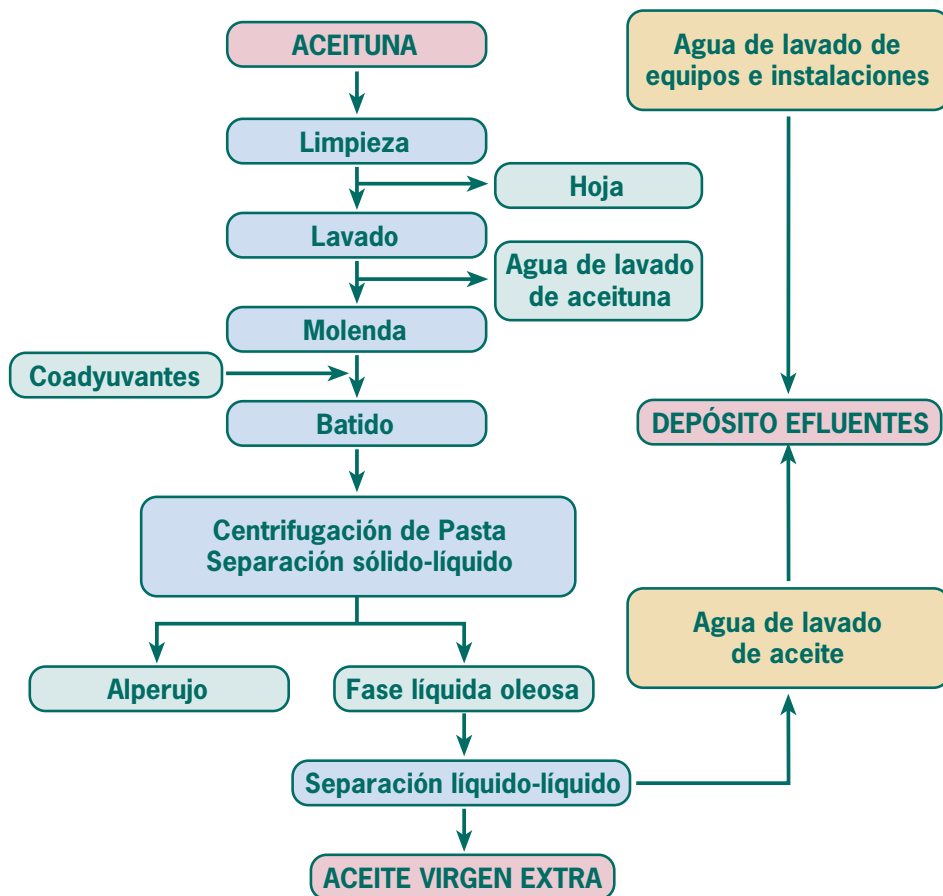


Figura 2.2.1. Operaciones realizadas en almazara con sistema de dos fases y efluentes líquidos generados

De acuerdo con el Manual de interpretación de normas para el titular del depósito de efluentes líquidos o lodos editado por la Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía, el volumen de efluentes en almazaras se puede estimar, en función del sistema de molturación, de la siguiente manera:

Sistema tradicional de molturación:

1 m³ de volumen de efluente por cada tonelada de aceituna molturada

Sistema continuo de molturación de tres fases:

1,5 m³ de volumen de efluente por cada tonelada de aceituna molturada

Sistema continuo de molturación de dos fases:

0,25⁽¹⁾ m³ de volumen de efluente por cada tonelada de aceituna molturada⁽²⁾

2.2.4.2. Industrias de aderezo de aceitunas

En el subsector de encurtidos, la utilización de salmueras de fermentación contaminan las aguas residuales en NaCl y elevada carga orgánica. En algunos casos concretos, como, por ejemplo, las aceitunas de mesa, la problemática se agrava por la presencia de determinadas sustancias químicas de tipo polifenólico que poseen efecto bactericida. En algunos elaborados es posible disminuir la concentración de NaCl de la salmuera y la reutilización de la misma, previa regeneración, para un nuevo proceso fermentativo, el envasado u otras etapas de la elaboración.

En este sector, se encuentran valores muy elevados de los parámetros indicadores de la contaminación, tales como la DBO₅, DQO, y SS.

Las características de los efluentes de una industria tipo elaboradora de aceitunas y encurtidos se recogen en la tabla 2.2.2.

La depuración de este tipo de aguas residuales es especialmente problemática, y las soluciones existentes no son económicamente viables, lo mejor es reducir los volúmenes de aguas residuales al mínimo y dejarlas evaporar en depósitos convenientemente impermeabilizados.

(1) Para el cálculo de este coeficiente, se ha tenido en cuenta:

- Agua procedente del lavado de la aceituna: 0,15 m³/Tonelada de aceituna molturada (Si existiera una depuradora, esta cifra bajaría a 0,075)
- Agua procedente de la centrifuga vertical: 0,06 m³/Tonelada de aceituna molturada
- Agua procedente de las tolvas y baldeos: 0,04 m³/Tonelada de aceituna molturada

Total = 0,25 m³/Tonelada de aceituna molturada

(2) Las toneladas de aceituna molturada corresponderán a la máxima producción obtenida por la almazara en alguna de las últimas cinco campañas.

Tabla 2.2.2. Caracterización de un efluente de una industria elaboradora de aceitunas y encurtidos

Parámetro	Valor determinado
Ph (ud)	4,7
Conductividad (mS/cm)	17,9
DB05 (mg/1)	2600
DQO (mg/1)	7000
Sólidos en suspensión (mg/1)	1700
Amonio (mg/1)	28,4
Nitrógeno Kjeldahl (mg/1)	250,0
Fósforo total (mg/1)	33,0
Aceites y grasas (mg/1)	400
Detergentes (mg/1)	9

Fuente: AINIA. (1993). "La contaminación industrial en el sector agroalimentario de la Comunidad Valenciana".

En el caso de las industrias de aderezo de aceitunas, y de acuerdo con el Decreto 167/2005 de 12 de julio de la Junta de Andalucía, algunos de los depósitos de efluentes destinados al tratamiento de las aguas residuales pueden estar regulados por el Decreto 281/2002 de 12 de noviembre.

De acuerdo con el Manual de interpretación de normas para el titular del depósito de efluentes líquidos o lodos editado por la Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía, el volumen de efluentes en entamadoras se puede estimar en:

2,5 m³ de volumen de efluente por cada tonelada de aceituna entamada

2.2.4.3. Industrias conserveras de frutas y hortalizas

La industria conservera de frutas y hortalizas, elabora una gran variedad de productos utilizando varias técnicas de conservación. Las principales actividades del sector son las siguientes:

- Conservas y congelados vegetales
- Zumos y concentrados vegetales

Las características generales de las aguas residuales de este sector son las siguientes:

- Concentraciones importantes de sólidos en suspensión originadas en las etapas de lavado, calibrado y pelado.

- Elevada carga orgánica, de carácter marcadamente biodegradable, procedente de la solubilización de componentes de las materias primas utilizadas en las etapas de lavado y escaldado.
- Aparición ocasional de ph extremos como consecuencia de la utilización de productos químicos en las operaciones de limpieza o en el sistema de pelado químico.

En el caso de las industrias conserveras de frutas y hortalizas, y de acuerdo con el Decreto 167/2005 de 12 de julio de la Junta de Andalucía, algunos de los depósitos de efluentes destinados al tratamiento de las aguas residuales si pueden estar regulados por el Decreto 281/2002 de 12 de noviembre.

2.2.4.4. Industrias azucareras

Hay que tener en cuenta que en Andalucía, según datos de la Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía, se dedican 43.000 Has al cultivo de remolacha (44% en Sevilla, 47% en Cádiz y 6% en Córdoba) y que la Industria de transformación está muy concentrada, tan sólo existen 4 fábricas de azúcar de remolacha y una de caña de azúcar en Andalucía.

En los tratamientos de las aguas de lavado puede ser necesaria la construcción de depósitos que se encuentren regulados por el Decreto 281/2002.

2.2.5. EFLUENTES LÍQUIDOS DE INDUSTRIAS NO AFECTADAS POR EL DECRETO 281/2002

Los efluentes generados por las industrias cárnicas, lácteas y vitivinícolas, se prestan bien a la depuración con tratamientos biológicos. De acuerdo con el Decreto 167/2005 de 12 de julio de la Junta de Andalucía, los depósitos de efluentes necesarios para la depuración de las aguas residuales de estas industrias no están afectados por el Decreto 281/2002 de 12 de noviembre.

CONCLUSIONES

- Las efluentes líquidos de las industrias agroalimentarias se caracterizan mediante análisis físico – químicos, químicos o biológicos.
- El análisis se realiza sobre una muestra que debe ser representativa del volumen total de efluente líquido.
- El muestreo y el análisis debe abarcar las siguientes etapas:
 - Estudios preliminares
 - Plan de muestreo
 - Selección de los puntos de muestreo
 - Frecuencia de muestreo
 - Volumen de la muestra
 - Equipos de muestreo: manual o automático
 - Tipos de envases
 - Identificación de la muestra
 - Conservación, transporte y almacenaje de la muestra
 - Plan de análisis:
 - Relación sólido – líquido
 - Características químicas del efluente
 - Composición y contenido
 - Degradación, compactación, cementación y fraguado
 - Reacciones químicas a medio y largo plazo
 - Ph
 - Conductividad eléctrica

- Sólidos en suspensión
- DQO y DBO₅
- Aceites y grasas
- Nitrógeno
- Fósforo
- Detergentes
- Toxicidad

- **Volumen de efluentes líquidos de Almazaras**

Sistema tradicional de molturación:

1 m³ de volumen de efluente por cada tonelada de aceituna molturada

Sistema continuo de molturación de tres fases:

1,5 m³ de volumen de efluente por cada tonelada de aceituna molturada

Sistema continuo de molturación de dos fases:

0,25 m³ de volumen de efluente por cada tonelada de aceituna molturada

- **Volumen de efluentes líquidos de industrias de aderezo de aceituna**

2,5 m³ de volumen de efluente por cada tonelada de aceituna entamada

- En las industrias azucareras y las conserveras de frutas y hortalizas puede ser necesaria la construcción de depósitos de almacenamiento de efluentes que pueden verse afectados por el R.D. 281/2002, aunque no son tan comunes como en Almazaras y Entamadotas.
- Lo efluentes generados en las Industrias cárnicas, lecheras y vitivinícolas, se prestan bien a la depuración con tratamientos biológicos. Los depósitos de las depuradoras de estas industrias no están afectados por el R.D. 281/2002.

2.3. ELECCIÓN DEL EMPLAZAMIENTO

En el pasado, los depósitos de efluentes se construían siguiendo básicamente dos criterios: una topografía adecuada y la proximidad a la planta de producción. Actualmente, la elección del emplazamiento del depósito conlleva satisfacer además ciertos aspectos medioambientales y de seguridad, y la realización de numerosos estudios previos.

En el presente capítulo se describirán algunos de los principales factores que influyen en la elección del emplazamiento.

2.3.1. TOPOGRAFÍA

La topografía es posiblemente el factor más importante en el proceso de selección del emplazamiento de un depósito.

Este factor se debe considerar, a la vez que la distancia a la Agroindustria donde se origina el efluente y la altura a la que debería situarse el depósito, con el fin de optimizar los costes de transporte de los efluentes. Para el transporte de efluentes debemos aprovechar la energía gravitatoria.

En función de la posición del perfil del vaso con respecto al perfil del terreno, podemos encontrarnos con alguna de las tres situaciones de la figura 2.3.1.

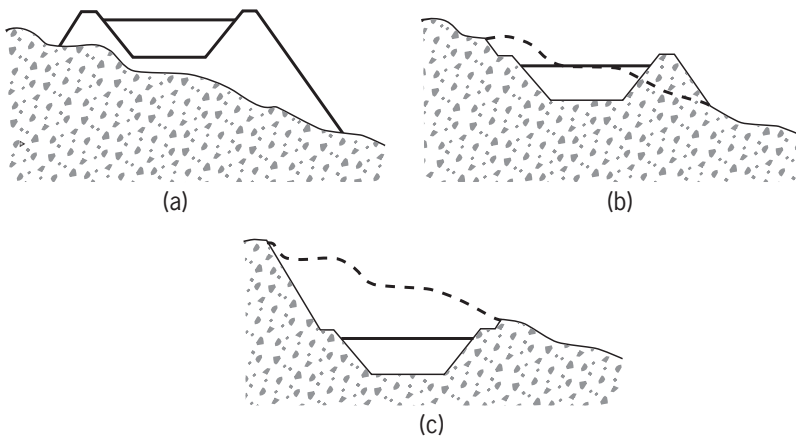


Figura 2.3.1. Depósito elevado (a); mixto o a media ladera (b); y en trinchera o desmonte (c). Disposición (a) y (b) son presas, y (c) balsa.

El perfil mixto o a media ladera presenta mayor grado de compensación de tierras, sin embargo al existir un dique de contención (presa) los estudios y riesgos derivados de este tipo de depósitos son mayores que los depósitos en desmonte (balsas).

Aunque tengan unos mayores costes de movimientos de tierras **los depósitos de industrias agroalimentarias se deberían proyectar como depósitos por debajo de la cota del terreno (balsas) por su menor riesgo.**

Además, en las zonas llanas, el volumen de dique necesario es muy elevado debido a que es necesario construirlo circundando el depósito, siendo más recomendable la excavación total por debajo de la cota del terreno (balsas), salvo que exista roca dura a una cota muy próxima a la superficie.

Al contrario que en las balsas de riego, en aquellas zonas con déficit hídrico, nos interesa construir los depósitos con la mayor superficie libre posible con el fin de maximizar las pérdidas de agua por evaporación.

En caso de que el depósito requiera un dique, la topografía elegida debe proporcionar un **índice de efectividad** lo más elevado posible. Este índice representa la relación entre el volumen total de almacenamiento de la zona en la que se pretende construir el depósito y el volumen de dique necesario. Un elevado índice de efectividad se suele conseguir en vaguadas de suaves pendientes parcialmente estrechadas, en las que la propia topografía de la zona ayuda a la contención de los efluentes.

Entre las formas que se suelen observar en los depósitos de efluentes con dique están las siguientes:

- Depósito con dique perimetral o en anillo:

Una ventaja de esta tipología es que al estar completamente cerrada, el depósito no capta aguas de escorrentía externas. Sin embargo tiene el inconveniente de que el índice de efectividad es muy bajo.

La configuración de depósito con dique perimetral puede construirse segmentado formando depósitos independientes.

La ventaja de los depósitos segmentados es que se reducen las filtraciones, puede existir simultaneidad de la restauración con el vertido de lodos y el

aplazamiento de los costes de construcción, sin embargo requiere mayor volumen de material.

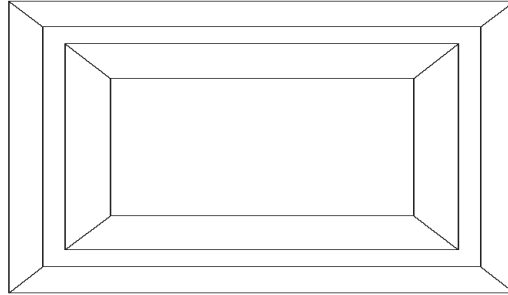


Figura 2.3.2. Configuración de depósito con dique perimetral

- Depósito en valle

Estos depósitos están limitados por las laderas de un valle y por el dique, que cruza transversalmente de una pared a otra del terreno. Es similar a las presas convencionales.

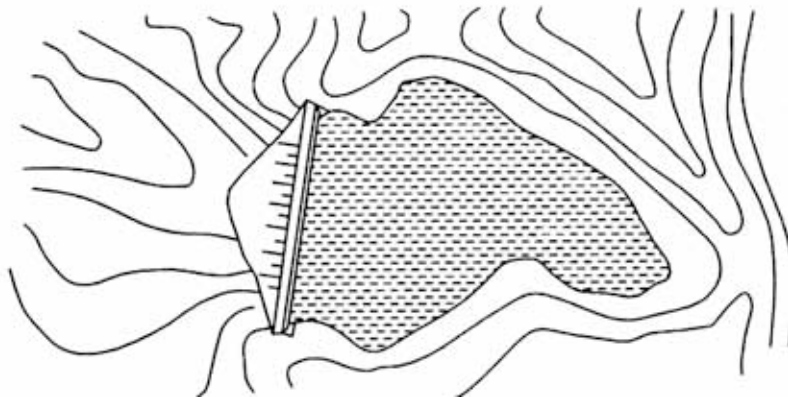


Figura 2.3.3. Depósito en valle. Fuente: Guía para el diseño y construcción de presas de residuos mineros. Junta de Andalucía. 2000

- Depósito en ladera

Esta configuración deja el depósito abierto hacia ladera arriba construyendo el dique de forma que cierre el depósito aguas abajo. Esta disposición es adecuada en ladera con menos de un 10% de pendiente, ya que para pendientes mayores el volumen de efluentes almacenado sería muy pequeño en relación con la altura de dique necesaria.

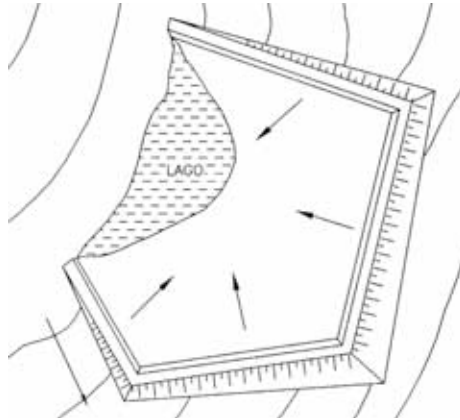


Figura 2.3.4. Depósito con dique abierto en ladera. Fuente: Guía para el diseño y construcción de presas de residuos mineros. Junta de Andalucía. 2000

- Depósito en fondo de valle

Constituye una disposición intermedia entre los depósitos en valle y en ladera.

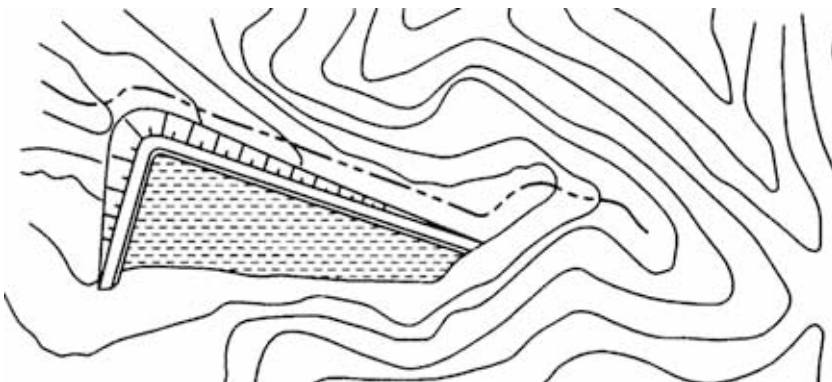


Figura 2.3.5. Disposición de residuos en fondo de valle. Fuente: Guía para el diseño y construcción de presas de residuos mineros. Junta de Andalucía. 2000

Sin embargo, los emplazamientos de los depósitos en valle, en ladera o en fondo de valle, no son adecuados para el almacenamiento de efluentes de industrias agroalimentarias, ya que recogen el agua de lluvia de la cuenca vertiente.

Hay que evitar que las aguas de escorrentía se mezclen con los efluentes. Para evitar la inundación de estas presas con el aporte de las aguas de escorrentía, se hace necesario construir una serie de cunetas de desvío de las aguas en las laderas, aunque éstas no suelen ser eficaces en aquellos casos en los que el aporte de aguas es muy elevado. En estas ocasiones, suele ser recomendable construir, además, una serie de presas aguas arriba que sirvan para retener y desviar el agua que baja por el valle.

2.3.2. GEOLOGÍA

Aunque suele jugar un papel importante en la elección del emplazamiento, suele quedar relegado a un segundo plano ante parámetros como la topografía de la zona o la distancia a la industria donde se origina el efluente líquido.

Es habitual, debido a la escasez de tiempo y/o recursos económicos, no estudiar con detalle la geología, lo que puede originar problemas graves.

Los factores geológicos influyen en las condiciones de permeabilidad y estabilidad del dique y del vaso.

Así, de las rocas más comunes, las plutónicas (granito, dioritas, gabros, pórfidos) son de las más impermeables, aunque su permeabilidad depende de la presencia o no de diaclasas o fracturas de meteorización. En las rocas metamórficas (gneises, pizarras, cuarcitas, esquistos) su esquistosidad y anisotropía favorece el agrietamiento y el diaclasado, y los rellenos suelen ser más permeables que en las rocas plutónicas. Si la roca metamórfica está saneada es completamente impermeable.

Las calizas (roca sedimentaria) son impermeables cuando están sanas y compactas, pero son rocas solubles y frágiles, por lo que es frecuente que se den fenómenos de agrietamiento y disolución que las hacen muy peligrosas.

Las dolomías y las margas (rocas sedimentarias) son otras rocas solubles con problemas similares a los de las calizas, aunque menos acusados. En este grupo se

pueden incluir también los yesos, que aunque son impermeables cuando son compactos, no se consideran adecuadas por su alta solubilidad.

Otras rocas sedimentarias, son las areniscas, las brechas o los conglomerados. En este grupo es muy importante la cementación y la compacidad de la roca. Generalmente son impermeables salvo que sean porosas.

Las rocas filonianas son menos comunes y más localizadas. Suelen presentar problemas por la gran fisuración.

Finalmente, en los materiales aluviales, mezcla de materiales de naturaleza y granulometría diversa, la permeabilidad depende del predominio de gravas y arenas o arcillas.

2.3.3. SISMICIDAD Y CONDICIONES DINÁMICAS DEL ENTORNO

Deberá considerarse la sismicidad del área y la proximidad a fallas potencialmente activas. Si existe un riesgo sísmico, deberá evaluarse el comportamiento dinámico del depósito y el riesgo de rotura por licuefacción. El fenómeno de licuefacción viene generado por un movimiento vibratorio que provoca una elevación de las presiones de poro. El peso de los materiales soportados se transfiere al agua intersticial que existe entre las partículas y los sólidos se comportan como un fluido denso con una resistencia al corte muy pequeña o nula haciendo que presas que son estables en condiciones estáticas no lo sean en condiciones dinámicas.

2.3.4. HIDROLOGÍA

El principal objetivo cuando se tienen en cuenta distintos emplazamientos consiste en reducir al mínimo el aporte de aguas y/o la construcción de instalaciones de desvío. Por lo que se deberán evitar las zonas con flujo de agua superficial (vaguadas). Asimismo se deben evitar las zonas de recarga de agua subterránea.

Se deberá determinar la red de drenaje del emplazamiento propuesto, las precipitaciones y evaporación, lo que determinará su capacidad.

Los depósitos se deben proteger frente a la máxima avenida esperable en un determinado periodo de años. La Confederación Hidrográfica tendrá la competencia de autorizar o no la construcción de un depósito en la zona de policía de un curso de agua (100 m desde la línea de máxima avenida).

2.3.5. IMPACTO AMBIENTAL

Deberá considerarse el impacto ambiental de las distintas alternativas, y en especial considerar el impacto visual y el impacto sobre los ecosistemas. Debiendo evitarse por ejemplo la construcción de depósitos en zonas de cría de especies protegidas (aves acuáticas) o en peligro de extinción, considerar la dirección de los vientos dominantes y otros.

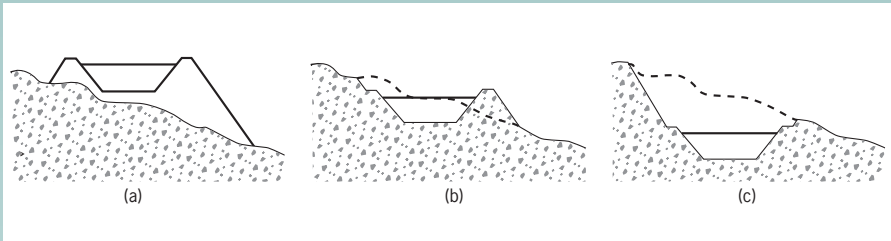
2.3.6. OTROS FACTORES

Otros factores que no se han tenido en cuenta en los epígrafes anteriores, pero que influyen también en la elección del emplazamiento son:

- La disponibilidad de terrenos y los precios de los terrenos.
- El presupuesto de ejecución de la obra.
- Capacidad de almacenamiento del emplazamiento.

CONCLUSIONES

- Tradicionalmente los depósitos de efluentes se construían siguiendo dos criterios: una topografía adecuada y la proximidad a la industria que producía los efluentes.
- Actualmente, la elección del emplazamiento conlleva la realización de algunos estudios previos y la consideración de ciertos aspectos medioambientales y de seguridad.
- A la hora de elegir el emplazamiento de un depósito de efluentes se deben tener en cuenta los siguientes factores:
 - **Topografía:** es el factor más importante.
 - En depósitos en ladera es necesaria la elección del perfil del vaso con respecto al perfil del terreno:



(a) Depósito elevado; (b) Mixto o a media ladera; (c) En trinchera o desmonte.
(a) y (b) son presas y (c) es balsa

Siempre que sea posible se proyectarán los depósitos de efluentes de industrias agroalimentarias como balsas (c), aunque los costes de construcción sean mayores que en los depósitos a media ladera, los riesgos y los costes de utilización a lo largo de la vida útil son menores.

- En terrenos llanos se pueden construir depósitos con dique perimetral (presas) o balsas. Con depósito único (a) o segmentado (b).

Los depósitos en terrenos llanos son recomendables porque tienen menores riesgos y no captan aguas de escorrentía superficial.

- Si existen vaguadas o depresiones topográficas naturales, se pueden construir depósitos en valle, similares a las presas convencionales, depósitos en ladera y depósitos en fondo de valle.

Siempre que sea posible se evitarán estas configuraciones en los depósitos de industrias agroalimentarias.

- Una solución intermedia entre los depósitos en valle y en ladera son los depósitos en fondo de valle.

- La distancia y la altura con respecto a la Agroindustria

- Lo más cerca posible y aprovechar la energía gravitatoria para el transporte de los efluentes de la Agroindustria al depósito.

En Andalucía hay iniciativas que han centralizado la gestión de los efluentes mediante la construcción de un depósito común a varias Agroindustrias.

– La geología

- La geología influye en las condiciones de cimentación, infiltración potencial y disponibilidad de material de relleno.
- Se evitarán emplazamientos donde se detecte la existencia de fallas.
- Se evitarán las zonas con niveles freáticos próximos al depósito.

Aunque suele quedar relegado a un segundo plano, la geología juega un papel importante en la elección del emplazamiento.

– Sismicidad y condiciones dinámicas del entorno

- Si existe riesgo sísmico, deberá evaluarse el comportamiento dinámico del depósito y el riesgo de rotura por licuefacción.

En zonas sísmicas está aún más justificada la construcción de balsas en lugar de presas, ya que los riesgos de rotura son menores.

– Hidrología

- El emplazamiento elegido deberá reducir al mínimo el aporte de agua de escorrentía.
- La construcción de un depósito en zonas de policía (100 m de la línea de máxima avenida) requiere de autorización de la Confederación Hidrográfica.

Se deben evitar las zonas con flujos de agua superficial y realizar las obras de desvío necesarias para evitar que las aguas limpias de escorrentía se mezclen con los efluentes almacenados en los depósitos.

– Impacto ambiental

- El emplazamiento elegido tendrá el mínimo impacto visual y sobre los ecosistemas. Se tendrá en cuenta la dirección de los vientos.

2.4. ESTUDIOS PREVIOS

2.4.1. CARTOGRAFÍA GENERAL Y TOPOGRAFÍA DE DETALLE

En España existen planos topográficos a escala 1:200.000 y 1:50.000 de todo el territorio. Estos planos son editados de forma independiente por el Instituto Geográfico Nacional (IGN) y el Servicio de Cartografía del Ejército. Existen también algunos planos a escala 1:25.000.

Por otra parte en Andalucía, se dispone de cartografía a escala 1:10.000 o incluso muchos municipios ya disponen de cartografía a gran escala.

Recientemente la Junta de Andalucía ha desarrollado una aplicación informática titulada “Modelo Digital del Terreno de Andalucía. Relieve y Orografía” que contiene una representación más actualizada del territorio andaluz, obtenido a partir de un vuelo fotogramétrico en blanco y negro a escala 1:20.000 (año 2001-2002) con el que se ha obtenido una nueva ortofotografía de resolución 0,5 x 0,5 m. La aplicación permite llevar a cabo visualización a diferentes escalas, medición de distancias y superficies, generación de curvas de nivel, mapas iluminación – sombras, de pendientes y otras. Además permite salidas gráficas y la exportación directa de datos en formato ASCII (x,y,z) que pueden ser procesados con programas gráficos como AUTOCAD o MDT.

Además el Instituto Geológico y Minero de España (IGME) dispone de planos geológicos a escala 1:200.000. A esta escala existen dos series distintas: la azul y la roja. La serie azul, denominada de síntesis, fue elaborada en primer lugar mediante la acumulación de la información existente. La serie roja, realiza un estudio más sistemático de los materiales y de su historia geológica. El IGME edita también planos geológicos a escala 1:50.000, pero estos no están disponibles para todo el territorio español. De todos modos, hay que advertir que los problemas geotécnicos ocurren a una escala menor, de decenas de metros, o como mucho, de algunos cientos de metros, por lo que los planos geológicos pueden resultar insuficientes para advertir la presencia de riesgos.

Otra fuente de información son las fotografías aéreas. Las administraciones locales y autonómicas, y muchas empresas especializadas disponen de vuelos que han realizado para otros fines, y disponen de una cartografía a escala 1:1000, y que puede resultar muy útil en la fase de estudios previos.

Para el estudio de la cuenca, la escala de trabajo debe ser 1/10.000 ó 1/25.000, con curvas de nivel cada 10 m. Para el vaso la escala de trabajo debe ser del orden de 1/5000 ó 1/1000 y equidistancia cada 1 m, y para el estudio del dique la escala de trabajo debe ser 1/1000 ó 1/500 o superior con curvas de nivel cada 1 m o inferior.

CONCLUSIONES

- En Andalucía existe una cartografía 1:10.000 y muchos municipios ya disponen de Cartografía a gran escala.
- La Junta de Andalucía ha desarrollado una aplicación informática titulada “Modelo Digital del Terreno de Andalucía. Relieve y Orografía” que permite la visualización a diferentes escalas y la generación de curvas de nivel. Además permite la exportación directa de datos en formato ASCII (x,y,z) compatibles con AUTOCAD y MDT.
- El Instituto Geológico y Minero de España (IGME) dispone de planos geológicos a escala 1:200.000 y 1:50.000. Aunque los problemas geotécnicos y geológicos locales requieren estudios especiales.
- Otra fuente de información son las fotografías aéreas.

Para el estudio de la cuenca, la escala de trabajo debe ser 1/10.000 ó 1/25.000, con curvas de nivel cada 10 m. Para el vaso la escala de trabajo debe ser del orden de 1/5000 ó 1/1000 y equidistancia cada 1 m, y para el estudio del dique la escala de trabajo debe ser 1/1000 ó 1/500 o superior con curvas de nivel cada 1 m o inferior.

2.4.2. ESTUDIO GEOTÉCNICO

La resistencia del suelo sobre el que se va a situar el depósito y sus propiedades como material de construcción exigen un estudio geotécnico suficientemente detallado.

Dado que las conclusiones del estudio geotécnico pueden afectar al proyecto, se debe acometer en la fase inicial del mismo. La autoría del estudio geotécnico corresponderá a un laboratorio homologado.

En un estudio geotécnico habrá que tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- El programa de reconocimiento del terreno
- Las técnicas de prospección a utilizar
- Los ensayos de campo “in-situ”
- La toma de muestras y ensayos de laboratorio

2.4.2.1. Programa de reconocimiento del terreno

El estudio comienza con la programación del reconocimiento del terreno, debiendo quedar reflejados en un plano los puntos de toma de muestras. La densidad y profundidad del reconocimiento, debe permitir la correcta cobertura de la zona.

Con carácter general el mínimo de puntos a reconocer será de tres, aunque podemos considerar una distancia máxima orientativa entre puntos de 30 ó 35 m, y una profundidad de 6 m en aquellos terrenos favorables o mucho mayor en terrenos desfavorables. A medida que aumenta la superficie ocupada por el depósito, podemos disminuir la densidad de los puntos a reconocer.

El programa de reconocimiento será especialmente cuidadoso en los siguientes tipos de terrenos:

- a) Suelos expansivos
- b) Suelos colapsables
- c) Suelos blandos o sueltos
- d) Terrenos Kársticos en yesos o calizas
- e) Rellenos antrópicos con espesores superiores a 3 m
- f) Terrenos susceptibles de sufrir deslizamientos
- g) Terrenos con pendientes superiores al 15º
- h) Suelos residuales y terrenos de marismas

2.4.2.2. Técnicas de prospección

La prospección del terreno podrá llevarse a cabo mediante calicatas, sondeos mecánicos, pruebas continuas de penetración o métodos geofísicos.

Las calicatas son excavaciones de una profundidad en torno a 4 ó 5 m que permiten la observación directa del terreno, así como la toma de muestras y, eventualmente, la realización de ensayos in-situ. En calicatas de una profundidad superior a 1,5 m ninguna persona podrá acceder a su inspección si no se encuentran debidamente entibadas o adecuadamente ataluzadas.

Los sondeos mecánicos son perforaciones de diámetros y profundidades variables que permiten reconocer la naturaleza y localización de las diferentes unidades geotécnicas del terreno, así como extraer muestras del mismo. Los métodos más habituales para la ejecución de sondeos mecánicos son el de rotación con extracción de testigo continuo, percusión y mediante barrena helicoidal (hueca o maciza).

Las pruebas continuas de penetración proporcionan una medida indirecta, continua o discontinua de la resistencia del terreno. Podrán ser estáticas o dinámicas. Entre los parámetros del suelo que se pueden obtener con estas pruebas está la cohesión, el ángulo de rozamiento interno y la densidad.

Las pruebas de tipo estático utilizan penetrómetros de cono tipo CPT (cone penetration test), y su principio de funcionamiento es la medición de la resistencia a la penetración de una punta cónica y un vástago mediante presión. Son adecuados para arcillas y limos muy blandos, y arenas finas sin gravas. Estos ensayos son impracticables en rocas, gravas, suelos cementados o muy duros.

Las pruebas de tipo dinámico miden la resistencia a la penetración de una puntaza mediante golpeo con una energía normalizada, el ensayo termina cuando nos encontramos con un material que no es posible avanzar (rechazo). La interpretación de los resultados es distinta según la naturaleza de los suelos.

Se utilizan penetrómetros tipo DPH y BORRO para arenas y limos arenosos de flojos a medios, y penetrómetros tipo DPSH para arenas muy compactas, arcillas duras y gravas arcillosas y arenosas. Son impracticables en roca, bolos y conglomerados. Además el penetrómetro SPT (Standar Penetration Test) permite obtener muestras de suelo para ensayar en laboratorio.

Cuando la construcción del depósito afecta a grandes superficies, o cuando aún existan dudas sobre la naturaleza de los terrenos y su permeabilidad se pueden realizar estudios geofísicos, de los cuales podemos obtener información relativa a la profundidad del nivel freático y a los espesores de las distintas capas horizontales. Las técnicas más utilizadas son la sísmica de refracción y la técnica SEV (sondeo eléctrico vertical).

2.4.2.3. Ensayos de campo

Son ensayos que se ejecutan directamente sobre el terreno natural y que proporcionan datos que pueden correlacionarse con la resistencia, deformabilidad y permeabilidad de una unidad geotécnica a una determinada profundidad. La tabla 2.4.1 presenta los ensayos más usuales y las condiciones de utilización.

Tabla 2.4.1. Utilización de los ensayos in situ. Fuente: Documento Básico SE-Cimientos del Código Técnico de la Edificación

	Tipo	Utilización para determinar
En sondeo	Ensayo de penetración estándar (SPT)	Compacidad de suelos granulares. Densidad relativa. Ángulo de rozamiento interno en suelos granulares. Resistencia de arcillas preconsolidadas por encima del nivel freático
	Ensayo de molinete (Vane-Test)	Resistencia al corte de arcillas blandas por encima o por debajo del nivel freático
	Ensayo presiométrico (P.M.T.)	Presión límite y deformabilidad de suelos granulares, arcillas duras, etc
	Ensayo Lefranc	Permeabilidad de suelos
	Ensayo Lugeon	Permeabilidad de rocas moderadamente fisuradas
En superficie	Ensayo de carga con placa	Relación presión asiento en suelos granulares Coeficiente de balasto de cualquier terreno Capacidad portante sin drenaje de suelos cohesivos
En pozo	Ensayo de bombeo	Capacidad de agotamiento o rebaje del nivel freático

2.4.2.4. Toma de muestras y ensayos de laboratorio

El objetivo de la toma de muestras es la realización, con fiabilidad suficiente, de los ensayos de laboratorio pertinentes. Los requisitos que debe cumplir la toma de muestras son diferentes según el tipo de ensayo que se vaya a realizar a la muestra.

El Documento Básico SE-Cimientos del Código Técnico de la Edificación establece tres categorías de muestras:

- Categoría A: son aquellas que mantienen inalteradas la estructura, densidad, humedad, granulometría, plasticidad y componentes químicos estables del suelo.
- Categoría B: son aquellas que mantienen inalteradas la humedad, granulometría, plasticidad y componentes químicos del suelo.

- Categoría C: todas aquellas que no cumplen las especificaciones de la categoría B.

La tabla 2.4.2 señala la categoría mínima de la muestra requerida según los tipos de ensayos de laboratorio que sugiere la Orden 15 de noviembre de 2005 para el estudio de los materiales de construcción del dique de un depósito.

Tabla 2.4.2. Categoría de las muestras de suelos para ensayos de laboratorio. Adaptado del DB SE-Cimientos del CTE.

Propiedad	Ensayos	Categoría mínima de la muestra
Identificación	Granulometría por tamizado. UNE 103101:1995	C
	Granulometría por sedimentación. UNE 103102:1995	C
	Comprobación de la no plasticidad. UNE 103104:1993	C
	Límite líquido. UNE 103103:1994	C
	Límite plástico. UNE 103104:1993	C
	Límite de retracción. UNE 103108:1996	C
Estado	Humedad natural. UNE 103300:1993	B
	Peso específico aparente. UNE 103301:1994	A
	Peso específico de las partículas. UNE 103302:1994	B
Resistencia	Compresión simple. UNE 103400:1993	A
	Corte directo consolidado y drenado (CD). UNE 103401:1998	A
	Corte directo sin consolidar y sin drenar (UU). UNE 103401:1998	A
	Triaxial en cualquier situación de consolidación y drenaje. UNE 103402:1998	A
Deformabilidad	Ensayo edométrico. UNE 103405:1994	A
Colapsabilidad	Inundación en edómetro. NLT254:1999	A
Expansividad	Presión de hinchamiento nulo en edómetro.	A
	Hinchamiento libre en edómetro. UNE 103601:1996	A
	Ensayo Lambe. UNE 103600:1996	A
Compactación	Proctor normal. UNE 103500:1994	C
	Proctor modificado. UNE 103501:1994	C
Contenido químico	Contenido en carbonatos. UNE 103200:1993	C
	Contenido cualitativo de sulfatos. UNE 103202:1995	C
	Contenido en materia orgánica. UNE 103204:1993	C

A continuación se presentan tablas con valores orientativos tabulados de referencia para distintos tipos de suelos propuestos por el CTE.

Tabla 2.4.3. Valores orientativos de densidades de suelos

Tipo de suelo	Densidad saturada (kN/m ³)	Densidad seca (kN/m ³)
Grava	20-22	15-17
Arena	18-20	13-16
Limo	18-20	14-18
Arcilla	16-22	14-21

Nota: Grava (2,0 / 60,0 mm), Arenas (0,06 / 2,0 mm), Limos (0,002 / 0,060 mm) y arcillas (< 0,002 mm).

Tabla 2.4.4. Propiedades básicas de los suelos

	Clase de suelo	Peso específico aparente (kN/m ³)	Ángulo de rozamiento interno
Terreno natural	Grava	19-22	34° - 45°
	Arena	17-20	30° - 36°
	Limo	17-20	25° - 32°
	Arcillas	15-22	16° - 28°
Rellenos	Tierra vegetal	17	25°
	Terraplén	17	30°
	Pedraplén	18	40°

Tabla 2.4.5. Valores orientativos de coeficiente de permeabilidad

Tipo de suelo	Kz (m/s)
Grava limpia	< 10 ⁻²
Arena limpia y mezcla de grava y arena limpia	10 ⁻² - 10 ⁻⁵
Arena fina, limo, mezclas de arenas, limos y arcillas	10 ⁻⁵ - 10 ⁻⁹
Arcilla	< 10 ⁻⁹

2.4.2.5. Clasificación de suelos

La clasificación o identificación de un suelo, permite conocer de forma cualitativa las propiedades mecánicas de un suelo, atribuyéndole las del grupo en que se sitúe. Existen diversos tipos de clasificación de suelos, a continuación se presentan las más utilizadas:

- Clasificación ASTM, conocida también como USCS (Unified Soil Classifications System), fue desarrollada por la American Society for Testing Materials, a partir de una clasificación anterior de Casagrande. Este sistema de basa en la granulometría, la uniformidad, los límites de Atterberg y en el contenido de materia orgánica.
- Clasificación AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials), fue adoptada en 1931 por el Bureau of Public Road de Estados Unidos. Es un método que se emplea más en el proyecto de carreteras, y clasifica a los suelos en función de su calidad como cimiento del firme. Este sistema está basado en la granulometría, los límites de Atterberg y en el valor del Índice de grupo, parámetro que se obtiene de los resultados de los ensayos anteriores.
- Clasificación española (PG-3). La experiencia española en la construcción de carreteras se resumió en la inclusión en el denominado Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3). Esta clasificación atiende únicamente a las propiedades de los suelos como material para rellenos. No pretende una clasificación universal de suelos. Según esta clasificación, los suelos pueden ser seleccionados, adecuados, tolerables, marginales o inadecuados.

CONCLUSIONES

- El Estudio geotécnico puede afectar al proyecto y debe acometerse en la fase inicial del mismo. Deberá tener en cuenta las siguientes consideraciones:
 - El programa de reconocimiento, con identificación de los puntos y profundidad.
 - Las Técnicas de prospección:
 - Las calicatas
 - Los sondeos mecánicos
 - Las pruebas continuas de penetración
 - Estudios geofísicos
 - Los Ensayos de campo “in-situ” a realizar.
 - El tipo de muestras a tomar y los ensayos de laboratorio a realizar.

2.4.3. ESTUDIOS HIDROGEOLÓGICOS

Se efectuarán los estudios hidrogeológicos necesarios para conseguir conocer de una manera suficiente, las siguientes facetas para las etapas de construcción o explotación del depósito:

- a) Establecimiento del o de los niveles freáticos, y su eventual variación estacional.
- b) Existencia de fuentes, manantiales, captaciones de agua, etc., que puedan influir en el depósito, o ser influidos por éste.
- c) Permeabilidad o transmisividad de los diferentes terrenos que pudieran ejercer su influjo en los aportes de agua al depósito durante la vida del mismo.
- d) Factores que influyen en la elección del drenaje o impermeabilización del depósito.
- e) Influjo del eventual drenaje del depósito en la posible variación de las condiciones hidráulicas de los niveles freáticos, afloramientos o aprovechamientos indicados en a) y b).
- f) Posibilidad de que el depósito suponga una barrera total o parcial a las corrientes subálveas naturales, y la correspondiente variación de las circunstancias indicadas en a) y b).

En algunos proyectos de depósitos de efluentes de industrias agroalimentarias puede ser necesaria la realización de estudios hidrogeológicos por empresas o personal cualificado (geólogos, ingenieros de minas, etc.)

2.4.4. ESTUDIOS HIDROLÓGICOS

Los estudios hidrológicos en el proyecto de un depósito de residuos pueden ser necesarios para:

- Cálculo de escorrentías aportadas al depósito: aguas de lluvia procedentes del saneamiento de pluviales de la industria. Es necesario cuando la Industria tiene un sistema de saneamiento unitario y mezcla en todo o en parte las aguas residuales con las pluviales, aunque hay que decir que conviene diseñar una red separativa para evitar que ambas se mezclen.
- Cálculo del caudal de la máxima avenida para un periodo de retorno, cuando el depósito reciba escorrentía superficial de laderas o cauces.

- Cálculo de elementos de desagüe y desvío de las aguas procedentes de la escorrentía superficial en las proximidades de ubicación del depósito.

Los estudios hidrológicos requieren conocer las características de la información climatológica de la zona donde se pretende ubicar el depósito y de la cuenca.

2.4.4.1. Precipitaciones medias y máximas

El método tradicional para estimar la precipitación que se debe considerar en el diseño consiste en analizar los datos disponibles en las estaciones meteorológicas que se encuentren en el interior o próximas a la cuenca que se analiza. Las estaciones consideradas deben ser representativas y la serie de datos suficientemente larga, siendo recomendables series de datos de al menos 30 años.

La información de las estaciones se tratará por cualquiera de las técnicas de interpolación. El método más utilizado para el cálculo de la precipitación espacial, se basa en el enfoque del Cuadrado del Recíproco de las Distancias (Chow, 1994), que determina la precipitación en cualquier punto (X,Y) de la cuenca mediante la siguiente expresión:

$$P_i = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{P_i}{d_i^2}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^2}}$$

Donde:

P_i : Precipitación mensual medida en la estación i

d_i : Distancia entre el punta y la estación pluviométrica i

n : Número de estaciones empleadas en la determinación de la precipitación en el punto considerado

Por otro lado, se necesitan conocer las precipitaciones máximas para un periodo de retorno. La información sobre precipitaciones máximas está asociada al tiempo de dos formas distintas, la primera hace referencia a la duración de esa precipitación máxima, mientras la segunda se relaciona con el periodo de tiempo con que se producen precipitaciones de esa magnitud. Cuando expresamos la precipitación máxima P_A (B), nos estaremos refiriendo a la precipitación máxima de duración en horas A (1, 6, 12 horas,...) para un periodo de retorno B.

En la construcción de depósitos para efluentes de industrias agroalimentarias nos encontramos con pequeñas cuencas donde las máximas avenidas son generadas por lluvias de gran intensidad y corta duración, por lo que será necesario conocer las precipitaciones máximas en 6 horas (P_6), en una hora (P_1), o incluso en media hora ($P_{0,5}$) para un periodo de retorno T .

Los datos $P_i(T)$ se pueden obtener a partir de los datos de las estaciones meteorológicas realizando ajustes tipo Gumbel, aunque resulta más sencillo la utilización de la publicación del Ministerio de Fomento titulada “Máximas lluvias diarias en la España Peninsular”, editada en 1997, la cual proporciona un método para obtener de manera fiable los valores de $P_A(B)$ en cualquier punto de la España Peninsular.

2.4.4.2. El umbral de escorrentía

El umbral de escorrentía (P_o), es la precipitación mínima necesaria para que se produzca la escorrentía superficial.

El umbral de escorrentía, depende del estado inicial del suelo, ya que un suelo seco absorbe mas agua que uno saturado. Para los estudios hidrológicos se asume un valor conservador.

La Norma 5.2.-IC “Drenaje Superficial” (1990) elaborada por el Ministerio de Fomento, establece un método para la estimación del umbral de escorrentía basado en el uso de la tierra, la pendiente del terreno, las características hidrológicas y el grupo de suelo. El grupo de suelo a su vez depende de la velocidad de infiltración, potencia de los estratos, textura y drenaje. Además aplica un último coeficiente corrector que viene dado por la variación regional de la humedad en el suelo al comienzo de los aguaceros significativos. El rango de valores más frecuentes de P_o está entre 24 y 35 mm. En el ejemplo de clasificación de un depósito que se incluye como anexo 2, se puede apreciar esto con más detalle.

Si se quiere realizar una estimación grosera, se puede considerar un valor conservador de P_o igual a 20 mm en todos los terrenos excepto en cuencas rocosas y suelos arcillosos en los que P_o se tomará igual a 10 mm.

2.4.4.3. Coeficiente de escorrentía

El coeficiente de escorrentía (C) es la proporción de agua de lluvia que escurre, y depende del relieve de la cuenca y de la naturaleza y uso del terreno.

Se puede estimar en función de la razón entre la precipitación diaria Pd correspondiente a un periodo de retorno y el umbral de escorrentía Po a partir del cual se inicia la escorrentía. El valor del coeficiente de escorrentía varía durante el aguacero, sin embargo, el valor que se suele utilizar es el valor medio obtenido en el intervalo de tiempo que se considera como el correspondiente al de duración de la lluvia que la origina.

Las fórmulas más utilizadas son:

- Si $Pd/Po < 1$, $C = 0$

- Si $Pd/Po > 1$,
$$C = \frac{\left(\frac{Pd}{Po} - 1\right) \cdot \left(\frac{Pd}{Po} + 23\right)}{\left(\frac{Pd}{Po} + 11\right)^2}$$

Algunos valores típicos del coeficiente de escorrentía se recogen en la tabla 2.4.6.

Tabla 2.4.6. Valores típicos de coeficiente de escorrentía. (Kraemer 2004)

MATERIAL	C
Pavimentos de hormigón o aglomerado	0,75 a 0,95
Tratamientos superficiales	0,60 a 0,80
Firmes no revestidos	0,40 a 0,60
Bosques	0,40 a 0,60
Zonas con vegetación densa	0,40 a 0,60
Zonas con vegetación media	0,40 a 0,60
Zonas sin vegetación	0,40 a 0,60
Zonas cultivadas	0,40 a 0,60

2.4.4.4. Periodo de retorno

La frecuencia de aparición de un determinado evento (precipitación y caudal máximos) viene definida por su periodo de retorno, cuanto mayor sea éste, mayor será la cuantía del evento (mayores precipitaciones o caudales). Se define el periodo de retorno T como el tiempo T en años en que, como media, es superado el evento esperable (precipitación máxima o caudal máximo).

La probabilidad de que dicho caudal o precipitación sea excedido alguna vez durante un cierto intervalo de tiempo depende también de la duración del intervalo según la siguiente expresión:

$$1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^C$$

T = Periodo de retorno (años)

C = Intervalo de tiempo en que podría excederse el caudal máximo esperado (años)

En los proyectos de depósitos de menos de 5.000 m³ el propio Manual editado por la Consejería de Agricultura y Pesca recomienda que se utilice un periodo de retorno de 100 años. Sin embargo, para depósitos mayores, o en aquellas situaciones en las que el colapso del depósito implique pérdidas económicas o ponga en peligro vidas humanas se recomienda considerar periodos de retorno de 500 años.

2.4.4.5. Relación entre la intensidad de la lluvia y el caudal desaguado

Las precipitaciones constituyen las entradas de agua, pudiendo definirse a partir del **pluviograma** (diagrama de precipitación – tiempo). El **hietograma** (diagrama intensidades – tiempo) cuya integral proporciona el volumen total de agua caída sobre la unidad de superficie.

Si la precipitación total es de escasa cuantía, todo el agua de lluvia se queda en el suelo empapando su capa superficial, formando charcos en las irregularidades del suelo o retenida por la vegetación. Por el contrario si el aguacero supera el umbral de escorrentía (Po), desde ese momento comienza el **hietograma neto**, el **hidrograma superficial** (diagrama caudal – tiempo) dejará de ser nulo y una parte del agua empezará a fluir, recorriendo primero con un flujo difuso de pequeño calado y velocidad, hasta incorporarse a la red de desagüe natural o artificial. A partir de este momento seguirá las leyes de flujo en los cauces o conductos, hasta llegar al punto de desagüe.

Desde que finaliza la aportación a la escorrentía (final del hietograma neto) hasta que sale de la cuenca su última gota (final del hidrograma superficial), transcurre un cierto tiempo, denominado **tiempo de concentración** (Tc), que es el mínimo necesario para que una gota caída en la zona más alejada de la cuenca pueda hacer su viaje hasta el punto de desagüe.

El tiempo de concentración también se puede definir como el tiempo mínimo para que la escorrentía directa procedente de todos los puntos de la cuenca alcance el de salida o drenaje.

En un episodio de lluvia de duración indefinida, con una intensidad de lluvia neta constante y uniformemente repartida en toda la cuenca, el caudal en el punto de desagüe al principio sólo procede del agua caída en sus proximidades. Este caudal irá creciendo con el tiempo, ya que se produce la llegada de agua que cayó más lejos, hasta alcanzar una situación de equilibrio en la que las intensidades en el desagüe coinciden con las entradas netas a la cuenca. El tiempo transcurrido desde el origen del hidrograma hasta la estabilización del caudal es el de concentración; con una lluvia más prolongada sólo se consigue mantener ese caudal, pero no incrementarlo, puesto que a partir de la estabilización ya llegan gotas de todos los puntos de la cuenca.

Por lo tanto, el máximo caudal originado por un aguacero corresponderá a un intervalo de duración igual al tiempo de concentración. La duración "t" de la precipitación que sirve para definir su intensidad media debe tomarse, por tanto, igual a T_c .

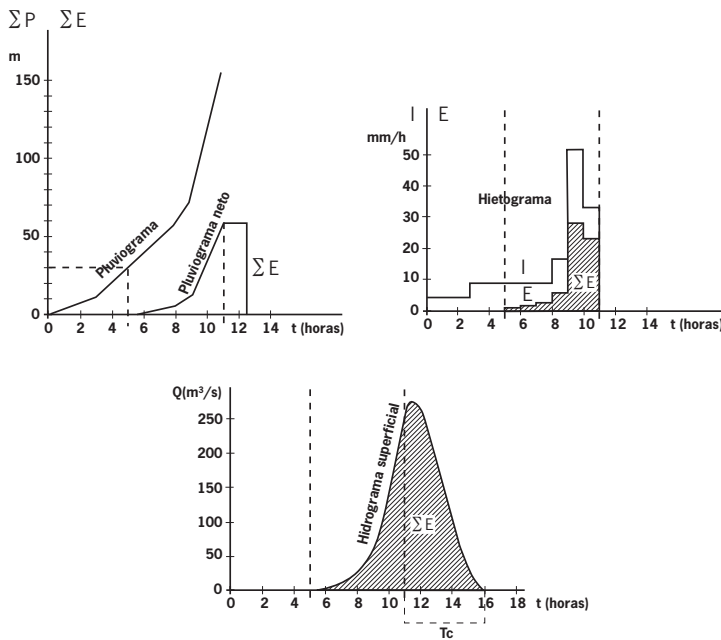


Figura 2.4.1. Pluviometría, hietograma e hidrograma de un episodio de lluvia

2.4.4.6. Caudal de diseño

Existen numerosas fórmulas empíricas (Norma 5.2. I.C., 1990) para la determinación de caudales máximos de avenida, útiles para el diseño de los elementos de desvío de las aguas de escorrentía o el cálculo de los niveles de máxima avenida.

En España se emplea con éxito una fórmula basada en el método racional, que ha sido desarrollada por Témez y otros para tiempos de concentración menores de seis horas y cuencas con áreas no superiores a los 2.000 km²:

$$Q = K \cdot \frac{C \cdot I \cdot A}{3}$$

Q = Caudal de diseño (m³/s)

C = Coeficiente de escorrentía (adimensional, entre 0 y 1), según apartado 2.4.4.3.

I = Intensidad media de la precipitación (mm/h)

A = Área de la cuenca (km²)

K = Coeficiente de uniformidad (adimensional).

El coeficiente K refleja la falta de uniformidad de la lluvia en las cuencas relativamente extensas. Se estima a partir de la forma y de las dimensiones de la cuenca, expresadas a través de su tiempo de concentración T_c (h), según la fórmula:

$$K = 1 + \left(\frac{T_c^{1,25}}{T_c^{1,25} + 14} \right)$$

En cuencas pequeñas (inferiores a un área de 75 km²), donde casi toda el agua circula por cauces definidos, el tiempo de concentración T_c (h) se puede estimar mediante la expresión:

$$T_c = 0,3 \cdot \left(\frac{L}{\sqrt[4]{J}} \right)^{0,76}$$

Donde L es la longitud del curso principal en (km) y J es su pendiente media (m/m).

La intensidad media de la precipitación (I) que se debe considerar en el diseño se calcula mediante la expresión:

$$I = I_d \cdot \left[\frac{I_1}{I_d} \right]^{\left[\frac{28^{0.1} - T_c^{0.1}}{28^{0.1} - 1} \right]}$$

donde:

$$I_d = K_A \cdot \frac{Pd}{24}$$

$$K_A = 1 - \frac{\log A}{15}$$

I_d = Intensidad media diaria de la precipitación (mm/h), correspondiente al periodo de retorno considerado

Pd = Máxima precipitación diaria (mm) correspondiente al periodo de retorno considerado

I_1 = Intensidad (mm/h) correspondiente a un aguacero de una hora de duración, también correspondiente al periodo de retorno considerado. La razón I_1/I_d se muestra en la figura 2.4.2.

T_c = tiempo de concentración (h)

A = Área de la cuenca (km²)

K_A = Coeficiente corrector



Figura 2.4.2. Mapa de isolinias I_1/I_d (Norma 5.2. IC, 1990)

2.4.4.7. Cálculos hidráulicos

Para el diseño de los elementos de desagüe o el nivel de la máxima avenida, es necesario comprobar los calados y regímenes en cada sección característica.

Para los cálculos hidráulicos, donde la pérdida de energía sea debida al rozamiento con cauces o conductos de paredes rugosas en régimen turbulento, se emplea habitualmente la fórmula de Manning – Strickler:

$$V = R_H^{2/3} \cdot J^{1/2} \cdot (1/n)$$

V = velocidad media de la corriente

S = El área de su sección (variable con el calado)

P = Perímetro mojado (variable con el calado)

$R_H = S/P$, su radio hidráulico, variable con el calado

J = La pendiente de la línea de energía. Donde el régimen pueda considerarse uniforme, se tomará igual a la pendiente longitudinal de elemento.

1/n = Coeficiente de rugosidad (Tabla 2.4.7)

Tabla 2.4.7. Coeficiente de rugosidad (1/n) ($m^{1/3}/s$) para la fórmula de Manning-Strickler. (Kraemer 2004)

En tierra desnuda	Superficie uniforme	40-50
	Superficie irregular	30-50
En tierra	Con ligera vegetación	25-30
	Con vegetación espesa	20-25
En roca	Superficie uniforme	30-35
	Superficie irregular	20-30
Fondo de grava	Cajeros de hormigón	50-60
	Cajeros encachados	30-45
Encachado		35-50
Revestimiento bituminoso		65-75
Hormigón proyectado		45-60
Tubo corrugado	Sin pavimentar	30-40
	Pavimentado	30-50
Tubo de fibrocemento	Sin juntas	100
	Con juntas	85
Tubo de hormigón		65-75

En el caso de depósitos donde no haya el aporte de escorrentía superficial, la máxima avenida vendrá producida por la lluvia que incide directamente sobre la superficie del depósito. En este caso se puede tomar como caudal de máxima avenida (Q) el correspondiente a la precipitación máxima de un aguacero de 1 hora y un periodo de retorno de 500 años [$I_1(500)$] incidiendo sobre la superficie del depósito (S).

$$Q = I_1(500) * S$$

2.5. CAPACIDAD DEL DEPÓSITO

De acuerdo con lo expuesto en los capítulos anteriores, las almazaras e industrias de aderezo de aceituna son las principales industrias agroalimentarias que requieren la construcción de depósitos de efluentes líquidos regulados por el RD 281/2001. Estas industrias, en la mayoría de los casos, eliminan sus efluentes líquidos con depósitos de evaporación natural.

Para calcular la capacidad de un depósito de evaporación es necesario hacer un balance hídrico a lo largo de un año. El balance hídrico se estudia mes a mes, calculándose el efluente almacenado al final de cada mes, como la diferencia entre las entradas y las salidas del mismo.

Se considera entrada, el volumen de efluente líquido generado en la industria y las aguas de lluvia. Se consideran salidas, las evaporaciones del efluente embalsado. Las pérdidas por filtración serán nulas y se debe evitar la entrada de agua de escorrentía.

Para un correcto diseño del depósito de evaporación, se debe elegir adecuadamente la superficie de evaporación y la altura, de modo que permita eliminar el efluente líquido almacenado sin que rebose el depósito por causa de una precipitación o accidente.

2.5.1. CÁLCULO DE LA SUPERFICIE DE EVAPORACIÓN

El dimensionamiento mínimo de la superficie de evaporación será función de la producción de efluente (m^3 de efluente) y de la evaporación potencial neta (ETP – P) del lugar donde se ubique el depósito.

Los datos de evaporación neta media mensual obtenida por diferencia de la evaporación potencial y precipitación, y los coeficientes para la determinación de la

superficie de evaporación mínima son proporcionados por la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir y se pueden consultar en el Manual de interpretación de normas para el titular del depósito de efluentes líquidos que ha elaborado la Consejería de Agricultura de la Junta de Andalucía. En la tabla 2.5.1 se muestra un ejemplo para la localidad de Guadalcazar (Córdoba)

Hay que tener en cuenta que la Orden de 15 de noviembre de 2005 en el punto 3 del artículo 4, dispone que los depósitos de evaporación natural no podrán superar los 2 m de calado de la lámina de líquidos y dejar un resguardo mínimo, entre la superficie superior de la lámina de líquidos y la coronación del dique, de 50 cm.

Para la producción de efluentes, se tendrá en cuenta lo descrito en el apartado 2.2.4.1 de alazaras y 2.2.4.2 de industrias de aderezo. Se recomienda realizar un estudio detallado de los efluentes que se producen en la industria, donde se justifique el volumen generado. En caso de no disponer de información suficiente se utilizarán los datos orientativos del Manual de interpretación de normas para el titular del depósito de efluentes líquidos que ha elaborado la Consejería de Agricultura de la Junta de Andalucía, y que se ha detallado en el apartado 2.2.4.1 y 2.2.4.2.

Tabla 2.5.1. Ejemplo de listado de evaporación neta media mensual (mm) y coeficientes para la determinación de la superficie de evaporación mínima. C.H.G.

Municipio Guadalcazar	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP
XUTM: 328746									
YUTM: 4181010									
Evaporación neta media mensual (mm)	-57,9	-27,6	21,1	37,4	89,6	154,3	202,0	180,0	101,2
Municipio Guadalcazar	OCT	NOV	DIC	Balance anual		Superficie de balsa necesaria (*)			
XUTM: 328746									
YUTM: 4181010									
Evaporación neta media mensual (mm)	4,3	-57,8	-56,2	590 mm		2,022			

(*) Indica la superficie mínima necesaria en m² por m³ de efluente a evaporar anualmente

La superficie necesaria (S) para evaporar el volumen de efluente producido será por tanto:

$$S = \frac{V_{\text{efluente}}}{EN}$$

Siendo:

Vefluente: Volumen anual de efluente que entra al depósito. Si hubiera entradas de agua de escorrentía se tendrían que sumar a los efluentes generados en la Industria.

EN: Evaporación efectiva o neta anual, obtenida por diferencia de la Evaporación media anual (E) y Precipitación media anual (P).

Si por razones meteorológicas (fuertes precipitaciones, descenso de la evaporación) o por un incremento de la producción aumentara el volumen de líquido en la balsa por encima de los valores de diseño, dicho incremento no podría ser evaporado en años sucesivos y se iría acumulando inevitablemente, lo cual acabaría provocando el rebose de la balsa. Por ello se debe aumentar la superficie calculada anteriormente en al menos un 20%.

2.5.2. CÁLCULO DE LA ALTURA DEL DEPÓSITO

La altura del depósito debe ser suficiente para que albergue tanto el volumen de vertido producido (H_{VERTIDO}), como el agua de escorrentía o de lluvia que incida sobre su superficie ($H_{\text{PRECIPITACION}}$), además de disponer de un resguardo de seguridad necesario para evitar el desbordamiento del depósito ante puntuales emergencias, o situaciones anómalas como las provocadas por meses de precipitaciones inusualmente elevadas ($H_{\text{RESGUARDO}}$).

Por todo ello, la altura total se calculará como la suma de 3 alturas:

$$H = H_{\text{RESGUARDO}} + H_{\text{VERTIDO}} + H_{\text{PRECIPITACION}}$$

$H_{\text{RESGUARDO}}$: No será inferior a 0,5 m.

H_{VERTIDO} : Altura mínima para albergar el vertido. Se calculará como:

$$S = \frac{V_{\text{efluente}}}{EN}$$

$H_{\text{PRECIPITACION}}$: Al objeto de garantizar que no se sobrepasa el resguardo, se recomienda calcular la avenida máxima previsible de las precipitaciones pluviales como se indica en el apartado 2.4.4.7. En caso de no existir escorrentía superficial, como ya se indicó, la máxima avenida vendrá producida por la lluvia que incide directamente sobre la superficie del depósito. En este caso se puede tomar como caudal de máxima avenida (Q) el correspondiente a la precipitación máxima de un aguacero de 1

hora y un periodo de retorno de 500 años [$I_1(500)$] incidiendo sobre la superficie del depósito (S). En depósitos de menos de 5.000 m³, pero que requieran inscribirse en el Registro de Industrias Agrarias se pueden tomar periodos de retorno de 100 años.

En caso de que al depósito lleguen aguas de escorrentía, algo que se debe evitar con la elección de un emplazamiento adecuado o la construcción de canales de desvío, se tendrá en cuenta la avenida máxima previsible para un periodo de retorno de 100 ó 500 años. Los caudales de entrada se determinarán siguiendo el procedimiento indicado en el apartado 2.4.4.6.

Se recomienda, que una vez realizado un predimensionamiento del depósito, donde al menos se contemplen datos como la superficie de la base del depósito y configuración del terreno, taludes interiores y exteriores, altura máxima de agua, superficie de evaporación media, superficie de precipitación, se haga un balance hídrico mes a mes comenzando por el mes de inicio de campaña.

Así podemos verificar que al inicio de la campaña siguiente, el depósito tenga la capacidad libre suficiente como para acumular los efluentes que se vayan a generar, teniendo en cuenta, la superficie de la lámina de evaporación, la propia evaporación esperada, la pluviometría y el resguardo por seguridad ante imprevistos.

En caso de depósitos de evaporación forzada por medios mecánicos, podrá disminuirse la superficie de evaporación, siempre que esté justificado que con los medios mecánicos se consigan los objetivos de evaporación. En estos depósitos de evaporación forzada no podrán superarse los 3 m de calado de la lámina de líquidos y dejar un resguardo mínimo, entre la superficie superior de la lámina de líquidos y la coronación del dique, de 50 cm.

CONCLUSIONES

- Las almazaras e industrias de aderezo de aceituna son las principales Agroindustrias que utilizan los depósitos de evaporación para eliminar sus efluentes líquidos. Estos depósitos en función de su capacidad estarán o no regulados por el RD 281/2002.
- Para el cálculo de la capacidad de un depósito de evaporación es preciso hacer un balance hídrico a lo largo del año, calculando las entradas y salidas.
- Las entradas se calculan con el volumen de efluente líquido generado en la Agroindustria y las aguas de lluvia que caen sobre el depósito. Se debe evitar la entrada de aguas de escorrentía.

- Las salidas se calculan a partir de la evaporación del efluente embalsado. Las pérdidas por filtración deben ser nulas.
- El diseño de la capacidad exige determinar la superficie de evaporación y la altura del depósito.
- Para el cálculo de la superficie de evaporación (S) se tendrán en cuenta la producción de efluente (*Vefluente*) y la evaporación efectiva o neta (*EN*), mediante la siguiente expresión:

$$S = \frac{V_{\text{efluente}}}{EN}$$

- El Manual de interpretación de normas para el titular del depósito de efluentes líquidos nos proporciona unos valores orientativos de la producción de efluentes (*Vefluente*) en función de las toneladas de aceituna molturada o aceituna entamada.
- Los datos de evaporación efectiva son proporcionados por la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir para cada Municipio de la cuenca.
- La superficie (S) calculada debe incrementarse en un 20% ante posibles imprevistos, ya que hemos trabajado con valores medios.
- El cálculo de la altura total del depósito (H), se determina como suma de tres alturas

$$H = H_{\text{RESGUARDO}} + H_{\text{VERTIDO}} + H_{\text{PRECIPITACION}}$$

H_{RESGUARDO}: No será inferior a 0,5 m.

H_{VERTIDO}: Altura mínima para albergar el vertido. Se calculará como:

H_{PRECIPITACION}: Al objeto de garantizar que no se sobrepasa el resguardo, se recomienda calcular la avenida máxima previsible de las precipitaciones pluviales como se indica en el apartado 2.4.4.7, además se tendrá en cuenta la precipitación máxima de un aguacero de 1 hora y un periodo de retorno de 500 años [*I*₁(500)] incidiendo sobre la superficie del depósito (S). En depósitos de menos de 5.000 m³ pero que requieran inscribirse en el Registro de Industrias Agrarias se pueden tomar periodos de retorno de 100 años.

Una vez realizado un predimensionamiento del depósito, se recomienda realizar un balance hídrico mes a mes, comenzando por el mes en que el depósito está más vacío, que debe coincidir con el mes de inicio de la campaña.

La Orden de 15 de noviembre de 2005 en el punto 3 del artículo 3, dispone que:

Los depósitos de evaporación natural no podrán superar los 2 m de calado de la lámina de líquidos y dejar un resguardo mínimo, entre la superficie superior de la lámina de líquidos y la coronación del dique, de 50 cm.

Los depósitos de evaporación forzada por medios mecánicos, podrá disminuirse la superficie de evaporación, siempre que esté justificado que con los medios mecánicos se consigan los objetivos de evaporación. En estos depósitos de evaporación forzada no podrán superarse los 3 m de calado de la lámina de líquidos y dejar un resguardo mínimo, entre la superficie superior de la lámina de líquidos y la coronación del dique, de 50 cm.

2.6. DISEÑO GEOMÉTRICO DEL DEPÓSITO

Decidida la ubicación de la industria en el plano topográfico, podremos emplazar el depósito y decidir los criterios de diseño que nos indiquen la geométrica en planta y alzado del “vaso” del mismo. Tenemos que tener en cuenta que se está diseñando un depósito de materiales sueltos, de hasta 2,5 m de altura total y una capacidad útil superior a 1.000 m³.

Para pequeñas industrias se pueden utilizar depósitos circulares de chapa ondulada, pero este tipo de depósitos no son los que se van a tratar a continuación, solo se tratarán los depósitos de materiales sueltos.

2.6.1. DISPOSICIÓN EN PLANTA

La singularidad de las estructuras de tierras o materiales sueltos y los condicionantes que impone la colocación de una geomembrana como base de la pantalla de impermeabilización aconsejan simplificar la geometría de la planta, adaptándola todo lo posible a la topografía del terreno.

La disposición en planta a la que se suele recurrir en el diseño de balsas, es la de polígonos, regulares o irregulares y con las esquinas curvadas, de radio circular (Figura 2.6.1).

La impermeabilización con geomembrana y el minimizar los costos de la obra en este tipo de depósitos, invita a optar por una configuración de polígono rectilíneo, que daría lugar a taludes interiores formados por planos intersecados dos a dos sobre aristas rectas. La adaptación de cualquier tipo de lámina delgada a la superficie tronco-piramidal así resultante permitiría simplificar su montaje y reducir al máximo las pérdidas por recortes. Es evidente que para depósitos de poca altura, inferiores a 2,5 m de altura total y relativamente poca capacidad, esta solución de polígono rectilíneo de cuatro lados es la más económica y la que se suele adoptar.

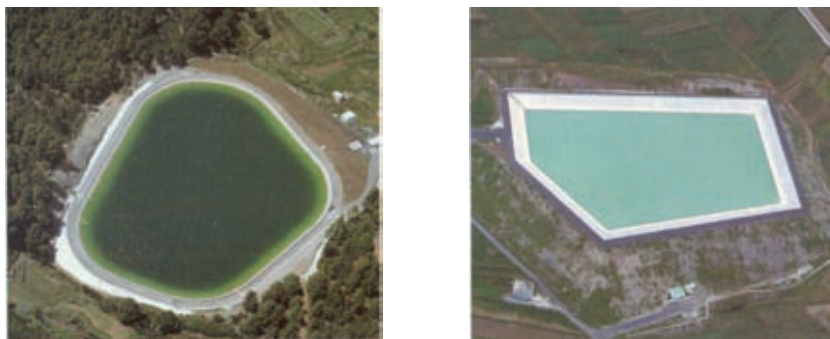


Figura 2.6.1. Topología de balsas (Amigo Rodríguez, E y Aguiar González, E , 1.994)

LA SOLUCIÓN DE POLÍGONO RECTILÍNEO DE CUATRO LADOS ES LA MÁS ECONÓMICA Y LA QUE SE SUELE ADOPTAR

2.6.2. DISPOSICIÓN EN ALZADO

Será necesario analizar el ajuste del depósito al relieve del terreno, para establecer el balance de los volúmenes de desmontes y terraplenes, con el propósito de que su ejecución sea lo más económica.

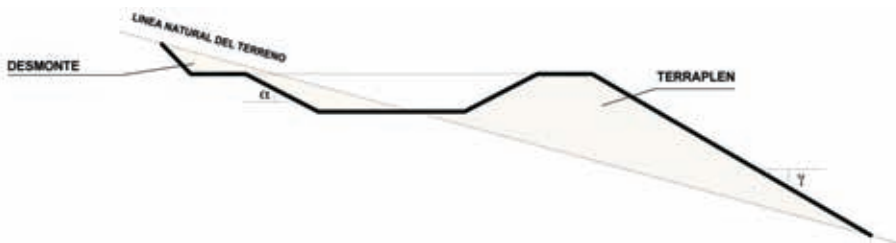
Según esto su disposición en alzado está determinada por su posición relativa respecto del terreno (Figura 2.6.2). Un excesivo empotramiento del vaso en el terreno

conduciría a mayores costes por un mayor volumen de desmonte y a un excedente de materiales que habrán de transportarse. Por el contrario, una elevación del perfil del depósito sobre el del terreno en el que se ubica, produce mayores alturas de terraplén y una descompensación de las tierras a remover que exigiría recurrir a materiales de préstamos para la formación de aquéllos.

El equilibrio de los volúmenes de desmonte y terraplén, tal y como se ha expuesto, es lo más indicado para balsas de riego, donde la altura de agua embalsada es muy superior a la usada en los depósitos de las industrias agroalimentarias, con el agravante de que estos residuos poseen una alta carga de contaminación. Por ello, conviene que el perfil de estos depósitos, se realice empotrando todo el vaso en el terreno natural (Figura 2.6.3) evitando con ello un posible vaciado por rotura del talud de vaso.



A) Exceso de desmonte sobre terraplén



B) Exceso de terraplén sobre desmonte

Figura 2.6.2. Situación de la balsa respecto al terreno, típico de balsas de riego



Figura 2.6.3. Perfil tipo con todo el vaso en desmonte en balsa de residuos líquidos o lodos

2.6.2.1. Inclínación de los taludes en terraplén y en desmonte

La sección típica de un depósito de materiales sueltos viene definida básicamente por los taludes interiores y exteriores del cuerpo del depósito, así como de los perfiles de las secciones en desmonte. Su inclinación es función de criterios de estabilidad de las tierras y de la pantalla de impermeabilización. Así, el valor de los taludes fluctúa en torno a unos valores acotados entre máximos y mínimos difícilmente superables. Para el talud interior impermeable el valor de $ctg\ a$ estará casi siempre comprendido entre valores superiores a 2,00 e inferiores a 3,00, recomendable entre 2,50 y 3,00, para poder ejecutar una buena compactación y refinado del mismo; mientras que los taludes exteriores del dique para que sean estables, necesitan valores de $ctg\ a$ comprendidos entre 1,50 Y 2,00.

La existencia de obras similares en la zona donde se va a ubicar la industria, nos podrán orientar en los taludes a utilizar. Valores inferiores de $ctg\ a$ en los paramentos interiores (taludes más verticales) siempre que sea posible por estabilidad, implica:

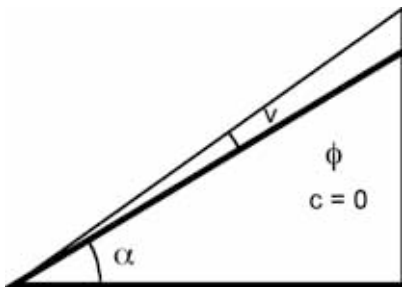
- Mayor capacidad de almacenamiento a igualdad de altura de agua y superficie en coronación.
- Menor volumen de terraplenes para un perímetro determinado.
- Menor superficie de planos inclinados en la pantalla de impermeabilización.

En contraposición a ello, existen otros aspectos a los que favorecen los valores mayores de $ctg\ a$ (taludes más suaves), como son:

- Mejores condiciones de estabilidad de la pantalla de impermeabilización.
- Menor volumen de desmonte para un perímetro determinado.
- Mayor facilidad en las labores de mantenimiento de la lámina de impermeabilización.

Cuando la pendiente natural del terreno sea superior a la de la «diagonal» interior del vaso y siempre que no existan limitaciones en cuanto a la superficie a ocupar en torno del depósito (incluyendo los de carácter medioambiental) deberá optarse por establecer inclinaciones de los taludes de desmonte que garanticen su estabilidad y permitan tratamientos posteriores de abancalamiento y repoblación con las especies vegetales preexistentes.

En cualquier caso será suficiente comprobar la estabilidad de la sección estructural al deslizamiento de taludes, como se verá en el apartado 2.9, ya que los coeficientes de seguridad que resultan frente al deslizamiento de la sección completa suelen superar ampliamente los mínimos exigibles. Cuando se trata de terrenos granulares el análisis de la estabilidad de los taludes puede plantearse con gran sencillez por no precisarse el tanteo de hipotéticas líneas de deslizamiento, ya que las más desfavorables corresponden, a priori, a deslizamientos muy someros próximos al talud y paralelos al mismo, de modo que su longitud puede considerarse infinita respecto al espesor movilizado. En tales condiciones, el coeficiente de seguridad puede aproximarse suficientemente, a efectos prácticos, mediante la expresión



$$F = \frac{\operatorname{tg} \phi}{\operatorname{tg} (\alpha + v)}$$

ϕ = ángulo de fricción interna del material

α = ángulo del paramento con la horizontal

v = arctg equivalente a la acción sísmica (ej. para un 10% resultan $5,7^\circ$)

En terrenos arcillosos (coherentes) habrá que utilizar otros procedimientos para calcular el coeficiente de seguridad frente a riesgo de deslizamiento. Los métodos a emplear para ello, se recogen en el apartado 2.9.

2.6.2.2. Altura de efluente y de resguardo

La altura del depósito viene condicionada por las pérdidas por evaporación neta de la localidad donde se ubique la industria, tal y como se indica en el apartado 2.5.2.

En los depósitos o balsas para los efluentes de industrias, tal y como indicamos la altura de calado de efluente suele oscilar entre 1 y 2 m de profundidad.

La diferencia entre la cota de máximo nivel de almacenamiento y la de coronación de tierras, se define como **altura de resguardo**. La «Instrucción de Grandes Presas» establece que el resguardo habrá de ser, como mínimo, **de vez y media la altura máxima de la ola originada por el viento**. Esta altura puede determinarse por cualquiera de las fórmulas empíricas comprobadas por la experiencia. Una fórmula fácil de aplicar, es la siguiente propuesta por Iribarren:

$$a = 0,6\sqrt[4]{L}$$

donde: a = altura de resguardo en m.

L = Longitud máxima del vaso en km.

La aplicación de este criterio a los embalses de tierras se ha probado como aceptable para alturas de agua superiores a diez metros. En el caso de las industrias el resguardo estaría comprendido entre **0,5 m y 1 m**, por lo que a veces resulta útil disponer un pretil o bordillo en coronación capaz de resistir los empujes del oleaje. Con ello se ahorraría volumen de tierras a compactar.

2.6.3. ANCHURA DE CORONACIÓN

La sección transversal del cuerpo del depósito está limitada por los taludes o paramentos interior y exterior y por el plano horizontal de coronación. La anchura de esta banda horizontal se determina en función de condicionantes económicos, funcionales y estructurales. Los primeros se refieren al volumen de terraplén para la construcción del dique y a la compensación de los movimientos de tierras para optimizar la utilización del material extraído en la formación del vaso.

El condicionante funcional se deriva de la utilización del plano de coronación para fines tales como el movimiento de vehículos y maquinaria, el alojamiento de conducciones de agua o de dispositivos de drenaje superficial y, en general, su ocupación con elementos accesorios del depósito (pretilos, anclajes, cerramientos, puntos de luz, etc).

Por último, de las exigencias de estabilidad estructural del dique se deduce la anchura mínima de coronación que, en general, será siempre superior a 3 metros. La Instrucción de Grandes Presas establece como valor mínimo de esta anchura el obtenido por aplicación de la fórmula:

$$C = 3 + 1,5\sqrt[3]{H - 15}$$

siendo H la altura de la presa. Cuando ésta no supera los 15 metros caso general en los depósitos aquí tratados, el valor mínimo de esta anchura es de 3 metros.

En los depósitos con secciones mixtas de terraplén y desmante, el plano de coronación se debe hacer extensivo a los tramos en desmante, aunque no se mantenga en éstos la misma anchura que la determinada sobre los terraplenes. A las ventajas funcionales ya expuestas cabe añadir, en este caso, la de servir de protección al paramento interior del vaso frente a los desprendimientos de materiales originados habitualmente en los taludes de desmante. Para evitar que las aguas de escorrentía que discurren por el talud de desmante vayan al interior del vaso, es necesario disponer unas cunetas a pie de dichos desmontes, que recojan y desvíen el agua que por ellos discurre.

LA ALTURA DE CALADO DE EFLUENTE SUELE OSCILAR ENTRE 1 Y 2 METROS DE PROFUNDIDAD.

EL RESGUARDO ESTARÍA COMPRENDIDO ENTRE 0,5 M Y 1 M

LA ANCHURA DE CORONACIÓN MÍNIMA DE 3 M.

2.7. PANTALLA DE IMPERMEABILIZACIÓN

Un depósito de materiales sueltos puede estar configurado de dos maneras distintas:

- En la primera, todo el depósito estaría formado, siempre que exista en la zona, por material arcilloso cuyo coeficiente de permeabilidad k sea menor de 10^{-7} cm/s., teniendo al menos en la zona de desmontes, caso de existir, una capa de 1 m de espesor de dicho material.
- En la segunda, el depósito esta compuesto por dos elementos básicos: una estructura de tierras que conforma el vaso propiamente dicho y una pantalla de impermeabilización que recubre totalmente su interior.

En este apartado sólo se describe la segunda opción compuesta por el terreno natural y la pantalla de impermeabilización.

2.7.1. ACCIONES SOBRE LA PANTALLA

A la hora de elegir el tipo de pantalla de impermeabilización deberán analizarse, detenidamente, las acciones a las que ésta puede estar sometida y que dependerán, no sólo del propio diseño del depósito, sino del entorno en el que se localiza. A continuación se enumeran las más importantes:

- El efecto directo del viento sobre la pantalla al descubierto.
- La temperatura.
- La acción de los rayos ultravioleta debidos a la radiación solar, será un serio condicionante por lo que su espesor se dimensionará en función de esta circunstancia.
- El efecto del granizo o pedrisco sobre una lámina puede arruinar la impermeabilización.
- El oleaje producido por el viento.
- La vegetación puede causar problemas en todo tipo de pantallas, ya que las raíces de las plantas llegan a perforar la geomembrana. Para evitarlo, se recomienda no disponer material de cubrición sobre la lámina, ya que existe el riesgo de que con el tiempo, semillas en suspensión enraícen y rompan la geomembrana. Asimismo, si en los taludes exteriores se va a realizar una plantación para minimizar los efectos de la erosión producida por la lluvia, es necesario que se usen plantas de tipo rastrero con raíces superficiales para evitar que alcancen la geomembrana.
- La acción del agua, en caso de un nivel freático muy superficial, o de gases producidos por emanaciones subterráneas. En ambos casos hay que dotar al depósito de un drenaje que evacue estos productos al exterior.
- Los roedores pueden profundizar sus cavernas hasta contactar con la geomembrana de la pantalla que puede ver peligrar su integridad. La buena compactación y/o la colocación de un geotextil permiten salvar este inconveniente.
- Entre otras acciones ha de contarse con los flotantes (troncos, hielos, etc.) que pueden obligar a una protección especial de la pantalla; los microorganismos que pudieran encontrarse en el efluente necesitan de una formulación específica de la geomembrana; y el inevitable e impredecible vandalismo (la colocación de una valla de cerramiento no impide los disparos de un cazador o el lanzamiento de objetos desde el exterior).

2.7.2. TIPOLOGÍA DE PANTALLA

Se realizaría una pantalla flexible, compuesta (por lo general), continua y prefabricada.

2.7.3. ELEMENTOS DE LA PANTALLA

En general, consta de tres capas entre las que siempre debe contarse con el terreno soporte y la geomembrana (Figuras 2.7.1 y 2.7.2). La primera (**Terreno soporte**) debe adecuarse para evitar la perforación de las láminas por punzonamiento. Ésta puede producirse por efecto de fragmentos duros y angulosos contenidos en el terreno soporte o por el crecimiento de plantas bajo la pantalla. El material aceptado como capa drenante es el geotextil en sus múltiples variantes.

La **capa drenante** permite el desagüe rápido del caudal infiltrado a través de la pantalla en caso de rotura, evitando el flujo a través de la sección estructural del dique y permitiendo un correcto control de las filtraciones.

1. Terreno soporte
2. Capa drenante
3. Geomembrana



Figura 2.7.1. Elementos de una pantalla de impermeabilización

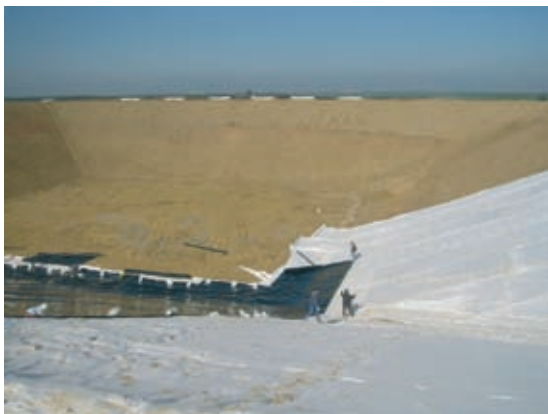


Figura 2.7.2. Elementos de una pantalla de impermeabilización

A continuación se exponen con mayor detalle los materiales de los elementos componentes de una pantalla de impermeabilización.

- **Geosintéticos** (Amigo Rodríguez, E y Aguiar González, E , 1.994)

El alto grado de implantación de los depósitos de materiales sueltos en la ingeniería rural tiene su fundamento en el espectacular avance tecnológico de los polímeros sintéticos aplicados a la construcción civil. A estos materiales en forma de láminas, mallas, fieltros o tejidos reticulares se les conoce por el nombre de «geosintéticos» y se clasifican en:

- Geomembranas o láminas delgadas impermeables.
- Geotextiles o fieltros de fibra polimérica tejida o no tejida.

– Geomembranas

Son láminas prefabricadas de pequeño espesor (0,25 a pocos mm) constituidas por una o más capas de materiales diversos, caracterizados por alto grado de impermeabilidad (K menor de 10^{-11} cm/s) y su gran flexibilidad. Pueden ir o no reforzadas y su coloración se consigue por una pigmentación en masa. Se elaboran en fábrica en piezas de grandes dimensiones que, debidamente plegadas o arrolladas, son fácilmente trasladables al lugar de empleo.

Los **Materiales Básicos** que constituyen, las geomembranas se clasifican según sus propiedades físicas en tres clases:

- Termoplásticos
- Cauchos termoplásticos
- Elastómeros

M. Blanco Fernández, en su ponencia sobre geomembranas, dentro del I Simposio nacional sobre proyecto, construcción e impermeabilización de balsas, presento el **Cuadro 2.7.1** en el que se muestran los materiales utilizados como geomembranas para impermeabilización, dentro de cada una de las clases mencionadas.

Cuadro 2.7.1

NOMENCLATURA	MATERIAL BÁSICO	CLASE
ECB	Copolímeros de Acrilatos / etileno y betún	
EVA/C	Copolímeros de acetato de vinilo y etileno	
EEA	Copolímeros de acetato de etilo y etileno	
PE	Polietileno	
PEAD	Polietileno de alta densidad	
PEC	Polietileno clorado	1
PP	Polipropileno	
PIB	Poliisobutileno	
PVC-P	Poli(cloruro de vinilo) plastificado	
TPO	Termoplástico poliolefínico	
E / P	Copolímeros de Etileno / propileno	2
CSM	Polietileno clorosulfonado	
CR	Caucho de cloropreno	
EPDM	Caucho terpolímero de Etileno / propileno / monómero diénico	
IIR	Caucho butilo	3
NBR	Caucho de Acrilonitrilo / butadieno	
BR	Caucho de butadieno	
POE	Polioléfina elastomérica	

Fuente: I Simposio nacional sobre proyecto, construcción e impermeabilización de balsas.

Las características que se deben tener en cuenta en una lámina para su colocación en una pantalla de impermeabilización deben estar en concordancia con las acciones a que ésta va a estar sometida. Además de la propia impermeabilidad, con carácter general, deben ser las siguientes:

- Dimensiones
 - Espesor
 - Peso específico
 - Ancho
 - Rectitud y planeidad
 - Aspecto
- Térmicas
 - Estabilidad al calor
 - Doblado a bajas temperaturas
- Durabilidad
 - Resistencia al ozono
 - Envejecimiento artificial acelerado
 - Envejecimiento térmico
 - Migración de plastificantes
 - Estabilidad dimensional
- Mecánicas
 - Resistencia a la tracción
 - Alargamiento en rotura
 - Módulo de elasticidad
 - Resistencia al punzonamiento
 - Resistencia al desgarro
 - Resistencia al impacto dinámico
 - Adherencia entre capas
 - Perforación por raíces
 - Resistencia de las uniones (tracción, pelado, etc.)
- Comportamiento:
 - Resistencia al betún
 - Resistencia a agentes químicos
 - Almacenamiento de agua potable
 - Extracción de aditivos por el agua
 - Absorción de agua
 - Resistencia a microorganismos

La más utilizada es la de PEAD (Polietileno de alta densidad) con un espesor entre 1 y 1,5 mm. Iván Vaquero Díaz (2004) indica las características mínimas a exigir en la impermeabilización de vertederos de residuos sólidos urbanos, que se recogen en el **CUADRO 2.7.2.**

Se conocen como **Normas** a las «especificaciones técnicas aprobadas por una institución con actividades de normalización, para su aplicación repetida y continua, cuya observancia no es obligatoria».

Los países desarrollados cuentan con organismos, estatales o privados, que tienen la responsabilidad de la normalización. En España esta actividad la lleva a cabo la entidad privada AENOR (Asociación Española de Normalización) y sus normas se denominan UNE (Una Norma Española). Son de destacar, por su acreditada categoría, las normas alemanas DIN e internacionales ISO.

Cuadro 2.7.2. Características mínimas a exigir en las láminas de PEAD

CARACTERÍSTICA	UNIDAD	NORMA	VALOR
Espesor	mm	UNE 53.221	1,5
Densidad	g/cm ³	UNE 53.020	> 0,94
Índice de fluidez	g/10 min	UNE 53.200	0,5
Contenido de negro de carbono	%	UNE 53.375	2,5 + 0,5
Contenido de cenizas	%	UNE 53.375	0,05
Dispersión de negro de carbono	-	UNE53.131	4
Dureza Shore D	-	UNE 53.130	60 + 5
Doblado a bajas temperaturas	-	UNE 53.358	Sin grietas
Resistencia a la percusión	-	UNE 53.358	Sin perforación
Resist. tracción, fluencia, alargamiento		UNE 104.300	
Resistencia a la tracción	MPa		35
Límite elástico	MPa		17
Alargamiento en la rotura	%		800
Alargamiento en el pto. de fluencia	%		17
Resistencia a la perforación		UNE 104.300	
Resistencia a la perforación	N/mm		400
Recorrido	mm		10
Envejecimiento artificial acelerado		UNE 53.104	
Alargamiento en rotura	%		<15
Resistencia al desgarro	N/mm	UNE 53.358	140
Resistencia al calor	%	UNE 53.358	2
Envejecimiento térmico	-	UNE 53.358	
Alargamiento en rotura	%		< 15
Resistencia al cuarteamiento por tensión en medio acuoso	-	UNE 104.300	Sin grietas
Absorción de agua	%	UNE 53.028	= 0,2 a 24 h
Resistencia a la perforación por raíces	-	UNE 53.420	Resiste

Fuente: POLYFELT.

En la Comunidad Económica Europea, con vistas al mercado único, se ha creado el CEN (Comité Europeo de Normalización) que elabora la normativa en ese marco. En su seno se han desarrollado distintos comités que ya trabajan en la elaboración de normas en diferentes campos, en los que ya no tendrán competencia los distintos órganos nacionales.

Es de destacar que en la puesta en obra de geomembranas para depósitos no existe normativa específica y es AENOR quien ha dado un primer paso en este camino. En el **Cuadro 2.7.3** se relacionan una serie de Normas (vigentes o en fase de elaboración) que tienen relación con la impermeabilización de depósitos y en las que se exigen las características que deben cumplir las láminas y se definen los métodos de ensayo correspondientes.

Cuadro 2.7.3. Normativa española aplicable a geomembranas

UNE 53402:	“Plásticos. Láminas de (policloruro de vinilo) plastificado, con o sin armadura, no resistentes al betún, para la impermeabilización de balsas, depósitos, piscinas, presas y canales para agua. Características y métodos de ensayo».
UNE 53586:	Elastómeros. Láminas de elastómero sin refuerzo ni armadura para la impermeabilización. Característica y métodos de ensayo».
UNE 104300:	“Materiales sintéticos. Láminas de polietileno de alta densidad (PEAD) para la impermeabilización en obra civil. Características y métodos de ensayo».
UNE 104311:	“Materiales sintéticos. Láminas de polietileno de alta densidad (PEAD) construido con otros grados de polietileno, para la impermeabilización en obra civil. Características y métodos de ensayo».
UNE 104421:	“Materiales sintéticos. Puesta en obra. Sistemas de impermeabilización de embalses, balsas y depósitos de agua, con geomembranas impermeabilizantes formadas por láminas de polietileno de alta densidad (PEAD) y polietileno de alta densidad construidas con otros grados de polietileno”.
UNE 104423:	“Materiales sintéticos. Puesta en obra. Sistemas de impermeabilización de balsas para riego y reserva de agua, con geomembranas impermeabilizantes formadas por láminas de (policloruro de vinilo) plastificado (PVC-P) no resistente al betún”.

Asimismo, existen geomembranas fabricadas con base en productos bituminosos. En este grupo merecen mencionarse tan sólo aquellas geomembranas formadas por un geotextil impregnado en betún modificado químicamente. En este caso el betún puede utilizarse sólo o combinado con otros materiales que le aportan las características químicas y mecánicas de las que el betún carece. Entre éstos pueden

señalarse algunos monómeros acrílicos o el látex de neopreno. Los geotextiles más utilizados en esta tipología de geomembrana son los de poliéster y polipropileno. El método de impregnación puede ser por prefabricación en taller o por inmersión «in situ» del geotextil en una cubeta que contiene la mezcla inmediatamente antes de la colocación de la geomembrana.

– Geotextiles

Las aplicaciones de los geotextiles en ingeniería rural se extienden a cinco funciones básicas, aunque en la mayor parte de los casos éstas suelen combinarse entre si.

APLICACIONES DE LOS GEOTEXTILES

- Drenaje: el agua y/o el gas circulan a lo largo de su plano.
- Filtración: las partículas de suelo quedan retenidas en él.
- Separación: evita de forma permanente la mezcla de materiales de capas diferentes.
- Refuerzo: aumenta la resistencia al corte del conjunto suelo-geotextil.
- Protección: evita el deterioro de una geomembrana por acciones mecánicas.

En los depósitos de tierras impermeabilizados con geomembranas todas estas funciones tienen aplicación en la estructura de la pantalla de impermeabilización. En la elección del tipo de geotextil habrán de tenerse en cuenta las condiciones de trabajo durante el período de servicio de la pantalla para diseñar las propiedades exigibles al producto a emplear, y no las de definir el geotextil tan sólo por su gramaje. Así, por ejemplo, en el caso de un geotextil dispuesto como soporte de una geomembrana, sus funciones serían las de refuerzo y drenaje antes señaladas. Suelen estar constituidos por fibras o hilos, de gran permeabilidad, apreciable deformabilidad y alta resistencia a la tracción. Aunque el abanico de materias primas que se emplean en su fabricación es muy amplio (vidrio, algodón, yute, lana, etc.) los más utilizados en este campo de la ingeniería son los polímeros sintéticos. Entre ellos destacan las poliamidas, el polietileno y, fundamentalmente, el poliéster y el polipropileno. Las propiedades básicas de los geotextiles son función, no solamente de su materia prima, sino también y preponderantemente del modo de fabricación. Las fibras, continuas o cortadas (largas o cortas), pueden estar dispuestas en forma ordenada (tejido) normalmente por el procedimiento de trama y

urdimbre y en escasas ocasiones por otras técnicas, geotextiles convencionales (tricotado), lo que dará lugar a propiedades anisótropas o, por el contrario, de forma desordenada (no tejido) mediante procedimientos puramente mecánicos de agujeteado o ligados por calor y calandrado o simplemente encolado. En este caso las propiedades de la lámina serán de carácter isótropo.



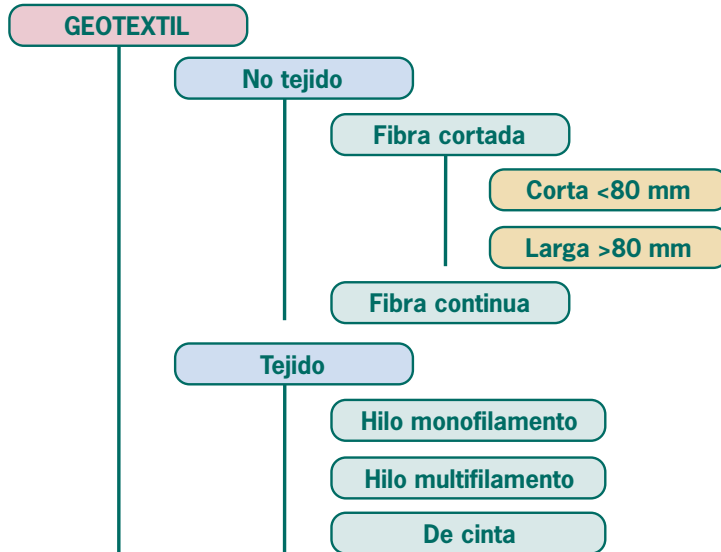
Figura 2.7.3. Colocación de geotextil en talud interior



Figura 2.7.4. Colocación de la geomembrana sobre el geotextil

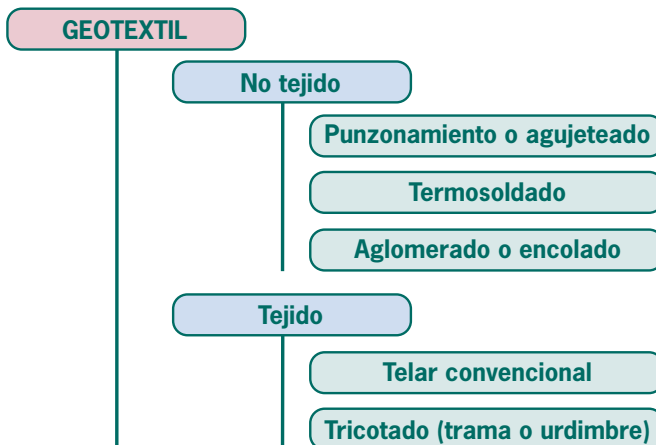
Los **Cuadros 2.7.4.** y **2.7.5.** muestran una clasificación general de los geotextiles en función de su estructura y su fabricación.

Cuadro 2.7.4. Geotextiles según su estructura



Fuente: Manual para el diseño, construcción y explotación de embalses impermeabilizados con geomembranas (Amigo Rodríguez, E y Aguiar González, E , 1.994)

Cuadro 2.7.5. Geotextiles según su fabricación



Fuente: Manual para el diseño, construcción y explotación de embalses impermeabilizados con geomembranas (Amigo Rodríguez, E y Aguiar González, E , 1.994)

A su vez, las características de cada geotextil varían de acuerdo con la cantidad de material que lo componen (gramaje), medida como masa por unidad de superficie. El «gramaje» generalmente está comprendido entre 100 y 1.000 g/m². Las más ligeras tienen una densidad de 100 g/m², al igual que los tejidos, los agujeteados de poco espesor y los termosoldados. Por el contrario, la mayoría de las mallas no tejidas y las geomallas están dentro de la categoría de los más pesados.

En la construcción de depósitos impermeabilizados con geomembranas las principales propiedades a determinar en el geotextil son las físicas, las mecánicas y las hidráulicas. Junto a éstas, la densidad superficial o gramaje incide notoriamente en el resultado a medio plazo de la obra proyectada. Los efectos de degradación del geotextil dependen de muchos factores, tales como el medio ambiente, el polímero empleado, el estado tensional de trabajo, el contacto con materiales agresivos y la exposición a la radiación ultravioleta.

Todas las características anteriores deben definirse exactamente en la ficha técnica que acompaña al producto comercial de que se trate y deberán estar contrastadas mediante ensayos normalizados específicamente definidos.

Entre las características mecánicas que tienen un mayor interés se encuentra la resistencia al punzonamiento. Esta cualidad hace imprescindible su uso cuando se trata de atenuar el efecto abrasivo del soporte. Otras, como las resistencias a la tracción y el desgarro o el alargamiento a rotura vendrán exigidas en todo caso por el comportamiento geotécnico del terreno. Los geotextiles constituidos por fibras ordenadas son los idóneos para aplicaciones con predominio de las tracciones en una dirección marcada.

El **Cuadro 2.7.6** muestra las características del geotextil, cuando se utiliza de protección y drenaje.

Cuadro 2.7.6. Valores mínimos a exigir a un geotextil de protección y drenaje

CARACTERÍSTICA	UNIDAD	NORMA	VALOR
Espesor bajo presión de 2 kN/m ²	mm	EN 964	3
Resistencia a perforación CBR	N	EN ISO 12236	2000
Resistencia a tracción	kN/m	EN ISO 10319/1	20
Alargamiento de rotura	%	EN ISO 10319/1	80
Perforación por caída libre de cono	mm	EN 918	< 14
Resistencia a perforación con pirámide	N	Anexo B UNE 104-424	Tabla 1

Fuente: POLYFELT.

Las propiedades hidráulicas del geotextil tienen una importancia fundamental cuando éste tiene una función de filtro o drenaje. Los dos factores definitorios de estas propiedades son la permeabilidad horizontal y vertical.

En funciones de transmisión de agua o drenaje la ventaja la ostentan aquellos geotextiles con espesor apreciable.

En cuanto a la selección del geotextil por su peso unitario o gramaje, sin que, como se ha dicho, éste sea el parámetro decisivo, existe la opinión generalizada de limitar éste sólo por condicionantes económicos.

En el proceso de diseño debe tenerse muy en cuenta la necesidad de circunscribirse al conjunto de los materiales existentes en el mercado.

DISEÑO USUAL DE LA PANTALLA

- GEOTEXTIL: NO TEJIDO de 200-300 gr/m²
- GEOMEMBRANA: PEAD de 1-1,5 mm de espesor

2.7.4. ANCLAJES

Las condiciones más desfavorables de las geomembranas, una vez instaladas, se producen en las paredes laterales del vaso. La acción de la temperatura (dilataciones y contracciones), el oleaje, el peso propio y, fundamentalmente, el viento requieren que la pantalla de impermeabilización se encuentre convenientemente anclada (figura 2.7.5). El diseño de los anclajes es una cuestión que admite una amplia gama de soluciones, pero en su dimensionamiento es el viento el efecto determinante.

Los sistemas más usuales de anclajes en depósitos de materiales sueltos serian los siguientes:

- Anclajes lineales
- Anclajes puntuales

La adherencia de toda la superficie de la geomembrana al soporte exige disponer sobre el terreno una capa de base de material cohesionado (hormigón poroso o similar) y presenta inconvenientes en la labor de reposición de la lámina. Además, sea cual fuere el producto utilizado para “pegar» la geomembrana al soporte, no ofrece suficientes garantías y su ejecución es siempre costosa.

Los anclajes lineales son los más utilizados y los que mejores resultados proporcionan. Por lo general, se disponen siguiendo líneas directrices horizontales, aunque en algunos casos se han dispuesto a lo largo de generatrices según planos verticales. La experiencia desaconseja el uso de estos últimos por requerir mayor longitud de anclaje y generar en la geomembrana tensiones no deseables.

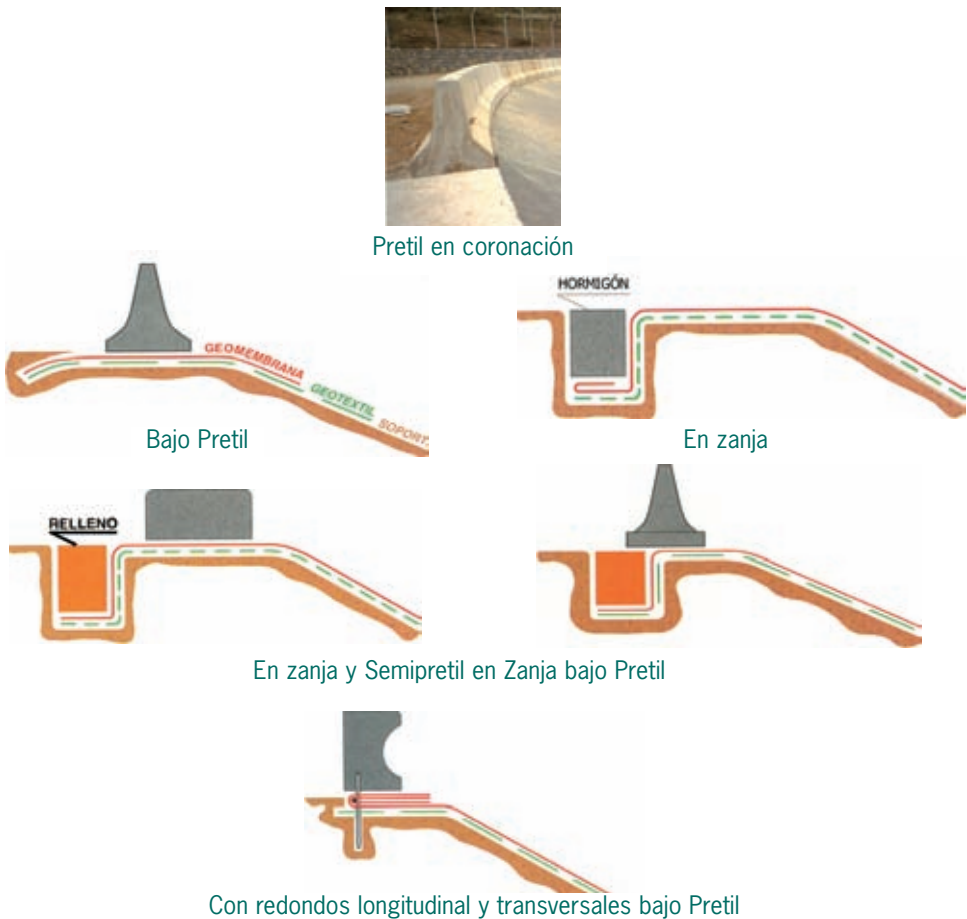


Figura 2.7.5. Tipos de anclajes (Amigo Rodríguez, E y Aguiar González, E , 1.994)



Figura 2.7.6. Colocación de pretil en coronación



Figura 2.7.7. Terminación con pretil en coronación

La disposición de anclajes lineales más común es la de un anillo en coronación, otros anillos intermedios sobre el talud si este es de gran longitud y, opcionalmente, otro en el pie del mismo. En nuestro caso, al ser la longitud del talud pequeña, sólo se colocan en coronación (Figuras 2.7.6 y 2.7.7).

El tipo de anclaje de coronación con el que se han obtenido mejores resultados es el que fija la geomembrana bajo el pretil que actúa como resguardo en todo el perímetro superior del depósito. En el caso muy frecuente de no colocar el pretil, la alternativa más aconsejable es la de enterrar el borde superior de la geomembrana en una zanja que posteriormente se rellena de terraplén compactado o de hormigón en masa. En el primer caso, la banda de lámina que es preciso enterrar será de mayor amplitud que si se utiliza hormigón como relleno, pero en el segundo, la reposición de la geomembrana será más cara y dificultosa. En cualquier caso el peso del relleno deberá garantizar el equilibrio entre el rozamiento por él provocado y el esfuerzo de tracción actuante.

2.7.5. JUNTAS DE CONSTRUCCIÓN Y DE DEFORMACIÓN

En los depósitos impermeabilizados con geomembranas, al no ser éstas continuas, se deben colocar juntas que hagan solidarias las distintas piezas de los geosintéticos prefabricados y aseguren las propiedades básicas del producto: resistencia mecánica e impermeabilidad. Tan sólo en las pantallas construidas «in situ» con aglomerados asfálticos puede obviarse la necesidad de disponer juntas

En una pantalla de geomembrana el tratamiento de las juntas deberá garantizar la resistencia del conjunto frente a las sollicitaciones mecánicas a que haya de estar sometida. Asimismo, de su grado de impermeabilidad dependerá el nivel de eficacia de toda la pantalla para evitar las filtraciones a su través. Cabe afirmar en este sentido que «una geomembrana será tan buena como lo sea la peor de sus juntas en obra». Los distintos tipos de juntas o uniones que hoy se utilizan en el tratamiento de las geomembranas pueden clasificarse en los siguientes grupos:

TIPOS DE JUNTAS O UNIONES

- Termosoldadura
- Adhesivos
- Vulcanizados
- Microondas
- Disolventes

En la *soldadura térmica* se recurre a una o dos fuentes de calor que se aplican sobre ambos lados del solape a la vez que se ejerce una presión uniforme sobre el mismo. En algunos materiales, como en el polietileno de alta densidad, puede aportarse también un cordón del mismo producto, que se incorpora solidariamente en la junta (soldadura por «aportación»).

Los *adhesivos* no resultan aconsejables porque pierden estabilidad con el paso del tiempo.

El *vulcanizado*, aplicable a los cauchos, ofrece garantías si se realiza en caliente, pero es difícilmente realizable en obra.

La *soldadura por ondas* de alta frecuencia y energía resulta eficaz en taller, pero no en obra. Se utiliza en los materiales termoplásticos, especialmente en los polietilenos clorados.

El uso de *disolventes* o «soldadura química» permite la fácil realización de juntas en obra en las geomembranas de PVC-P. El producto habitualmente utilizado es el THF o tetrahidrofurano.

Una tipología singular de junta es la de doble cordón con soldadura térmica. En ésta se disponen dos líneas continuas y paralelas de soldadura dejando una banda estanca entre ambas. La inyección de aire o agua en su interior constituye un buen sistema de control de la calidad de la unión.

En la definición de la pantalla de impermeabilización es aconsejable representar gráficamente una disposición general del despiece de la geomembrana, de manera que queden establecidos con claridad los criterios para la ordenación de los paños que la configuran y las juntas o uniones entre ellos. En general éstas deben adaptarse a las generatrices de las superficies laterales del vaso y prolongarse a lo ancho del fondo. Una buena disposición de juntas mejora notablemente la eficacia de la pantalla frente a otras soluciones más aleatorias. Esta tarea ofrece siempre dificultades para una correcta definición durante la elaboración del proyecto. Aunque en la construcción, con seguridad será objeto de variaciones, se trata de un ejercicio imprescindible para el proyectista.

Tanto las uniones de la propia lámina como las que se proyecten entre ésta y las estructuras rígidas tienen que absorber los esfuerzos mecánicos derivados de los asientos diferenciales que pueden originarse en puntos o zonas localizadas (contactos con las obras de fábrica, zanjas de drenaje,). Aunque la lámina puede

absorber pequeños asientos, deben diseñarse los pliegues de reserva de la geomembrana que habrán de preverse en su colocación. Esta cautela permitirá la absorción de los asientos que se produzcan sin alterar las condiciones de tensión en la lámina.

- **Duración y reposición de pantallas**

La impermeabilización con geomembranas tiene su principal justificación en el coste relativamente reducido que han alcanzado hoy los geosintéticos en el mercado de la construcción. Las soluciones alternativas basadas en estructuras gruesas de hormigón hidráulico o aglomerado asfáltico no pueden competir económicamente con aquéllas, al menos en lo que se refiere a los costes de primera instalación. Por otro lado, su sencillez de ejecución se ajusta mucho mejor a los medios constructivos tradicionales en la ingeniería rural.

No obstante en la elección de la tipología de pantalla habrá de tenerse en cuenta el período de vida de la instalación que se proyecte que, con toda probabilidad, superará la vida media de una geomembrana expuesta a la intemperie. Cualquiera que sea el producto que se utilice, sus propiedades mecánicas y de impermeabilidad irán decayendo hasta que el balance de costos conservación/reposición se incline a favor de la segunda. Este punto se alcanzará en todo caso en un plazo de diez-quince-veinte años contados desde la colocación de la geomembrana. Si bien es verdad que algunos sintéticos comerciales han superado con un buen comportamiento «in situ» estos períodos, debe entenderse que se hace aquí referencia a datos estadísticos que excluyen las excepciones hoy reconocidas.

La determinación «a priori» de la durabilidad de una geomembrana es función de muchas variables relacionadas con la climatología y con el régimen de explotación del depósito. Es evidente que una pantalla expuesta a vientos de gran intensidad y frecuencia o a elevados índices de insolación alcanzará el final de su vida útil mucho antes que otra sometida a condiciones naturales menos agresivas. Asimismo, la geomembrana mantendrá tanto más tiempo sus propiedades cuanto menor sea el período de depósito vacío dentro de cada ciclo anual de explotación.

Junto a las variables anteriores, la calidad del control y mantenimiento que se ejerza sobre la pantalla influirá notoriamente en su durabilidad.

El momento de optar por reponer la lámina, total o parcialmente, frente a la intensificación de los gastos de control y conservación puede tan sólo ser objeto de estimación, más o menos aproximada, en el diseño del depósito. En cualquier caso, el proyecto sí puede prever métodos fáciles de reposición de la geomembrana en la

que, como ya se ha expuesto, inciden notoriamente la tipología de los anclajes y la incorporación o no, de un material de recubrimiento.

UNIÓN POR SOLDADURA TÉRMICA DURACIÓN ALREDEDOR DE 15 AÑOS

2.8. DRENAJE INTERIOR

Es un elemento fundamental para comprobar posibles filtraciones en el depósito, evitando arrastres y erosiones de los terraplenes. Independiente del tipo de pantalla impermeable prevista en el proyecto, es posible que se produzcan flujos no deseables por fugas localizadas a través de la geomembrana o por aportaciones exteriores. Para ello se debe realizar un control del caudal de pérdidas y su reincorporación al depósito mediante un grupo de bombeo situado en una arqueta de recogida.

El diseño del drenaje interior se limita a un colector perimetral y una pequeña red ramificada en forma de raspa de pescado en el fondo de la balsa (figura 2.8.1) situada de forma paralela con pendiente hacia un lado del colector perimetral (figura 2.8.4), evacuando hacia una arqueta exterior de recogida. Esta arqueta sirve de control de las posibles filtraciones, disponiéndose una bomba para su rebombeo a la balsa en caso de que ocurran.

Las tuberías que se emplean en los colectores de drenaje son siempre de materiales plásticos (PVC O PE) perforadas o ranuradas, etc. Cuando el depósito se asienta en terrenos cuyo nivel freático llega a superar en ocasiones el fondo de aquél, al drenaje habrá que incorporar necesariamente los grupos de bombeo capaces de evacuarlos.



Figura 2.8.1.



Figura 2.8.2.



Figura 2.8.3.



Figura 2.8.4.

DRENAJE

- Red perimetral y una pequeña red ramificada en forma de resaca de pescado en el fondo o drenes paralelos
- Arqueta de recogida
- Bomba para la recirculación

2.9. ANÁLISIS DE LA ESTABILIDAD DE LOS TALUDES

Una vez realizado el diseño de la sección de la balsa, es preciso analizar la estabilidad de los taludes frente al posible deslizamiento provocado por las tensiones tangenciales que existen en el interior de la masa de suelo.

Los análisis de estabilidad pretenden llegar a la conclusión de si el talud estudiado cumple unas normas mínimas de seguridad. Evidentemente, para este estudio habrá que suponer las condiciones más desfavorables.

La rotura y deslizamiento de un talud puede suceder de forma lenta o rápida y con o sin aparente provocación. Las causas que más frecuentemente originan estos fenómenos suelen ser las excavaciones, socavamiento del pie del talud, pérdida gradual de la estructura del suelo y aumento por encima de ciertos límites de la presión intersticial del terreno entre otros.

Existen numerosos factores que afectan al análisis de la estabilidad de taludes, como la geometría del plano de falla, la homogeneidad-heterogeneidad de los suelos, la tensión

de rotura del terreno, la existencia de cargas dinámicas producidas por movimientos sísmicos, los flujos de filtración, etcétera.

En cuanto a la geometría del plano de falla, Spencer (1969)¹ sugirió el arco circular como más crítico que la espiral logarítmica para la sección transversal de la superficie de rotura. Sin embargo, Chen (1970)¹ puntualizó que la forma del plano de falla no afecta al análisis del problema de estabilidad.

Cuando las superficies de deslizamiento se desarrollan en un talud formado por una masa de materiales homogéneos, se suele admitir la hipótesis de que estas superficies son circulares (figura 2.9.1).

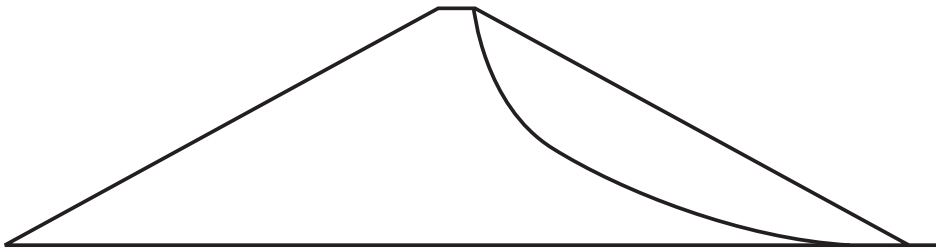


Figura 2.9.1. Hipótesis de superficie circular.

Si la cimentación fuera relativamente poco resistente, la superficie de deslizamiento puede penetrar en ella, con lo cual se podrían dar círculos o superficies compuestas (figura 2.9.2).

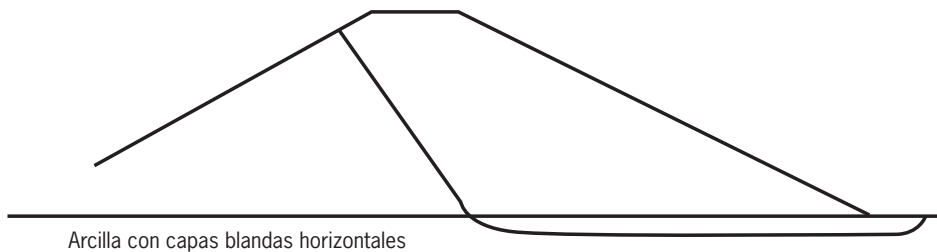


Figura 2.9.2. Superficie de deslizamiento.

¹ Winterkorn, 1975

En presas constituidas por dos o más materiales muy diferentes en cuanto a sus propiedades, si la superficie de deslizamiento pasa por los dos materiales, no se debe suponer una superficie circular. En este caso se recurre a superficies compuestas por círculos y rectas, o bien compuestas con partes cóncavas y convexas (figura 2.9.3).

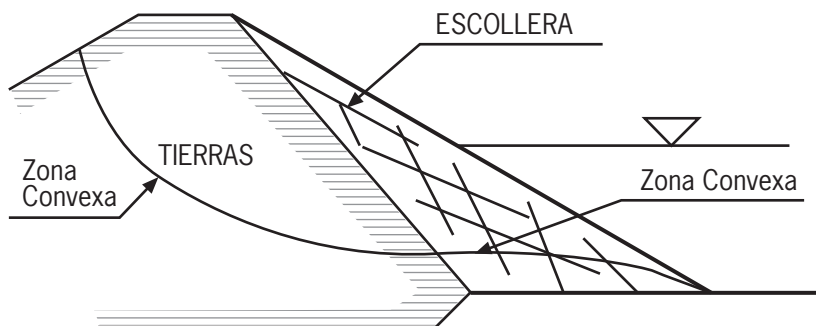


Figura 2.9.3. Superficie de deslizamiento en presas mixtas.

Otro aspecto importante a considerar en el análisis de la estabilidad de un talud es el efecto producido por un movimiento sísmico, la Instrucción Española de Grandes Presas, IEGP (MOP, 1967) divide el territorio nacional en tres zonas de baja, media y alta sismicidad, en la zona de baja sismicidad no es necesario tener en cuenta las acciones sísmicas que se puedan llegar a producir.

En las de sismicidad media, el cuerpo de la balsa deberá diseñarse, de forma que resista una aceleración sísmica horizontal igual a la máxima probable en un periodo de 500 años, y otra vertical con un valor igual a la mitad de la horizontal. En el caso de que no se conozca el valor de la aceleración máxima probable se adoptará un valor entre el 5 y el 10% de la aceleración de la gravedad, y la mitad de este valor para la componente vertical.

En zonas de alta sismicidad, el Ingeniero autor del Proyecto realizará un estudio sísmológico que justifique las acciones previsibles.

Las acciones sísmicas horizontales y verticales se considerarán actuando en la dirección más desfavorable, tanto aislada como conjuntamente. No se tendrá en cuenta la coincidencia con otros fenómenos como avenidas extraordinarias. En la figura 2.9.4. se aprecia el mapa de riesgo sísmico propuesto por la Norma de Construcción sismorresistente (NCSR-02) mas actual que el propuesto por la Instrucción Española de Grandes Presas.

Si la masa de suelo se encuentra por debajo de nivel freático bajo filtración constante, es necesario considerar el efecto de las presiones intersticiales, y éstas se determinarán como se indica en el apartado 2.9.2.

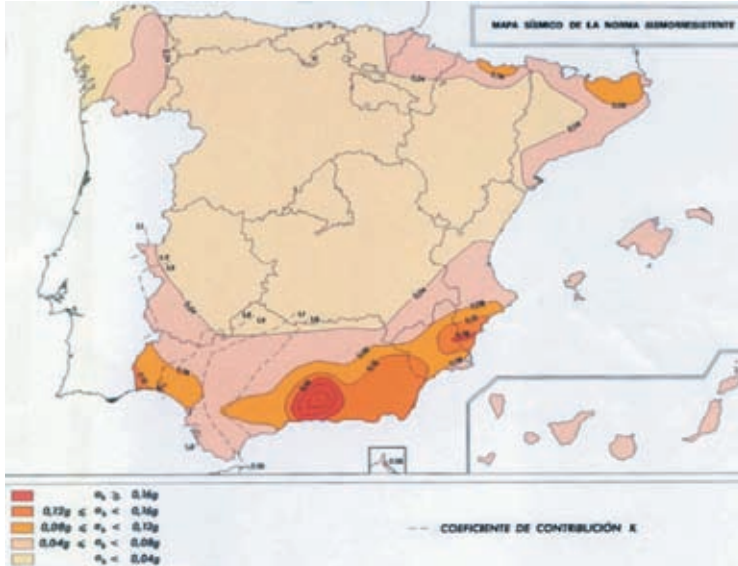


Figura 2.9.4. Mapa de riesgo sísmico. Fuente: M^o. de Fomento. 2002.

CONCLUSIONES

- El análisis de estabilidad de los taludes pretende llegar a la conclusión de si los taludes de la balsa cumplen unas normas de seguridad frente a deslizamientos de tierra.
- Las balsas habitualmente se realizan con materiales homogéneos. Con estos materiales se suele admitir que las superficies de deslizamiento son circulares.
- Si el material de apoyo del terraplén de la presa es resistente, los círculos de deslizamiento no penetrarían en él.
- Una de las acciones a considerar en el análisis de la estabilidad de los taludes es el efecto sísmico. La IEGP divide a España en tres zonas:
 - Sismicidad baja: No se considera la acción sísmica.

- Sismicidad media: Hay que considerar dos fuerzas
- Fuerza horizontal cuyo módulo oscila entre el 5 y el 10% del peso de la masa deslizante, aplicada en el c.d.g de la misma y en el sentido mas desfavorable.
- Fuerza vertical equivalente al 50% de la fuerza horizontal.
- Sismicidad alta: El ingeniero autor del proyecto justificará el valor de la acción sísmica a considerar

2.9.1. COEFICIENTES DE SEGURIDAD

El coeficiente de seguridad se utiliza en ingeniería para indicar si una cimentación o una obra de tierra fallará bajo las peores condiciones de servicio para las que fue diseñada.

Para el cálculo del coeficiente de seguridad, la mayoría de los autores utilizan el cociente entre la resultante de la fuerza tangencial máxima que el suelo puede soportar (S) y la resultante de las fuerzas tangenciales que actúan a lo largo de la línea de deslizamiento (T):

$$F_s = \frac{S}{T}$$

Siendo S:

$$S = \int_0^L (\sigma' \cdot \text{tg}\phi' + c') \cdot dl$$

Donde:

σ' = tensión efectiva normal en la línea de rotura.

ϕ' y c' = cohesión y ángulo de rozamiento efectivo del suelo que constituya el talud.

L = longitud total de la línea de rotura.

Los valores de c' y ϕ' se deben obtener en el reconocimiento del terreno mediante la realización de ensayos triaxiales consolidados no drenados.

La Orden de 15 de noviembre de 2005 de la Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía (BOJA nº 230 de 24/11/2005) señala en el Anexo II los coeficientes de seguridad mínimos a exigir en los depósitos clasificados como presas, y que se incluyen en la tabla 2.9.1, que se deberán obtener en el análisis de la estabilidad de los taludes para la hipótesis más desfavorable que es considerar a los taludes saturados.

En el análisis de la estabilidad de un talud, hay que considerar las tres situaciones que se indican a continuación:

- a) **Distintas fases de la construcción** hay que comprobar la estabilidad de ambos taludes. *Generalmente para los depósitos que nos ocupa, la mayoría con una altura inferior a los 2,5 metros, puede prescindirse de esta comprobación.*
- b) **Depósito lleno** y una vez establecida la red de filtración. *Esta situación es la más desfavorable para el análisis de la estabilidad del talud exterior.*
- c) **Depósito en niveles mínimos**, admitiendo que el talud interior de la balsa está saturado. *Esta hipótesis es la más desfavorable para el talud interior.*

Aunque en el caso de depósitos impermeabilizados con geomembranas, tanto la hipótesis de formación de una red de filtración como la de talud interior saturado no parecen probables, son teóricamente posibles si se produjese una rotura de la geomembrana en una amplia zona y que se extendiese en el tiempo.

Tabla 2.9.1 Coeficientes de seguridad

Tipo de depósito	Tipo de solicitaciones		
	Normales	Accidentales	Extremas
Presas de clase 1 o categoría A	1,4	1,3	1,2
Presas de clase 2	1,3	1,2	1,1
Presas de clase 3	1,2	1,1	1,0

Las solicitaciones que hay que considerar en el estudio de estabilidad se pueden clasificar en tres grupos:

- **Normales:** Son las debidas al peso propio, empuje hidrostático y/o de lodos, presiones intersticiales y sobrecargas por circulación de vehículos.
- **Accidentales:** Son las producidas por situaciones de duración limitada, como por ejemplo empuje hidrostático producido en una situación en la que el nivel

supere la máxima capacidad de almacenamiento de efluente. Asimismo, las acciones sísmicas también se consideran dentro de este grupo.

- **Extremas:** Las producidas por empujes hidrostáticos debidos al nivel máximo de efluente embalsado en caso de máximas precipitaciones.

Como se puede apreciar en la tabla 2.9.1, la citada Orden de 15 de noviembre no establece ningún factor de seguridad para los depósitos clasificados como balsas por lo que se entiende que el estudio de estabilidad de los taludes no es necesario realizarlo en este caso.

En el apartado siguiente se estudia el procedimiento para estimar, en cada una de las tres hipótesis o situaciones a considerar, el valor de las presiones intersticiales que se producen en el interior del cuerpo de la presa y que posteriormente se utilizarán en el análisis de la estabilidad de los taludes. De este análisis resultará un coeficiente de seguridad que deberá ser mayor que el reflejado en la tabla 2.9.1.

CONCLUSIONES

Las situaciones a considerar para el análisis de la estabilidad de los taludes de una presa son:

- Talud interior: Presa vacía y talud saturado con o sin efecto sísmico en función de su emplazamiento.
- Talud exterior: Presa llena con red de filtración con o sin efecto sísmico en función de su emplazamiento.

2.9.2. CÁLCULO DE LAS PRESIONES INTERSTICIALES

En el apartado anterior se nombraron las tres hipótesis para las que es necesario estudiar la estabilidad de los taludes. Para cada una de estas hipótesis habrá que calcular las presiones intersticiales y las características resistentes de los materiales utilizados, antes de abordar el cálculo del coeficiente de seguridad.

2.9.2.1. Presiones intersticiales durante la construcción de la presa

El factor más importante en la formación de presiones intersticiales, es el contenido de humedad durante la compactación.

Al extender y compactar una tongada de tierra con una humedad similar a la óptima Proctor, el suelo en general quedará parcialmente saturado y la presión intersticial será negativa. Al colocar otras tongadas las presiones verticales aumentarán y, en cierta proporción, también las horizontales. Si el material es relativamente impermeable, al comprimirse el suelo, la mezcla de agua y aire que forma el fluido intersticial (3-15% según tipo de suelo) va entrando en compresión, y las presiones intersticiales pueden alcanzar valores positivos.

Si la humedad de compactación es inferior a la óptima Proctor, la presión del agua alcanza cotas muy negativas, en especial si la época de compactación es seca y con viento. En cambio, si la humedad de compactación es superior a la óptima en clima o épocas lluviosas, el grado de saturación puede ser cercano a la unidad y por lo tanto las presiones intersticiales iniciales serán despreciables o nulas.

Las presiones intersticiales pasan por tres etapas durante la construcción de la presa:

- a) Presiones iniciales resultantes de la compactación.
- b) Presiones que se van originando durante la construcción al aumentar la carga sobre cada tongada vertida y compactada.
- c) Disipación de las presiones hacia los contornos más permeables de la presa.

Las dos últimas etapas se solapan, y las presiones del agua al fin de la construcción quedan influidas por múltiples factores que intervienen en su evolución.

2.9.2.2. Presiones intersticiales con embalse lleno y talud saturado

A embalse lleno, la rotura del depósito puede producirse por diferentes causas entre las que se encuentran las dos siguientes:

- a) Por un deslizamiento en masa en el talud exterior.
- b) Por erosión interna, debida al agrietamiento u otros motivos.

Con el depósito lleno y si se produjese la rotura de la geomembrana en una amplia zona, se establece un régimen de filtración a través del cuerpo de la presa, que produce un estado de presiones intersticiales completamente distinto al que aparece durante la construcción del muro. Una vez establecido este régimen permanente, es preciso determinar la red de filtración para luego calcular las presiones intersticiales.

• **Determinación de la red de filtración en presas construidas con materiales homogéneos**

En una presa de materiales homogéneos con cimiento impermeable, que es el caso más común, el contorno de la red de filtración (figura 2.9.5) viene definido por el talud interior (línea equipotencial), el plano de cimentación (línea de corriente) y la línea de saturación (línea superior de flujo).

Una vez establecido el contorno de la red de filtración, la condición hidrodinámica que rige un flujo bidimensional, es la ecuación de Laplace:

$$\frac{\delta^2 h}{\delta x^2} + \frac{\delta^2 h}{\delta y^2} = 0$$

La resolución de esta ecuación en un terreno homogéneo e isótropo origina dos familias de curvas ortogonales: las de corriente y las equipotenciales que constituyen la red de flujo.

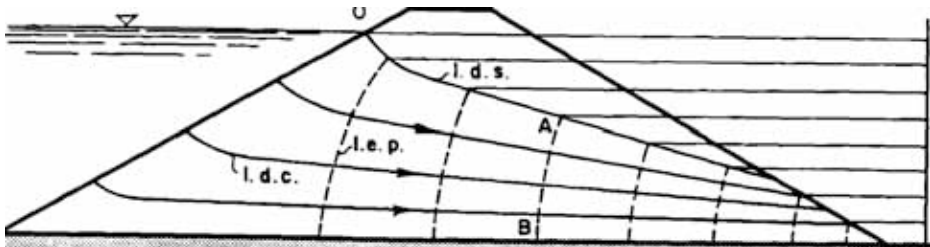


Figura 2.9.5. Líneas de saturación, equipotencial y de corriente

En la mayoría de los casos, la solución analítica de la ecuación de Laplace es compleja, debiendo recurrirse a métodos gráficos, al empleo de modelos físicos (analogía eléctrica), o a métodos numéricos aproximados.

Para presas pequeñas como es el caso que nos ocupa, se obtiene un elevado grado de exactitud mediante el uso de modelos gráficos. Para su empleo se deben tener en cuenta las siguientes reglas que debe satisfacer la red de filtración:

- a) Las separaciones entre líneas de corriente se elegirán adecuadamente para que resulten iguales los flujos circulantes entre cada par de ellas. Generalmente con tres tubos de corriente se obtiene un grado de precisión aceptable para presas de poca altura. Por lo tanto, si en una zona el agua circula con velocidad igual y uniforme, las líneas de corriente serán equidistantes. Donde la velocidad de percolación sea menor se separarán las líneas de corriente.
- b) Se trazarán las líneas equipotenciales cortando ortogonalmente a las líneas de corriente, y procurando que las retículas resultantes sean lo más cuadradas posible. La pérdida de carga entre cada dos líneas equipotenciales deberá ser constante.
- c) Al pasar de un medio a otro con distinta permeabilidad se harán cumplir las leyes de la refracción.

Con estas condiciones y mediante aproximaciones sucesivas se llega a una solución que, sin ser exacta, satisfaga con suficiencia la finalidad que se pretende, que es la de dibujar la red de filtración para a partir de ella obtener los valores de la presión intersticial.

La determinación de la presión intersticial “ u ” en un punto cualquiera p del interior de la red de filtración, se realiza (figura 2.9.6) dibujando la línea equipotencial que pasa por el punto p . El valor de u en m.c.a. vendrá dado por la diferencia de cotas entre p y el punto de intersección de la equipotencial que pasa por p y la línea de saturación.

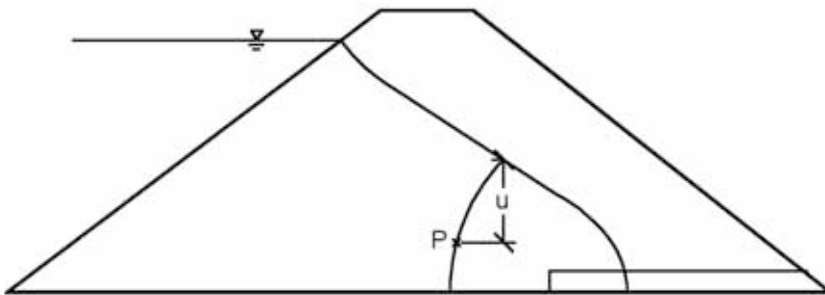


Figura 2.9.6. Presión intersticial con balsa llena y establecida la red de flujo

CONCLUSIONES

Habitualmente se simplifica la determinación de la presión intersticial “u” sobre un punto p cualquiera del interior de la red de filtración, de modo que su valor expresado en m.c.a. se hace igual a la altura de tierras saturada que tenga el punto p. Esta simplificación mejora la presión intersticial y por lo tanto nos deja del lado de la seguridad.

2.9.2.3. Presiones intersticiales con depósito en niveles mínimos

El cálculo de la variación de presión del agua que se origina en cualquier punto por los cambios de tensión que se producen en el desembalse rápido, se puede efectuar por la fórmula de Skempton-Bjerum:

$$\Delta u = B[\Delta\sigma_3 + A(\Delta\sigma_3 - \Delta\sigma_1)]$$

Donde:

Δu : variación de la presión intersticial.

$\Delta\sigma_1$: variación de la tensión principal mayor (vertical).

$\Delta\sigma_3$: variación de la tensión principal menor (horizontal).

A y B: coeficientes.

Si el suelo está saturado, $B = 1$ y el valor de A se obtiene de ensayos triaxiales en régimen de descompresión

$$\frac{\Delta u}{\Delta\sigma_1} = \frac{\Delta\sigma_3}{\Delta\sigma_1} + A\left(1 - \frac{\Delta\sigma_3}{\Delta\sigma_1}\right) = \beta$$

Bishop indica que para los valores medios de A y de la razón incremental $\frac{\Delta\sigma_3}{\Delta\sigma_1}$, un valor de β que se sitúa del lado de la seguridad es igual a la unidad, por tanto:

$$\Delta u = \Delta\sigma_1$$

Por otra parte, la variación de la tensión principal mayor $\Delta\sigma_1$ la estima aproximadamente igual a la disminución de la presión total en la vertical del punto considerado, tal como se indica en el ejemplo de la figura 2.9.7 para una presa homogénea:

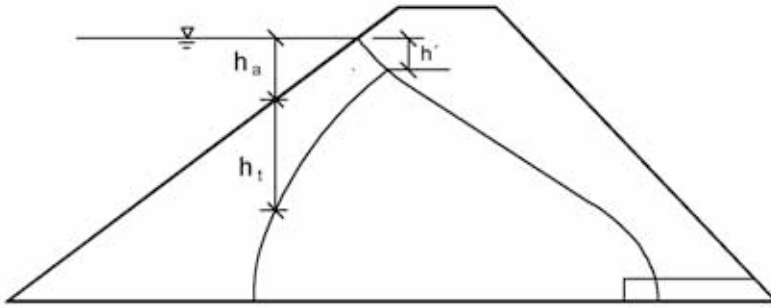


Figura 2.9.7. Variación de la tensión principal

Antes del desembalse:

$$\sigma_{10} = \gamma_a \cdot h_a + \gamma_t \cdot h_t$$

Después del desembalse:

$$\sigma_1 = \gamma_t \cdot h_t$$

Donde: γ_a = Peso específico del agua

γ_t = Peso específico saturado del terreno.

Realizando operaciones:

$$\Delta\sigma_1 = \sigma_1 - \sigma_{10} = -\gamma_a \cdot h_a$$

Por lo que se puede escribir:

$$\Delta u = \Delta\sigma_1 = -\gamma_a \cdot h_a$$

Si se expresa la presión en metros de columna de agua (m.c.a.), se tiene:

$$\Delta u = \Delta\sigma_1 = -h_a$$

Por lo tanto, se puede escribir que la presión intersticial u en desembalse rápido viene dada por:

$$u = u_0 + \Delta u$$

Donde: u_0 = presión intersticial a embalse lleno.

Δu = variación de la presión intersticial durante el desembalse.

De la figura 2.9.7 se deduce que u_0 expresado en m.c.a. viene dado por:

$$u_0 = h_a + h_t - h'$$

Por lo que, sustituyendo se obtiene:

$$u = h_t - h'$$

CONCLUSIONES

El valor de la presión intersticial que se considera para esta hipótesis es:

$$u = h_t$$

Es decir, la altura de tierras saturada que tenga el punto considerado, que es un valor que nos deja del lado de la seguridad ya que mayor la presión intersticial.

2.9.3. MÉTODOS PARA EL ANÁLISIS DE LA ESTABILIDAD DE LOS TALUDES

Diversos autores han desarrollado métodos para realizar el análisis de la estabilidad de taludes. Los más antiguos y más utilizados en presas pequeñas o balsas son los basados en el equilibrio límite. En los últimos años se han desarrollado métodos más sofisticados como el método variacional, métodos energéticos, método de los elementos finitos, métodos de análisis límite que aunque pueden conducir a taludes más estrictos que los métodos convencionales, algunos de ellos todavía no han sido lo suficientemente comprobados experimentalmente.

De todo el conjunto de métodos basados en el equilibrio límite, algunos consideran el talud completo (métodos de equilibrio global) mientras que otros lo dividen en fajas verticales (métodos de las fajas) analizando el equilibrio de cada una de ellas por separado. Dada la variabilidad de los materiales que pueden coincidir en el cuerpo de la presa, estos últimos parecen los más indicados, ya que cuando se utilizan suelos no homogéneos, es más exacto dividir en fajas en las que se pueden distinguir distintos tipos de suelo, que considerar todo el talud como una unidad con unas propiedades medias.

Dentro de los métodos de fajas cabe destacar a los siguientes:

- Método de Fellenius también denominado método del círculo sueco.
- Método de Bishop
- Método de Morgenstern - Price
- Método de Spencer

A continuación se desarrollan los dos primeros métodos, y se comentan brevemente los otros dos.

2.9.3.1. Métodos de equilibrio límite

Los diversos métodos de equilibrio límite están basados en las siguientes hipótesis:

- a) Consideran la estabilidad como un problema de deformación plana,** es decir, el talud es indefinido en la dirección horizontal paralela a la dirección del talud.
- b) Se estudia la estabilidad según un número suficientemente elevado de superficies de deslizamiento.** La forma de la superficie puede ser cualquiera pero normalmente se utiliza el círculo. La estabilidad se analiza comparando el cociente entre las fuerzas resistentes que se oponen al deslizamiento y las fuerzas que tienden a provocarlo. Como ya se ha comentado anteriormente, dicho cociente recibe el nombre de coeficiente de seguridad. **Si el mínimo de los coeficientes de seguridad obtenidos para las posibles superficies de deslizamiento probadas es superior al indicado en la tabla 2.9.1, se podrá garantizar la estabilidad del talud.**

• Método de las fajas

En los métodos de equilibrio límite global de una masa era necesario establecer una hipótesis sobre la distribución de presiones normales a la línea de rotura. Fellenius propuso estudiar la masa de suelo susceptible de deslizar dividiéndola en fajas verticales de modo que la hipótesis de distribución de presiones normales a lo largo de la línea de rotura se pueda racionalizar. Todos estos métodos se basan en considerar que la tensión en un punto de la línea de rotura, es debida fundamentalmente al peso de suelo que se haya en la vertical del punto. La diferencia entre distintos métodos está en las diversas consideraciones que se pueden realizar sobre las interacciones entre las distintas fajas.

– Planteamiento general del problema

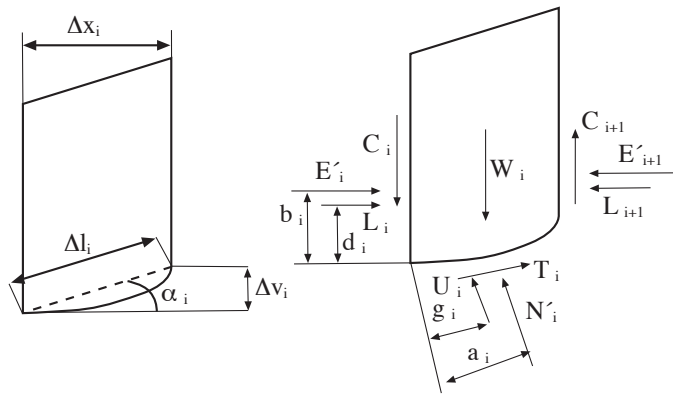


Figura 2.9.8. Fuerzas que actúan sobre una faja

Se considera una faja como la representada en la figura 2.9.8, sobre ella actúan las siguientes fuerzas:

- W_i : = peso total de la faja, incrementado en su caso en el valor de la componente vertical que actúe sobre la superficie del talud.
- U_i = resultante de la presión intersticial en la base de la faja.
- N'_i = tensión efectiva normal sobre la base de la faja.
- T_i = tensión tangencial movilizada en la base de la faja.
- L_i = resultante de la presión intersticial sobre una cara de la faja.
- E'_i = resultante de las tensiones normales efectivas sobre una cara. .
- C_i = resultante de las tensiones tangenciales en una cara de la faja.

Por definición del factor de seguridad, el valor de T_i viene dado por la siguiente expresión:

$$T_i = \frac{\Delta l \cdot c'_i + N'_i \cdot \tan \phi'_i}{F}$$

Donde:

- c'_i = cohesión efectiva del terreno en la zona de la línea de rotura correspondiente a esa faja.
- ϕ'_i = Ángulo de rozamiento efectivo del terreno en la zona de la línea de rotura correspondiente a esa faja.

Como se puede apreciar se tiene en cuenta la interacción entre las distintas fajas y en la figura 2.9.8 quedan expuestas todas las fuerzas que intervienen en el equilibrio, así como las líneas de acción de U_i , N_i , L_i y E'_i , mediante los parámetros g_i , a_i , d_i y b_i .

El planteamiento de equilibrio estático del conjunto de las rebanadas en que se divide la masa deslizante es irresoluble, ya que existen más incógnitas que ecuaciones. Por ello, es necesario realizar hipótesis simplificadoras que permitan resolver el problema.

Una vez planteado el problema de forma general, pasamos a describir los métodos más usuales.

1. Método de Fellenius o del círculo sueco

Éste es el primer procedimiento desarrollado para analizar la estabilidad de un talud. En él ⁽¹⁾ se establece como hipótesis simplificativa que las fajas no interaccionan entre sí, por lo que despreja las fuerzas C_i , L_i y E'_i de la figura 2.9.8, de modo que sobre cada faja las fuerzas actuantes son las que se representan en la figura 2.9.9, que se indican a continuación:

1. Peso total de la faja (W)
2. Reacción normal total en la base de la faja N que se puede descomponer en suma de la fuerza (U) debida a la presión intersticial y la normal efectiva (N').
3. Fuerza tangencial movilizada en la base de la faja (T).

Del equilibrio de estas fuerzas se obtienen las siguientes expresiones

$$T = W \operatorname{sen} \alpha$$

$$N = W \operatorname{cos} \alpha$$

La fuerza normal efectiva que es capaz de mobilizarse en la base de la faja vendrá dada por:

$$N' = N - U = N - u l = W \operatorname{cos} \alpha - u l$$

La fuerza tangencial máxima que es capaz de resistir el terreno en la base de la faja viene dada de acuerdo con la ley de Mohr – Coulomb por:

$$S = c'l + N' \tan \phi' = c'l + (W \operatorname{cos} \alpha - u l) \cdot \tan \phi'$$

1 Winterkorn, 1975

Del análisis de fuerzas, la componente $W \sin \alpha$ del peso propio es la fuerza desestabilizante que tiende a producir el deslizamiento de la faja, mientras que la fuerza S es la que se opone al deslizamiento.

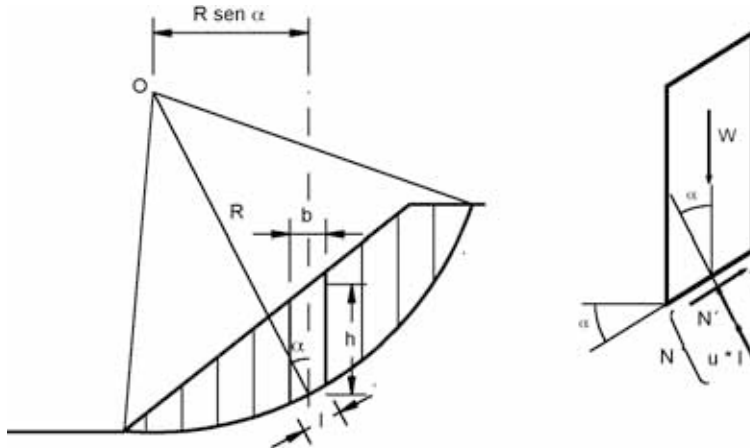


Figura 2.9.9. Fuerzas que actúan sobre cada faja (Método de Fellenius).

Ahora bien, para que se produzca rotura del talud se tiene que superar la resistencia que oponen la totalidad de las fajas, de modo que el coeficiente de seguridad $F = S/T$ se puede poner como:

$$F = \frac{\sum [c' \cdot l + (W \cdot \cos \alpha - u \cdot l) \cdot \tan \phi']}{\sum W \cdot \sin \alpha}$$

Con este método se obtienen en la mayoría de los casos coeficientes de seguridad menores a los reales, debido sobre todo a la simplificación inicial de no considerar la acción de unas fajas sobre otras. Esto nos deja por lo tanto del lado de la seguridad.

2. Método de Bishop

Este método ⁽¹⁾ considera sobre una faja todas las fuerzas representadas en la figura 2.9.10. El equilibrio de la masa total será la suma de los equilibrios de todas las fajas. Las fuerzas actuantes son: el peso de la faja (W), la acción exterior (Q), la

1 Winterkorn, 1975

fuerza tangencial sobre la base de la faja (T) y las acciones normales a cada una de las superficies de la faja (N, E_1 y E_2). Por lo tanto, la hipótesis establecida es que no considera las fuerzas tangenciales que actúan sobre las superficies laterales de la faja.

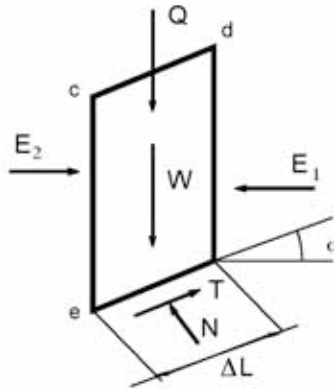


Figura 2.9.10. Fuerzas que actúan sobre la faja (Método de Bishop)

En este caso, la expresión del factor de seguridad es una ecuación no lineal, es decir, el factor de seguridad F aparece en ambos lados de la ecuación, por lo que es necesario un proceso iterativo para su determinación.

$$F = \frac{\sum [c \cdot l \cdot \cos \alpha + (W + Q - u \cdot l \cdot \cos \alpha) \cdot \tan \phi]}{\sum (W + Q) \cdot \operatorname{sen} \alpha} \left[\frac{1}{M_\alpha} \right]$$

Denominándose M_α a la siguiente expresión:

$$M_\alpha = \cos \alpha + \frac{\tan \phi' \cdot \operatorname{sen} \alpha}{F}$$

El proceso de cálculo del coeficiente de seguridad es el siguiente:

Se toma un valor de F arbitrario, y junto con los parámetros característicos del talud se calcula M_α que introducido en la expresión del factor de seguridad permite obtener un nuevo valor de F . A continuación, este nuevo valor de F se utiliza para obtener un nuevo valor de M_α que a su vez permite obtener un nuevo valor de F .

$$M_\alpha$$

El proceso se repite hasta que la diferencia entre el valor de F previo y el nuevo sea lo suficientemente pequeña. En resumen, el método de Bishop no considera las fuerzas tangenciales en el contacto entre fajas, satisface el equilibrio de momentos, pero no el equilibrio de fuerzas horizontales.

3. Método de Spencer

Este método, a diferencia del de Bishop si considera las fuerzas tangenciales en el contacto entre fajas y propone dos ecuaciones diferentes para el factor de seguridad, la primera para satisfacer el equilibrio de momentos, y la segunda para cumplir el equilibrio de fuerzas horizontales.

El procedimiento para obtener el factor de seguridad consiste en partir de una relación entre las fuerzas tangenciales y normales en el contacto entre fajas y hacer variar esa razón hasta que los dos factores de seguridad sean iguales, lo que significa que se satisface tanto el equilibrio de momentos como de fuerzas.

4. Método de Morgenstern y Price

Este método se diferencia del propuesto por Spencer en que la función que relaciona las fuerzas normales y tangenciales en el contacto entre fajas no es una constante como en el método anterior sino que utiliza diferentes tipos de función (trapezoidal, semi-senoidal etc.).

En resumen, este método al igual que el de Spencer considera tanto las fuerzas normales como tangenciales entre fajas y satisface tanto el equilibrio de fuerzas como de momentos.

CONCLUSIONES

1. Los mejores métodos para estimar el factor de seguridad de un talud son los de Spencer y Morgenstern y Price ya que ambos consideran las fuerzas de interacción entre fajas contiguas y satisfacen el equilibrio tanto de fuerzas como de momentos.
2. Los otros procedimientos mas simples que no incluyen todas las fuerzas entre fajas contiguas y no satisfacen todas las ecuaciones de equilibrio pueden producir a veces un error del lado de la inseguridad.

3. Para la determinación del factor de seguridad de cualquiera de los taludes se puede utilizar la versión educacional gratuita del programa de cálculo Geoslope que se puede obtener en la siguiente dirección de Internet <http://www.geo-slope.com/>.
4. Un manual de ayuda para el uso de este programa se incluye en el disco que se incluye en este libro como anexo nº 1.

2.10. ELEMENTOS COMPLEMENTARIOS

Se incluyen en este apartado, el conjunto de elementos que facilitan el llenado de la balsa o depósito, así como los dispositivos que permiten realizar un vaciado de emergencia en caso de producirse incidentes graves que puedan ocasionar la rotura de la balsa. Por último, también se analizan los mecanismos que permiten evacuar todo volumen que supere el máximo permitido en la balsa o depósito, generalmente ocasionado por aguas pluviales.

2.10.1. DISPOSITIVOS DE TRANSPORTE Y ENTRADA DE AGUAS

Los sistemas mas utilizados para el llenado de los depósitos son los siguientes:

- **Camiones cisterna** que descargan por gravedad al interior de la balsa. Se emplean cuando la balsa se encuentre a una distancia considerable de la industria. Este sistema requiere la disposición de un depósito de almacenamiento transitorio en la propia industria. El transporte se realiza en función de la producción, entre una vez diaria, a varias veces por semana, siendo necesario prestar una atención especial a la estanqueidad de la cisterna, así como a sus mecanismos de cierre y vaciado de modo que existan garantías de que no se van a producir fugas o vertidos durante el transporte, ya que de producirse, se originaría un importante impacto medioambiental.
- **Conducción enterrada.** Este sistema se utiliza cuando la balsa o depósito se encuentre ubicada en el mismo solar de la industria o en otro próximo. La conducción se inicia desde una arqueta donde se concentran todos los vertidos industriales cuyo destino sea la balsa de evaporación. El material de la tubería habitualmente es polietileno o PVC corrugado. El método de transporte será por gravedad o mediante bombeo en función de la topografía de la zona.

La entrada de vertidos a la balsa es recomendable realizarla por la coronación, ya que de hacerlo por el fondo, una rotura de la tubería produciría el vaciado incontrolado de la balsa con el grave impacto ambiental que esto acarrearía.



Figura 2.10.1. Entrada de vertido mediante tubería enrasada al talud interior

La tubería de entrada finaliza en pico de flauta (figura nº 2.10.1) enrasada con el talud interior y próximo a la coronación del la balsa. Es conveniente, y en los sistemas de conducción forzados indispensable disponer previo a la entrada del vertido en la balsa de una arqueta de rotura de presión (figura nº 2.10.2) que garantice la disipación de energía del vertido antes de entrar en contacto con el talud interior.



Figura 2.10.2. Entrada en canal con arqueta previa de rotura de presión

En el caso de que la conducción sea forzada, mediante una impulsión desde la arqueta de concentración de vertidos, el diseño de la arqueta se realiza siguiendo los procedimientos habituales de cálculo de un pozo de bombas.

DISEÑO DE LA ARQUETA DE BOMBEO

- Volumen tal que cumpla las siguientes condiciones:
 - a) Tiempo máximo de retención de agua 60 minutos.
 - b) Tiempo mínimo de funcionamiento de bombas 10 minutos.
- La arqueta debe cubrirse para evitar la difusión de malos olores
- Las dimensiones en planta deben ser tales que se tenga fácil acceso a los equipos y permita su fácil limpieza.
- El volumen mínimo útil V se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$V = 0,9 Q_b / N$$

Siendo: Q_b = caudal de bombeo

N = número de frecuencias de arranque de la bomba por hora (3-4)

2.10.2. ALIVIADERO

Es un elemento cuya función es derivar el exceso de caudal, hacia un cauce natural o depósito de emergencia, de modo que se evite un vertido por encima de la coronación de la balsa, ya que esto ocasionaría un grave riesgo de rotura del depósito dando lugar a importantes daños económicos y ambientales.



(a)



(b)



(c)

Figura 2.10.3. Aliviaderos constituidos por tuberías

En los depósitos que aquí se tratan, el aliviadero consiste en una o varias tuberías de PVC o polietileno corrugados, colocadas perpendiculares al eje del camino de coronación. Existen varios diseños de la toma de agua situada en el talud interior, que se muestran en las figuras 2.10.3. En todos ellos, la cota de entrada de líquido debe coincidir con la correspondiente al máximo nivel de vertido permitido. La tubería después de atravesar el cuerpo de la balsa, y recorrer el talud exterior, descarga en una arqueta situada al pie de este talud, y desde ella, se conduce el líquido a un cauce natural próximo.

Ahora bien, si el contenido de la balsa es un vertido industrial con una alta carga contaminante, los caudales conducidos a través del aliviadero no deben verterse a cauce público, siendo conveniente construir un pequeño depósito para estas situaciones de emergencia. Con posterioridad, una vez reestablecida la normalidad, los volúmenes almacenados en este depósito deben retornar al depósito principal.

La tubería debe dimensionarse para ser capaz de transportar un caudal Q_a que viene dado por:

$$Q_a = Q_e + Q_p$$

Siendo: Q_e = máximo caudal de llenado del depósito (m^3/h)

Q_p = máximo caudal producido por un aguacero de una hora de duración sobre la superficie interior del depósito y con un periodo de retorno de 500 años.

Asimismo, es necesario garantizar la total estanqueidad de la unión entre la tubería y la lámina de impermeabilización, ya que si se producen filtraciones a través de la citada unión, puede originarse un descalce del apoyo de la tubería y la posterior rotura de ésta y de la lámina en esta zona.

Otra opción que también se puede utilizar es la de no disponer aliviadero, en cuyo caso se debe extremar la vigilancia del depósito en situaciones de precipitaciones intensas, a fin de evitar el vertido por encima de la coronación del depósito.

2.11. OTROS ELEMENTOS ACCESORIOS

• Cerramiento

Con el propósito de impedir el acceso al interior de la balsa o depósito a personas ajenas a la explotación de la misma, es necesario disponer una valla de cerramiento perimetral.

La altura de la misma debe ser como mínimo de 1,80 metros y realizarse a base de postes de acero galvanizado de 2,5 a 3 pulgadas de grosor, separados 3 metros. La malla que se utiliza es asimismo de acero galvanizado y de simple torsión. Es aconsejable empotrar el borde inferior de la malla, para de este modo, evitar su levantamiento.

El cerramiento se puede realizar en el borde interior de la coronación del dique, o bien a lo largo del borde inferior del talud exterior. De ambas soluciones, la primera es la más usada, ya que requiere una menor longitud, y además la horizontalidad del terreno facilita el anclaje de la malla en su parte inferior, frente a una topografía bastante más irregular de la segunda solución.

• Elementos de salvamento

Se han producido diversos accidentes mortales por la caída de personas al interior de balsas llenas, que no han podido salir de la misma por la excesiva pendiente del talud interior y por lo escurridizas que son las geomembranas.

Aunque este tipo de accidentes, no son probables en este tipo de balsas evaporativas por su escasa altura, es conveniente disponer elementos que faciliten la salida de personas de su interior. Entre estos, se puede citar la colocación de maromas con nudos ancladas en la coronación y tendidas a lo largo del talud interior (figura 2.10.4).



Figura 2.10.4. Maroma de salvamento

- **Protección del talud exterior**

Cuando el talud exterior está constituido por roca o cantos rodados, no se necesita ningún tipo de protección. Sin embargo, cuando lo está por materiales finos, éstos deben protegerse contra la acción erosiva del viento y de la lluvia. Una solución adoptada en estos casos, es la de utilizar una cubierta vegetal, generalmente de hierba o cualquier otra planta autóctona. de raíces poco profundas, lo que ofrece además un impacto visual positivo. En zonas de climas áridos, se prefiere colocar una capa de cantos rodados o de roca machacada de unos 30 cm de espesor.

2.12. PROYECTO BÁSICO DE ABANDONO Y CLAUSURA

Para cumplir con este requisito, se deben indicar las medidas a aplicar cuando finalice la vida activa del depósito a efectos de su clausura y posterior mantenimiento y control. Entre ellas cabe citar las siguientes:

En primer lugar se procederá a la supresión del cerramiento, llevando los materiales a vertedero autorizado.

A continuación, se procederá a la retirada de los sedimentos depositados en el fondo y de la geomembrana. Ambos materiales deberán ser retirados por una empresa autorizada para su gestión y tratamiento al estar clasificados como residuos peligrosos.

Después se procederá a su nivelado y/o rellenado con tierras procedentes de los mismos taludes exteriores y o de excavaciones cercanas, tratando de configurar un entorno similar al que existía antes de realizar el depósito. En el estrato superior se dispondrá una capa de tierra vegetal.

El control y mantenimiento después de la clausura y posterior adecuación del depósito, no tiene ninguna relevancia ya que al haber estado dichos depósitos impermeabilizados, los terrenos de alrededor no tendrán ningún componente de contaminación.



3. RIESGO POTENCIAL Y PLANES DE EMERGENCIA

CAPÍTULO 3. RIESGO POTENCIAL Y PLANES DE EMERGENCIA

3.1. INTRODUCCIÓN Y ASPECTOS LEGALES EN TORNO A LA SEGURIDAD EN DEPÓSITOS

La seguridad en los depósitos de almacenamiento de efluentes líquidos o lodos, así como en otros que sirvan para almacenamiento de agua para diferentes objetivos, debe ser tomada muy en consideración. En principio, cualquier depósito, debe ser clasificado en función del riesgo potencial que pueda derivarse de su posible rotura o de su funcionamiento incorrecto, en alguna de las categorías A, B o C, según se expone en el capítulo 2.

Existe en la actualidad una amplia cobertura legal destinada a prevenir y controlar los riesgos de posibles incidentes en los depósitos de efluentes líquidos o de lodos de las actividades descritas, con respecto a las personas, flora, fauna, bienes o al medio ambiente en general. Hay normas a nivel estatal dictadas por el Ministerio competente, y otras a nivel de las Comunidades Autónomas, como se refleja en el capítulo 1 de “Marco Legislativo”.

En concreto, se debe prestar especial importancia al texto: “Guía Técnica para la Clasificación de Presas en función del Riesgo Potencial”, de la Dirección General de Obras Hidráulicas del Ministerio de Medio Ambiente (1996).

Esta guía presenta una metodología para clasificar presas, en función del riesgo potencial que se pudiera derivar sobre vidas humanas, daños materiales y ambientales, etc. Los depósitos que aquí se tratan, deben ser proyectados de manera que se busquen las condiciones adecuadas de emplazamiento y dimensiones, para que se puedan clasificar como tipo C, lo cual indicaría que no van a representar un riesgo grave sobre vidas humanas o el medio ambiente.

A parte de la normas citadas, se conoce la voluntad del Ministerio de Medio Ambiente de aprobar una Ley que unifique los diferentes criterios de clasificación de depósitos, y en concreto, existe un borrador del futuro texto refundido de la ley de Aguas, en el cual se aclaran los puntos controvertidos que hasta hoy se plantean a la hora de clasificar este tipo de obra civil. Este texto no ha sido ratificado aún, y pretende ser una Norma unificadora que resuelva de una vez, todas las incoherencias legales que hay actualmente a cerca de la clasificación de presas y su seguridad. Es un texto todavía en estudio, que pretende modificar el Texto Refundido de la Ley de Aguas, y que dicta unas nuevas “Normas Técnicas de Seguridad” para la clasificación de presas y la evaluación de su riesgo potencial.

Los proyectos que se realicen en la Comunidad Andaluza, se deben someter al Decreto 281/02, por el que se regula la autorización y control de los **depósitos** de efluentes líquidos o de lodos procedentes de la Comunidad Autónoma Andaluza.

Posterior a este Decreto, hay una Orden de 15 de noviembre de 2005, donde se desarrolla el Decreto anteriormente citado. Es en esta Norma donde se especifican todos los puntos a tener en cuenta en la realización del proyecto de una presa o balsa para almacenamiento de residuos procedentes de actividades industriales, mineras o agrícolas.

3.2. CLASIFICACIÓN DE DEPÓSITOS DE EFLUENTES LÍQUIDOS Y LODOS EN FUNCIÓN DEL RIESGO POTENCIAL

Los depósitos de efluentes líquidos o de lodos procedentes de actividades agroindustriales, deben estar autorizados para su construcción, explotación y abandono por la autoridad competente. El autor del proyecto deberá describir en la memoria de dicho proyecto de obras, el tipo de depósito que se va a ejecutar.

La descripción de los depósitos se debe realizar atendiendo a distintos criterios, como el tipo de dique, el método de recrecimiento, el emplazamiento del terreno y la impermeabilización del vaso. Posteriormente el depósito en cuestión debe ser clasificado, en función de sus dimensiones, de la situación, de la tipología, y en función del riesgo potencial que pudiera derivarse de su posible rotura o funcionamiento incorrecto.

En la Comunidad Autónoma Andaluza, el texto a tener en cuenta para el análisis de la seguridad de depósitos es la Orden de 15 de noviembre del 2005, de “Autorización

y control de los depósitos de efluentes líquidos o de lodos procedentes de actividades industriales, mineras y agrarias” la cual es coherente con el Reglamento Técnico sobre seguridad en Presas del Ministerio de Medio Ambiente.

Como ya se ha indicado, la citada Orden, obliga a la clasificación de cualquier depósito de lodos o efluentes, basándose en los criterios siguientes:

- Tipo de riesgo potencial: Tipos A, B o C.
- Clase entre 1 y 4 según sea presa grande, mediana o pequeña, o balsa, según se explica en el apartado 2.1.

En el caso de que en las instalaciones exista más de un depósito, estos se clasificarán conjuntamente. A estos efectos se considerará como capacidad de almacenamiento la resultante de sumar las capacidades individuales de cada depósito en los que no se justifique su independencia.

Como regla general, se considerarán como depósitos independientes, aquellos cuya distancia mínima de separación entre lo mismos, medidos en la coronación de muros, sea superior a 4 metros, excepto que se justifique técnicamente su individualidad.

Debido a la gran importancia que presenta el realizar la clasificación de una presa en función de su riesgo potencial, el Ministerio de Medio Ambiente redactó en 1996 la Guía Técnica para clasificación de Presas en función del riesgo potencial, la cual sirve para facilitar la aplicación tanto de la Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el riesgo de inundaciones como del Reglamento Técnico sobre Seguridad de presas y embalses, y a la que está previsto que sigan otras Guías Técnicas en las que se desarrollen de forma semejante los criterios y metodología para el establecimiento de los Planes de Emergencia de Presas y los restantes aspectos contemplados en el Reglamento Técnico sobre Seguridad de Presas y Embalses.

En dicha Guía Técnica, se presentan varios apartados donde se especifican criterios, definiciones, afecciones potenciales, roturas de diques, etc. Antes de entrar en la metodología que plantea esta Guía, para la valoración del riesgo de un determinado depósito, conviene tener claro un **esquema general de evaluación de su riesgo potencial**.

ESQUEMA GENERAL DE EVALUACIÓN DEL RIESGO POTENCIAL DE UNA PRESA

1. **Cálculo de caudal de vertido:** previamente se debe conocer la forma de la brecha.
2. **Búsqueda del punto de absorción del vertido:** Aguas abajo el caudal de vaciado debe ser absorbido tarde o temprano por el cauce de un arroyo, río, lago, etc. Si no hubiera punto de absorción del vertido, la llanura de inundación podría ser mas extensa, provocando en este caso una mayor afección.
3. **Delimitación de la llanura de inundación:** Se realiza en función del caudal de salida, y la topografía del terreno así como la rugosidad que presenta. Se debe simular la inundación desde el punto de vertido, hasta el punto de absorción del vertido.
4. **Identificación de afecciones:** Se debe realizar un inventario de las afecciones que se encuentran en el interior de la llanura de inundación. En función del calado que haya y la velocidad del líquido, se establecerá la gravedad del riesgo del depósito.

Cuando se produce la rotura del dique de una presa, se origina un vertido del líquido almacenado en su interior. Se debe por tanto calcular el caudal que va a proporcionar la brecha que se produce en el dique, caudal que variará con el tiempo lógicamente.

Por otro lado, se deberá analizar la llanura de inundación que se va a crear a consecuencia de la rotura del dique. Para delimitar ésta, y calcular el calado y velocidad del agua en cada sección, existen varios programas y métodos que se pueden usar, los cuales se comentan más adelante.

La llanura de inundación se iniciará desde el propio dique, y terminará en un determinado accidente hidráulico (río, lago, afluente, arroyo, etc.), que sea capaz de absorber el caudal de vaciado aguas abajo del depósito. Por tanto se plantea como criterio el tener muy en cuenta la ubicación del depósito en relación a los accidentes hidráulicos cercanos que pudiera haber, capaces de absorber una posible fuga de agua del depósito causado por la rotura del dique.

A dicho accidente hidráulico se le denomina “Punto de absorción del vertido”. En caso de no existir dicho punto, el vertido se extendería provocando una mayor llanura de inundación.

Una vez delimitada la llanura de inundación, hasta el cauce de vertido, se identifican las afecciones que se producen en dicha llanura, estimando los daños producidos sobre vidas humanas, servicios esenciales, daños materiales, daños ambientales, y otras afecciones.

3.2.1. CRITERIOS DE CLASIFICACIÓN DE PRESAS

3.2.1.1. Definiciones legales de los diferentes depósitos: Presas y Balsas

La Orden de 15 de noviembre del 2005 define las diferencias de concepto entre las diferentes tipologías de depósitos:

- Una **presa** es un depósito que por estar situado en todo o en parte por encima de la cota del terreno circundante, requieren una estructura de dique para la contención de los materiales depositados.
- Una **balsa** es aquel depósito que por estar situado en su totalidad por debajo de la cota del terreno circundante, no requiere una estructura de dique para la contención de los materiales depositados.

3.2.1.2. Depósitos que se deben clasificar según su riesgo potencial

Se deben clasificar todos los depósitos para almacenamiento de efluentes líquidos o lodos. Los titulares de todos los depósitos que se proyecten en el ámbito de la Junta de Andalucía, deberán formular su solicitud, dirigida a la Delegación Provincial de Agricultura y Pesca, y la presentarán preferentemente en la Oficina Comarcal Agraria o Delegación Provincial de la Consejería de Agricultura y Pesca, para que se autorice la ejecución del proyecto. Este organismo se encargará de la autorización dentro de sus competencias, y es a los efectos, el órgano sustantivo que gestionará todo el proceso de aprobación del proyecto.

En los casos en que, según los criterios que establece el Reglamento de Seguridad en Presas, estemos ante un depósito asimilable a “Gran Presa”, la Delegación Provincial de Agricultura y Pesca, elevará la autorización del proyecto al Ministerio de Medio Ambiente para su aprobación por parte de la Dirección General de Obras Hidráulicas.

De todas formas, los depósitos que nos ocupan, serán en su mayoría evaporativos, por lo cual la altura del dique máxima no superará en la mayoría de los casos los 5 metros de altura, con lo cual estarán normalmente incluidos dentro del concepto de presa pequeña o balsa. De acuerdo con esta apreciación, normalmente tendremos

depósitos de gran superficie y poca altura de dique, que con una adecuada ubicación, producirían en caso de rotura daños moderados en la mayoría de los casos. Aún así, se debe ser muy estricto en la aplicación de la metodología de estimación del riesgo potencial.

3.2.1.3. Categorías de clasificación

Como ya se ha dicho, los depósitos se clasificarán en función del riesgo potencial que pudiera derivarse de su posible rotura o funcionamiento incorrecto, en las categorías A, B o C.

La guía Técnica del Ministerio de Medio Ambiente, establece una serie de criterios de aplicación de estas categorías:

- La clasificación se debe realizar de manera progresiva, evaluando la posibilidad de clasificar un depósito como C, si no responde a esta categoría, como B, y posteriormente como A. A esto se le denomina análisis progresivo.
- Se debe evaluar la afección potencial a vidas humanas como aspecto esencial, analizando las viviendas y núcleos urbanos aguas abajo que se verán afectados en caso de rotura.
- La clasificación deberá realizarse en función de los efectos aguas abajo que se puedan producir. Se debe utilizar siempre el condicional “puede” en la especificación de estos efectos.

3.2.1.4. Aspectos a analizar en la estimación del riesgo

Los aspectos que se deben considerar a la hora de analizar las afecciones que se producirían en una eventual rotura de la balsa o presa son:

• **Riesgo potencial de vidas humanas. Población de riesgo:**

Dentro de este primer apartado, se deben valorar varios criterios:

- **“Núcleo Urbano”**: De acuerdo con la definición del Instituto Nacional de Estadística, se entiende como el conjunto de al menos **diez** edificaciones, que estén formando calles, plazas y otras vías urbanas. Por excepción, el número de edificaciones podrá ser **inferior a 10**, siempre que la población de derecho que habita las mismas **supere los 50 habitantes**. Se incluyen en el núcleo aquellas edificaciones que, estando aisladas, distan menos de 200 metros de los límites exteriores del mencionado conjunto.

- **Afecciones graves a núcleos urbanos.** Aquellas que afecten a más de cinco viviendas habitadas y representen riesgo para la vida de los habitantes, en función del calado y la velocidad de la onda.
- **Número reducido de viviendas:** Comprendido **entre uno y cinco viviendas habitadas**, y la **pérdida incidental de vidas humanas**, siendo el calificativo de incidental no aplicable a la concreción de un riesgo cierto de pérdida de vida. No tiene relación con la probabilidad de muerte de una persona situada habitualmente en el área ocupada por la onda de inundación, sino, por el contrario, con la presencia ocasional y no previsible, en el tiempo, de la misma persona en la llanura de inundación.

- **Afección a servicios esenciales**

Se entiende como servicios esenciales aquellos que son indispensables para el desarrollo de las actividades humanas y económicas normales del conjunto de la población. Se considerará servicio esencial aquel del que dependan, al menos, del orden de 10.000 habitantes.

En cuanto a la tipología de los servicios esenciales, estos incluyen, al menos, las siguientes:

- Abastecimiento y saneamiento.
- Suministro de energía.
- Sistema sanitario.
- Sistema de comunicaciones.
- Sistema de transporte.

Se considerará como afección grave aquella que no pueda ser reparada de forma inmediata, impidiendo permanentemente y sin alternativa el servicio, como consecuencia de los potenciales daños derivados del calado y la velocidad de la onda.

- **Daños materiales**

Son aquellos, soportados por terceros, cuantificables directamente en términos económicos, sean directos (destrucción de elementos) o indirectos (reducción de la producción, por ejemplo). Los daños materiales se evaluarán en función de las siguientes categorías:

- Daños a industrias y polígonos industriales.
- Daños a las propiedades rústicas.

- Daños a cultivos.
- Daños a las infraestructuras.

La evaluación de los daños materiales potenciales a efectos de clasificación estará, en la mayor parte de las ocasiones, asociada a los restantes aspectos. Solamente en casos muy concretos y dudosos puede tener cierta relevancia para la clasificación. La tabla 3.2.1 (Guía Técnica de Clasificación de Presas en función del Riesgo Potencial, 1996), muestra criterios orientativos de clasificación de los daños materiales. Estos criterios han de ser considerados conjuntamente con los valores de calados y velocidades asociados a la onda de rotura.

Tabla 3.2.1. Criterios de clasificación de daños materiales (GTCPRP-96)

ELEMENTO	DAÑOS POTENCIALES		
	MODERADOS	IMPORTANTES	MUY IMPORTANTES
Industrias y polígonos industriales y propiedades rústicas	Nº de instalaciones < 10	10<Nº instalac.<50	Nº instalac.>50
Cultivos de secano	Superficie<3000 has	3000has<sup.<10000has	Sup.>10000 has
Cultivos de regadío	Superficie<1000 has	1000has<sup.<5000has	Sup.>5000
Carretera		Red general de CC.AA. y redes similares	Red General del Estado y Red básica de CC.AA.
Ferrocarriles		ff.cc. vía estrecha	ff.cc. vía ancha y alta velocidad

• Daños ambientales

Se incluyen en este apartado las dos afecciones negativas siguientes, debiendo ser diferenciadas claramente en la evaluación correspondiente:

- Afecciones ambientales: Se considerarán como elementos susceptibles de sufrir daño ambiental, únicamente aquellos elementos o territorios que gocen de alguna figura legal de protección a nivel estatal o autonómico (bien de interés cultural, parque nacional, parque natural, etc.).
- Afecciones sobre las referencias histórico-artísticas y culturales: La importancia de los daños a los bienes de interés cultural se establecerán en

función de las características hidráulicas de la inundación (calado y velocidad) en relación con la posibilidad de destrucción o daño irreversible y siempre referido a bienes de interés cultural, definidos de acuerdo con lo establecido en la Ley del Patrimonio Histórico Español.

Con respecto a los daños exclusivamente ambientales, se considerarán como muy importantes aquellos que tengan la consideración de irreversibles y críticos, mientras que se considerarán importantes aquellos severos que tengan asimismo el carácter de irreversibles, según la terminología utilizada en el R.D. 1131/88 de 30 de septiembre por el que se aprueba el Reglamento para la ejecución del R.D. Legislativo 1302/1986 de 28 de junio de Evaluación de Impacto Ambiental.

• Otras afecciones

Aún cuando no están citadas expresamente en la definición de categorías, deben incluirse en los criterios de clasificación, algunos elementos singulares cuya afección puede potenciar y agravar los efectos de la rotura de la propia presa, originando un efecto en cadena. El caso más típico, es el que se origina por la existencia aguas abajo de la presa analizada, de otras que pueden romper como consecuencia de la rotura de la primera. Este caso se trata específicamente en el punto 3.2.1.6. En cualquier caso, se considerará que la presa situada aguas abajo rompe como consecuencia de la rotura de la situada aguas arriba, si la onda que ésta produce provoca en la primera el vertido sobre coronación.

Adicionalmente al caso anterior, existen combinaciones no tipificables pero caracterizadas por su alto riesgo, como pueden ser la afección a centrales nucleares o plantas de producción de compuestos venenosos o especialmente dañinos para la salud de las personas o el medio ambiente. Estos elementos deben ser considerados como afectados al menos en las mismas condiciones que se establecen para las viviendas y, caso de serlo, conducir a la clasificación de la presa en la categoría A.

3.2.1.5. Criterios básicos para el análisis de las roturas potenciales

Llegados a este punto, se debe comenzar a estudiar el problema concreto de los depósitos que nos ocupan, es decir, de los efectos que se pueden producir por una rotura potencial de depósitos de efluentes líquidos o lodos procedentes de actividades de actividades industriales, mineras y agrarias.

Los depósitos en función de su situación se clasifican en dos grandes grupos, presas y balsas, como ya se ha comentado.

- Las presas se clasifican en función de
 - Tipo de dique exterior.
 - Emplazamiento en el terreno.
 - Método de recrecimiento utilizado.
- Las balsas son
 - Balsas de origen natural.
 - Balsas artificiales.

RESUMEN DE AFECCIONES A TENER EN CUENTA EN EL ESTUDIO DE LA SEGURIDAD DE PRESAS

Se deben tener en cuenta las siguientes afecciones:

- **Riesgo potencial de vidas humanas:** Las más importantes a tener en cuenta.
- **Afecciones a servicios esenciales:** Abastecimientos de aguas, energía eléctrica, sistemas de transporte, etc
- **Daños materiales:** Serían daños a industrias, a cultivos, infraestructuras, etc.
- **Afecciones medioambientales**
- **Otras afecciones**

Un depósito será clasificado como presa o balsa, en función de la cota que posea su dique en relación con la cota del terreno circundante. De esta manera:

- En las presas, por tener parte o la totalidad de su dique por encima de la cota del terreno circundante, la eventual rotura de su dique provocaría la liberación del líquido almacenado, desplazándose éste aguas abajo y pudiendo afectar amplias extensiones de terreno. Este riesgo de rotura es el principal riesgo a considerar para esta tipología de depósitos, aunque no es el único asociado a estas estructuras. Otros riesgos significativos para las presas son los desbordamientos por superación de la capacidad de embalse, filtraciones a través del dique, etc.

- Las balsas tienen sus diques por debajo de la cota del terreno circundante, por lo que la liberación de la sustancia almacenada por la rotura de un dique es poco probable, los principales riesgos asociados a estas estructuras son el posible desbordamiento por superación de la capacidad de embalse, filtraciones a través del dique, etc.

No obstante, de forma análoga a las presas, es aconsejable no localizar una balsa cerca de un cauce ya sea este natural o artificial aguas arriba, debido a que la materialización de una avenida en el cauce como consecuencia de producirse precipitaciones intensas en el entorno, podría provocar la erosión del terreno circundante a la balsa. Esta erosión puede desencadenar el debilitamiento de uno de los diques de la balsa y su posterior rotura, liberándose de manera incontrolada la sustancia almacenada. Asimismo, evitando esta localización cercana a un cauce se limita la posible afección al entorno como consecuencia de producirse un desbordamiento en la balsa por la superación de la capacidad de embalse de ésta.

Siempre que se puedan modificar las condiciones de proyecto orientando los criterios de diseño hacia una clasificación del riesgo lo más favorable posible, se deberá proceder de esta forma. Es decir, es aconsejable proyectar desde el punto de vista de la reducción de riesgo potencial, ya que si finalmente el depósito se puede clasificar como tipo C, se reducen significativamente los costes de explotación y el proceso de aprobación del proyecto. Esto es coherente con la idea de que se proyecte un depósito del lado del mínimo riesgo en caso de rotura.

3.2.1.6. Escenarios de rotura

Un depósito puede romper por diferentes causas, por fallo del dique resistente, de la impermeabilización, o una llegada de gran cantidad de agua que haga que el nivel suba, llegando a superar la altura máxima de dique y se produzca su desbordamiento. Es este último supuesto el que suele causar graves daños en el dique, en presas de materiales sueltos, y termina por romperlo dejando salir todo el líquido almacenado en la presa.

Las causas que pueden llevar a que se produzca este desbordamiento pueden ser varias, el fallo humano, una avenida extraordinaria, etc. La Guía Técnica de Seguridad en presas [GTCPRP-96], propone varios escenarios de rotura, definidos por la situación del depósito y por las condiciones hidrológicas (caudales entrantes en el embalse) en el momento en que se produce la eventual rotura.

Según esta Guía, se deben considerar dos escenarios extremos de rotura:

- El primero corresponde al caso de rotura no coincidente con avenidas.
- El segundo se superpone la rotura a una situación de avenida.

Debido a que los depósitos en cuestión no reciben normalmente agua de un cauce, la avenida se considerará como un incremento de la altura de la lámina de agua coincidente con la máxima precipitación en 1 hora con un período de retorno de 500 años, debido a que se incrementará el nivel del depósito por la cantidad de lluvia directa que incida en su superficie.

Como criterio, se aconseja actuar sobre la ubicación del depósito, alejar el depósito de un cauce natural aguas arriba, evitando que pudiera recibir la avenida de ese cauce, ya que si recibe las aguas de escorrentía de alguna cuenca, la situación en caso de avenida será muy desfavorable. Al contrario, conviene tener cerca un cauce natural aguas abajo, el cual pudiera absorber el vertido producido por la rotura del dique.

Otro escenario posible es el de rotura encadenada de dos o más depósitos, lo que se denomina “efecto dominó”. Este escenario es algo difícil de dar, ya que aún en el caso de la existencia de dos depósitos cercanos, se debe evitar que la rotura de uno de ellos sirva para inundar otro que estaría situado en el cauce natural de vaciado del primero. En todo caso, la situación que se crea es compleja y existiría una interdependencia mutua en las relaciones entre las presas de aguas arriba y aguas abajo y los posibles daños potenciales, por lo que es necesario contemplar de manera conjunta y coordinada la propagación y efectos de la onda de avenida o de las diversas ondas de avenida de las diferentes roturas, en el caso de que estuvieran colocadas como se ha dicho.

En este caso, además de contemplarse los dos escenarios usuales y de manera independiente de la presencia de las otras presas, la clasificación debe de realizarse con una visión conjunta y contemplando este nuevo escenario de rotura encadenada. Las diferentes situaciones posibles son muy numerosas y deben de analizarse caso a caso en función de las diversas situaciones descritas analizando las afecciones potenciales en cada tramo, y adoptando siempre criterios de tipo conservador.

En general, si la rotura de una presa situada aguas arriba puede provocar la rotura de otras aguas abajo, la categoría de la presa de aguas arriba será como mínimo la misma que la mayor de las categorías de las presas de aguas abajo.

Este escenario de rotura encadenada supone una evaluación conjunta de las presas de un tramo por lo que, en la práctica, implica una coordinación e información entre los diversos propietarios o explotadores de los distintos depósitos.

3.2.1.7. Forma y dimensiones de la brecha. Tiempo de rotura

El modo de rotura y la forma y evolución de la brecha dependen del tipo de depósito, siendo la hipótesis más común que en las presas de hormigón o mampostería la rotura es prácticamente instantánea, en cambio en las presas de materiales sueltos la rotura es progresiva en el tiempo y con evolución desde formas geométricas iniciales hasta la práctica totalidad de la presa.

En la actualidad existen diversos modelos que simulan el fenómeno de formación y progresión de la brecha, siendo el más empleado el modelo de la progresión lineal, en el que se contemplan diversos parámetros geométricos y temporales, recomendándose que en principio se adopten los siguientes modos de rotura y parámetros en las tipologías de depósitos más usadas para almacenamiento de efluentes [GTCPRP-96].

Presas de materiales sueltos: Este es el caso más frecuente. El tiempo de rotura viene dado por:

$$T(\text{horas}) = \frac{4,8 \cdot V^{0,5} (Hm^3)}{h(m)}$$

Donde: V = volumen de embalse, hasta la cota del terreno natural.

h = altura del dique del depósito. Se tomará la altura máxima de terraplén ejecutado, es decir desde coronación hasta el terreno natural si este es resistente.

En caso que la aplicación de la expresión anterior conduzca a un resultado superior a 5 horas, el tiempo de rotura deberá ser evaluado con especial detenimiento.

- **Forma de rotura:** Trapecial.
- **Profundidad de la brecha:** Generalmente se tomará para este valor la distancia entre la coronación y el cimientado del terraplén.
- **El ancho medio de la brecha,** se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$b(m) = 20 \cdot (V(Hm^3) - h(m))^{0,25}$$

- **Taludes:** 1:1 (H:V).

En general, la forma geométrica de la brecha es el parámetro menos importante, siendo el ancho final de la brecha y el tiempo de rotura los que pueden dar lugar a variaciones más significativas.

3.2.1.8. Datos básicos para el estudio de la propagación de la onda de avenida

La propagación de la avenida aguas abajo es una simulación que se debe realizar, con lo que se consigue comprobar que zonas se inundarán, con que calado y con que velocidad. Los datos básicos de partida que se necesitan son:

- **Geometría del valle aguas abajo:** Cuando se produce la rotura de un depósito, la geometría del valle aguas abajo se obtendrá de la topografía existente, realizándose únicamente reconocimientos topográficos en los casos en que sea estrictamente necesario, obteniéndose secciones transversales en los sitios más relevantes para el estudio de la propagación de la onda y para la evaluación de los daños potenciales. Las características geométricas del cauce se establecerán a partir de su topografía, viniendo ésta caracterizada por su escala y equidistancia entre curvas de nivel.
- **Obstrucciones en el cauce y fenómenos locales:** A partir del análisis de la geometría del valle y de la inspección visual del terreno se localizarán las obras singulares que por su importancia pudieran producir obstrucciones significativas en el cauce o dar lugar a fenómenos hidráulicos de naturaleza local que pudieran incidir de manera muy importante en la propagación de la onda. Tal es el caso de terraplenes de infraestructuras viarias, de puentes, o de pequeñas obras de paso. En cada caso se analizarán estas circunstancias y en general se considerará que estas estructuras rompen cuando el nivel de las aguas alcance la cota superior del tablero o la cota de coronación del terraplén, esto es, cuando se empiece a producir vertido sobre ellos.
- **Rugosidad:** El coeficiente de rugosidad se obtendrá generalmente de forma empírica con base en los datos bibliográficos y con inspección visual de los tramos, como por ejemplo el método propuesto por el "United States Soil Conservation Service" S.C.S. o los valores proporcionados por Chow y col (1994). Los valores de rugosidad varían desde 0,015 para superficies sin vegetación, hasta valores de 0,15 con vegetación elevada como gramíneas de cierta altura. Se recomienda adoptar posiciones conservadoras aumentando los valores empleados tradicionalmente en la propagación de avenidas naturales.

3.2.1.9. Estimación de riesgos aguas abajo

La cartografía de las zonas de inundación potencial debe reflejar el estado actual de ocupación, principalmente en lo referente a viviendas, estructuras habitadas y servicios esenciales. En los casos en que estén aprobados planes de urbanismo u otras figuras de planeamiento debe tenerse en cuenta su existencia a efectos de prever el estado futuro de ocupación.

La guía técnica para la evaluación del riesgo potencial incorpora una serie de tablas, que relacionan las afecciones y daños potenciales, los cuales están en función de los efectos del calado y la velocidad de la avenida. En dichas figuras se indican los límites de afección a vidas, en núcleos urbanos y viviendas o en campo abierto, según los valores de los calados y velocidades.

En la figura 3.2.1, la guía establece la gravedad en función de la velocidad y el calado de una avenida, cuando ésta ha llegado a una población. Se aprecia que por ejemplo para una avenida de 2 m/sg de velocidad y 1 metro de calado, tendríamos una afección entre grave y leve, lo que la Guía Técnica llama “área indefinida”.

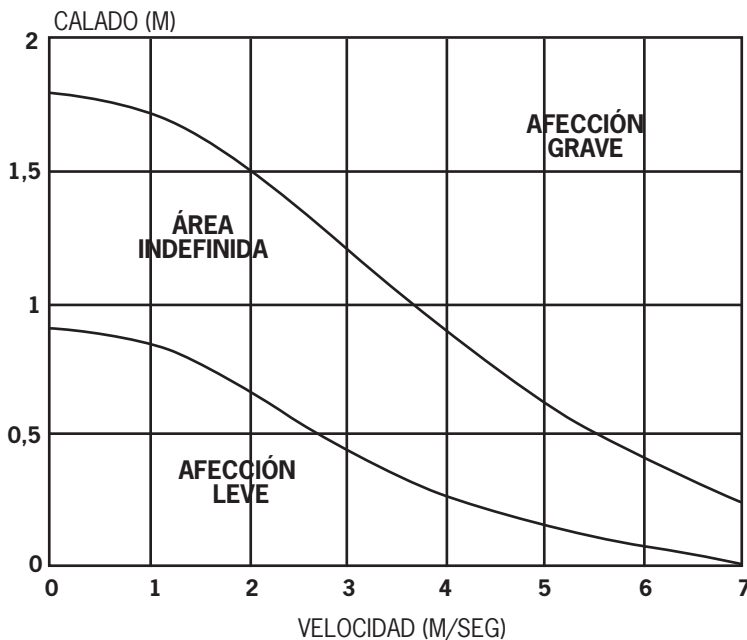


Figura 3.2.1. Riesgo para vidas humanas en función del calado y la velocidad en áreas de viviendas y núcleos de población

Esos valores se obtienen al realizar la simulación de la avenida, lo que se verá en el ejemplo de aplicación que se incluye en el Anexo II.

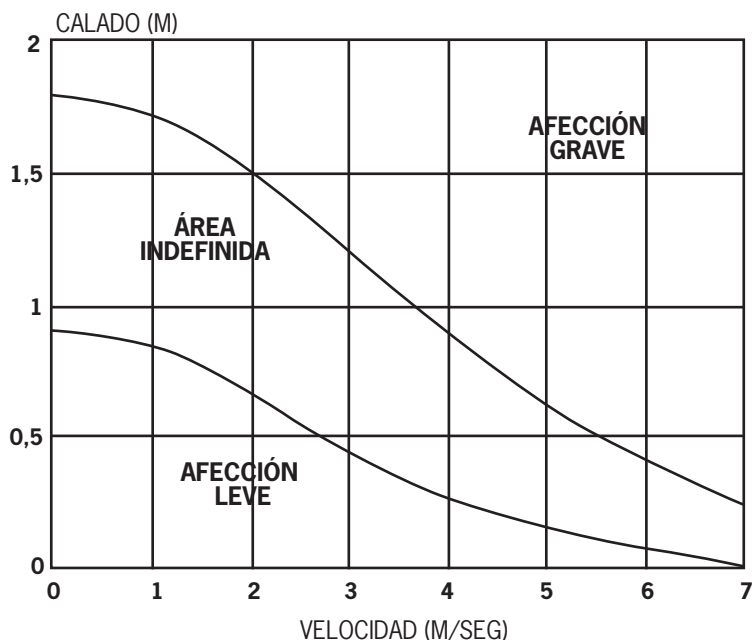


Figura 3.2.2. Riesgo para vidas en función del calado y la velocidad en campo abierto

En la figura 3.2.2, aparecen unas curvas que vuelven a delimitar afecciones graves y leves, y se aprecia que en campo abierto son bastante más graves para iguales niveles de velocidad y calado. De todas formas, estas avenidas afectan a menor cantidad de personas normalmente, y es más difícil obtener altos niveles de velocidad y calado.

3.2.1.10. Clasificación final de un depósito

Aplicando los criterios aquí expuestos, el titular del depósito deberá realizar el análisis que permita clasificarlo. Caso de que existiera aguas arriba alguna otra construcción hidráulica que influyera en esta nueva, deberá comunicar a la autoridad competente la documentación necesaria para que se varíe la clasificación de ésta si hubiera lugar.

En los casos de depósitos que vayan a resultar clasificados en categoría C por no existir aguas abajo de ellas viviendas u otros bienes que pudieran suponer otra categoría

mayor, deberán realizarse estudios de rotura, aún cuando las estimaciones de parámetros y la metodología a emplear puedan ser simplificadas. Con ello se comprobará la certeza de la afección en las de categoría A o la nula afección en las de categoría C. En cualquier caso siempre se documentará y justificará la propuesta que se realice.

Llegado este punto, se debe realizar una consideración importante. Los depósitos aquí tratados, son en muchas ocasiones evaporativos, eso implica que deben tener poca altura, a costa de tener una importante extensión. En la mayoría de los casos, la altura de dique es inferior a 2 metros. Son por tanto poco comparables con las grandes presas que generalmente superan los 15 metros con relativa facilidad.

Por tanto, la capacidad de estos depósitos no va a ser muy elevada, y cuidando especialmente que la ubicación sea correcta desde el punto de vista del riesgo potencial, evitando localizaciones que podrían producir daños importantes, o evitando que se sitúe en el cauce de un río, o en la zona de descarga producida por otro depósito superior, etc., normalmente se clasificarán como C, evitando grandes complicaciones futuras, ya que se simplifica enormemente el plan de emergencias, y a su vez se reduce el coste destinado a las medidas de control.

Por tanto, se deberá propiciar siempre que sea posible, la clasificación de este tipo de depósitos como tipo C, de cara a la reducción de riesgos generados por este tipo de obras, y el abaratamiento que se produciría en su gestión y explotación.

3.2.2. METODOLOGÍA A SEGUIR PARA LA CLASIFICACIÓN DE DEPÓSITOS DE EFLUENTES LÍQUIDOS O LODOS

Se expone a continuación la metodología general de análisis recomendada para el desarrollo de la propuesta de clasificación de las presas en función del riesgo potencial. Para el análisis de la rotura de presas existen gran variedad de métodos, algunos de ellos todavía en proceso de investigación y desarrollo. Se recomienda el empleo de métodos hidráulicos de tipo completo, es decir, de métodos que se basan en las ecuaciones dinámicas del movimiento.

Se incluye en este apartado la descripción de la metodología explicada en la Guía Técnica del Ministerio de Medio Ambiente, la cual aunque no puede tener la consideración de obligatoria, se debe tomar como una guía de recomendaciones.

El límite aguas abajo del tramo de cauce a analizar debe ser justificado en la propia propuesta de clasificación, estableciendo las razones que conducen a considerar

que los elementos susceptibles de ser dañados aguas abajo no inducen una elevación de la categoría.

El orden que se debe seguir en el análisis del tipo de daño es el siguiente:

- Afecciones a núcleos urbanos, viviendas y vidas humanas.
- Afecciones a servicios esenciales.
- Daños materiales.
- Daños ambientales.

Con respecto a los escenarios de rotura que se pueden dar, ya se ha comentado que la situación de estudio es la del depósito con el calado correspondiente al mayor nivel de explotación, y un incremento de altura de la lámina de agua coincidente con la lluvia más intensa en 1 hora con un período de retorno de 500 años. Esta situación es la que la Guía Técnica del Ministerio de Medio Ambiente denomina “con avenida”.

3.2.2.1. Métodos para el estudio de la inundación consecuencia de la rotura de una presa

Existen diversos métodos para el estudio de la formación y propagación de las ondas de rotura de presas, de las que en este documento se presentan cuatro tipos que, ordenados de mayor a menor complejidad, son los siguientes:

- método completo (modelos hidráulicos completos)
- método simplificado de modelización
- método mixto hidrológico-hidráulico
- método simplificado de las curvas envolventes

El método completo es el más preciso y el único que considera las características reales del movimiento en régimen variable de la propagación de la onda de rotura, así como los posibles efectos de las secciones hidráulicas aguas abajo en la propagación aguas arriba del movimiento. Por ello, en general, es el método recomendable para el análisis de la clasificación de las presas.

Sin embargo, en el caso de clasificaciones obvias, se recomienda el empleo de métodos y modelos simplificados. Sólo se admitirán propuestas de clasificación sin el empleo de ningún tipo de método de cálculo de la onda de rotura en casos de presas que resulten clasificadas en la categoría A, por tener aguas abajo núcleos

urbanos que claramente resulten afectados gravemente por una posible rotura de la presa, sin que exista ningún tipo de duda sobre dicha afección. Incluso en este caso, la propuesta de clasificación debe estar documentada y justificada.

• METODO COMPLETO (MODELOS HIDRAULICOS COMPLETOS)

Este modelo como su propio nombre indica, es el estudio más completo que se realiza para evaluar el riesgo potencial de un depósito. A pesar de que la envergadura de las obras de este tipo de depósitos no suelen ser muy grandes, se recomienda utilizar este método, el cual se explica detalladamente en el ejemplo desarrollado en el Anexo 2, donde se realiza una simulación de rotura de presa con el programa del Nacional Weather Service (NWS) *FLDWAV*.

No obstante, en ocasiones es aconsejable el uso de algún modelo más sencillo y fácil de aplicar. En nuestro caso se puede utilizar el Método Mixto Hidrológico-hidráulico.

• METODO MIXTO HIDROLÓGICO-HIDRÁULICO [GTCPRP-1996]

Es este un método simplificado que se basa en la aplicación sucesiva de tres fases:

1. Determinación del caudal punta de la onda de rotura.
2. Estudio de la propagación de la onda.
3. Determinación de los niveles de agua correspondientes.

La base de este método, es el cálculo del **caudal punta de la onda de rotura**, que se determinará en función del volumen de embalse y de la altura de la presa sobre cimientos, para lo cual puede utilizarse la expresión de Hagen, que en unidades métricas es:

$$Q = K \cdot (V \cdot H)^{0,5}$$

siendo:

Q = Caudal punta de rotura (m³/sg)

K = constante (780 para presas bóveda y 550 para los restantes casos)

V = volumen de embalse (Hm³)

H = altura de presa sobre el terreno (m)

El volumen desembalsado considerado en este método en caso de rotura, coincide con la capacidad del depósito, desde la cota de terreno natural si éste es resistente, hasta coronación, es decir la altura del terraplén.

Dada la relativa fiabilidad de la expresión anterior aplicada a casos concretos, deberá analizarse la sensibilidad de la clasificación resultante a la variabilidad de este parámetro, llegando a contemplar valores **hasta un 50 % superior** en el volumen del embalse.

Se admitirá una forma triangular para el hidrograma. Suponiendo que la base del triángulo será tal, que el volumen del hidrograma coincida con el volumen desaguado y la punta se situará centrada en el tiempo:

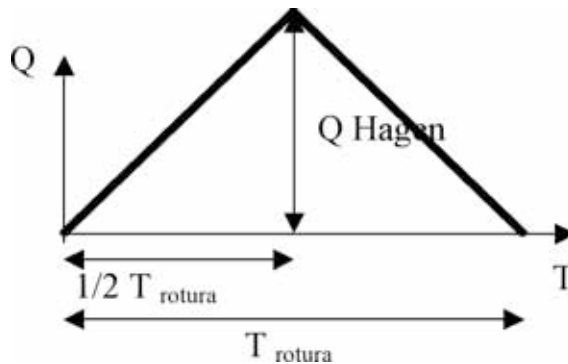


Figura 3.2.3. Hidrograma unitario del método mixto hidrológico-hidráulico

Una vez conocido el caudal punta se tendrá que estudiar la propagación de la onda a través del cauce aguas abajo del depósito, para ello se realizarán distintos perfiles transversales del cauce hasta llegar a un posible punto de desagüe que sea capaz de absorber la avenida provocada por la rotura del depósito.

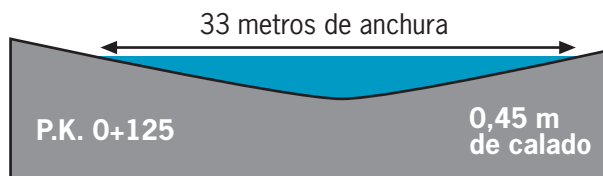


Figura 3.2.4. Perfil transversal en una sección, aguas abajo del depósito.

Una vez determinada la topografía del terreno se determinarán los niveles de agua y velocidades por métodos hidráulicos (se supone régimen permanente situación estable en el tiempo), considerando que el caudal punta es el obtenido con la expresión de Hagen.

El calado se puede calcular despejando de la fórmula de Manning

$$Q = \frac{\sqrt{I}}{n} \cdot A \cdot R^{2/3}$$

y la velocidad despejando de la expresión:

$$Q = V \cdot A$$

Siendo:

I = la pendiente media de la línea de agua en m/m

A = Sección ocupada por la corriente de agua

n = parámetro que depende de la rugosidad del terreno

R = Radio hidráulico, es la relación entre el área de terreno mojada, y perímetro mojado del terreno natural.

V = Velocidad media del caudal de agua.



Figura 3.2.5. Rotura de dique de depósito de efluentes provocando una inundación aguas abajo, y siendo absorbido el vertido finalmente por el arroyo o río que se encuentra unos kilómetros aguas abajo.

Como resumen, se puede decir que la rotura del dique del depósito provoca un caudal punta, con este caudal y con las secciones transversales del terreno calculadas aguas abajo del depósito, se determinarán los niveles de agua y velocidades correspondientes a cada sección transversal. Una vez calculados estos parámetros se podrá representar la zona inundable.

La propagación de la onda de rotura a lo largo del cauce también se podrá estudiar por métodos hidrológicos, como el método de Muskingum, el método Puls o el de onda cinemática (Hydrology Handbook, 1996), teniendo presente que únicamente se dará como válido el resultado obtenido, si variaciones importantes de los parámetros no inducen modificaciones en la categoría a asignar a la presa analizada.

En general, la aplicación de este método debe realizarse con precaución y adoptando valores conservadores. Si existiesen dudas en la clasificación se deberá utilizar el método completo.

3.2.3. DOCUMENTOS A INCLUIR EN LA PROPUESTA DE CLASIFICACIÓN

En la propuesta de clasificación se incluirá la siguiente información:

- **PROPUESTA DE CLASIFICACIÓN**

Se incluirá la clasificación propuesta, que deberá consistir en una y solo una de las categorías establecidas en la Directriz. Esta propuesta deberá ser suscrita por el titular o persona con poder suficiente.

- **CARACTERÍSTICAS DE LA PRESA Y DEL EMBALSE**

- a) Identificación del depósito del titular.
 - Denominación.
 - Titular.
 - Datos del titular (domicilio, etc.).
 - Datos de concesión (fechas de tramitación y finalidad).
- b) Situación del depósito.
 - Cauce y cuenca hidrográfica.
 - Provincia y Comunidad Autónoma.

- Situación por coordenadas UTM.
- Plano de situación a escala 1:50.000.

c) Características del depósito.

- Tipología de la balsa o presa, del aliviadero.
- Cotas de cauce, de vertedero y de coronación.
- Altura del depósito. En ambos casos, ya sea balsa o presa, será la distancia desde la base de la cimentación hasta la altura de coronación del dique.
- Longitud de coronación.
- Cotas de máximo embalse normal y extraordinario.
- Órganos de desagüe.
- Caudales de desagüe de proyecto del aliviadero y otros órganos de desagüe.

d) Características del embalse.

- Longitud del embalse.
- Volúmenes de embalse a cotas de vertedero y de coronación.
- Aspectos singulares de explotación.

e) Características hidrológicas.

- Precipitación máxima en 1 hora con período de retorno de 500 años.

• CARACTERÍSTICAS DEL CAUCE AGUAS ABAJO

Se incluirá una referencia a las zonas sensibles situadas aguas abajo, entendiendo como tales aquellas cuya afección por la rotura pudiera conducir a la clasificación de la presa en las categorías A o B.

- Situación a escala 1:50.000.
- Topografía utilizada para la clasificación.
- Tipología de la zona (núcleos urbanos, viviendas, zonas industriales y agrícolas, importancia medioambiental, etc.).
- Descripción cualitativa de la zona.

• METODOLOGÍA Y DATOS BÁSICOS DEL ANÁLISIS.

- a) Metodología general de análisis aplicada.
 - Método o métodos utilizados.
 - Descripción de la metodología aplicada.
 - Justificación documentada de la validez de la metodología en relación con los mínimos establecidos en estas recomendaciones.

- b) Características básicas del análisis.
 - Dimensiones de la brecha y justificación.
 - Tiempo de desarrollo de la brecha y justificación.
 - Longitud de cauce analizada y justificación.
 - Escalas de trabajo y equidistancias y justificación.
 - Características hidráulicas del cauce y justificación.

• RESULTADOS DEL ANÁLISIS.

- a) Resultados parciales de la aplicación del procedimiento de clasificación. Se incluirá la información que ha sido necesaria para la elaboración de la propuesta de clasificación concreta resultante.

La información a incluir, como procedimiento general, en la medida que sean necesarios, es la de cada uno de los siguientes escenarios, empleando la metodología descrita previamente:

- 1) Escenario de rotura con nivel de embalse al máximo nivel de explotación normal. Categoría asignada y justificación.
- 2) Escenario de rotura en situación de precipitaciones máximas en 1 hora con periodo de retorno de 500 años. Análisis de los supuestos de rotura y no rotura con estas precipitaciones. Categoría asignada y justificación.
- 3) En los casos indeseables pero posibles, de depósitos en serie en un mismo cauce, análisis del escenario de rotura encadenada. Categoría asignada y justificación.

Con los criterios y metodología expuesta en estas recomendaciones, se formulará la propuesta de clasificación y su justificación. Ésta incluirá, al menos, los siguientes aspectos:

- Relación de elementos y afecciones que motivan la clasificación: Características y nivel de afección desde los puntos de vista hidráulico (calado y velocidad) y cualitativo (efectos).
- Justificación de la no existencia de otras afecciones que pudieran elevar la categoría asignada.

b) Información adicional.

Se incluirá la información adicional generada en el proceso de elaboración de la propuesta de clasificación, fundamentalmente la relativa a áreas de inundación en los distintos escenarios y las características hidráulicas de la propagación de la onda de rotura, así como los tiempos de propagación.

3.3. PLAN DE EMERGENCIAS ANTE EL RIESGO DE DAÑO GRAVE O ROTURA DEL DEPÓSITO

La finalidad fundamental de los planes de emergencia es eliminar o reducir el riesgo de rotura del depósito, para ello, es necesario definir cuales son las situaciones y o fenómenos que pueden poner en riesgo su seguridad, así como establecer unos indicadores que permitan evaluar la gravedad de la situación de emergencia. En función de la gravedad de la situación o riesgo potencial de rotura del depósito, el plan de emergencias deberá proponer unas normas de actuación y prever la organización de los medios materiales y humanos de modo que se minimice el riesgo de rotura o en su caso se reduzcan al máximo los daños producidos por una eventual rotura del mismo.

Por ser los que presentan un mayor riesgo potencial, así como por ser el tipo mas utilizado, nos vamos a centrar en la elaboración de un plan de emergencias para un depósito de materiales sueltos.

3.3.1. ÁMBITO DE APLICACIÓN Y CONTENIDOS DEL PLAN DE EMERGENCIAS

La Orden de 15 de noviembre de 2005 de la Consejería de Agricultura indica el ámbito y los contenidos que debe tener un plan de emergencias en función de la clasificación del depósito:

*Si el depósito es clasificado dentro de la **categoría A** es necesario elaborar el plan de emergencia con el contenido mínimo siguiente:*

I. ANÁLISIS DE LA SEGURIDAD DEL DEPÓSITO

Se deberán estudiar los fenómenos que puedan afectar a su seguridad, debiendo establecer en términos cuantitativos o cualitativos valores o circunstancias umbrales a partir de los cuales dichos fenómenos podrían resultar peligrosos.

II. ZONIFICACIÓN TERRITORIAL Y ANÁLISIS DE LOS RIESGOS GENERADOS POR LA ROTURA DEL DEPÓSITO

Se deberá delimitar las zonas que pueden verse cubiertas por líquidos en caso de rotura considerando la hipótesis más desfavorable, debiendo plasmarse en un plano sobre cartografía oficial. Deberán estudiarse diversos parámetros hidráulicos como calados, velocidades y tiempos de llegada de la onda de rotura a las áreas afectadas.

III. NORMAS DE ACTUACIÓN PARA LA REDUCCIÓN DEL RIESGO

Debiéndose especificar:

- Situaciones en las que habrá que intensificarse la vigilancia del depósito.
- Objetivos de la vigilancia intensiva en función de las distintas hipótesis de riesgo, especificando los controles a efectuar y los procedimientos a emplear.
- Medidas que deberán adoptarse para la reducción del riesgo.
- Procedimientos de información y comunicación con los organismos públicos competentes en la gestión de emergencias.

IV. MEDIOS Y RECURSOS MATERIALES Y HUMANOS

con que se cuenta para la puesta en práctica del plan de emergencia.

V. ORGANIZACIÓN DE LOS RECURSOS HUMANOS Y MATERIALES

necesarios para la puesta en práctica de las actuaciones previstas..

La dirección del plan correrá a cargo de un técnico titulado responsable de la explotación del depósito, entre cuyas funciones básicas están:

- Intensificar la vigilancia del depósito en caso de acontecimiento extraordinario.
- Disponer la ejecución de las medidas necesarias para la disminución del riesgo.
- Comunicar el hecho y mantener perfectamente informados a los organismos competentes en la gestión de emergencias.
- En caso de rotura del depósito o de peligro de rotura dar la alarma, ordenar la evacuación y comunicar sin dilación esta situación a los organismos competentes.

Para los depósitos **categoría B o C, clases 1 ó 2**, el plan de emergencias deberá contener:

- I. Una memoria descriptiva sobre los posibles riesgos y zona afectada en caso de rotura.
- II. Los contenidos mínimos especificados en (las Normas de actuación, Organización y Medios y Recursos humanos y materiales).

Para los depósitos **Categoría C, clases 3 ó 4** cuyo objeto sea la eliminación de efluentes por evaporación sólo se les requerirá:

- I. Una memoria en la que se describan los posibles riesgos y la zona de afección directa en el caso de una hipotética rotura del depósito.
- II. Una breve descripción de las normas de actuación del plan de emergencia, la organización y de los medios de que dispone.

Este último grupo va a ser el caso mas frecuente para los depósitos de efluentes de industrias agroalimentarias, no obstante, a continuación se va a comentar de una manera detallada los contenidos de un plan de emergencias para un depósito clasificado dentro de la categoría A, que es el caso mas complejo, siendo los contenidos mucho mas simples y escuetos para las otras dos categorías mencionadas anteriormente.

3.3.2. ANÁLISIS DE LA SEGURIDAD ESTRUCTURAL

Es el primer aspecto a tratar en la redacción del Plan de Emergencias de un depósito, y **supone abordar los tres puntos siguientes:**

- Establecer los fenómenos o situaciones que pueden poner en peligro la seguridad del depósito.
- Fijar unos indicadores que identifiquen la gravedad de la situación de emergencia.
- Establecer unos umbrales de los indicadores a partir de los cuales los fenómenos puedan ser considerados como peligrosos.

A continuación se va a comentar cada uno de ellos.

3.3.2.1. Fenómenos o situaciones que pueden poner en peligro la seguridad del depósito

Los fenómenos o situaciones que pueden poner en peligro la seguridad estructural de un depósito son los siguientes:

a) Rotura o deslizamiento de los taludes del depósito. El principal riesgo asociado a este fenómeno es el vertido del líquido al exterior del depósito.

Este fenómeno ocasionaría muchos más daños si el depósito es una presa que si es una balsa. En el primer caso, la rotura del dique provocaría el vertido al exterior de todo o parte del líquido almacenado, pudiendo afectar a amplias zonas aguas abajo del emplazamiento de la presa. Sin embargo en balsas al estar situadas por debajo de la cota del terreno circundante, la rotura de uno de sus taludes no ocasionaría vertidos al exterior. Por lo tanto, desde este punto de vista sería recomendable proyectar balsas aunque esto en ocasiones genere problemas de búsqueda de vertederos adecuados para disponer las tierras sobrantes.

Para garantizar la seguridad del depósito frente a este fenómeno será necesario aplicar alguno de los métodos descritos en el tema de análisis de la estabilidad de los taludes y obtener un factor de seguridad superior al mínimo exigido. No obstante, a pesar de cumplir este requisito, es posible que **durante la fase de**

explotación del depósito, pueda presentarse una situación de riesgo de deslizamiento por alguna de las siguientes causas:

- **Defectos en la construcción:** Entre estos se pueden citar el empleo de taludes mayores o materiales de peor calidad a los especificados en el proyecto, o bien a una deficiente compactación de los mismos. Para evitar este riesgo será necesario realizar un adecuado control de calidad durante la construcción del depósito.
- **Fallos en la conservación:** Pérdida y arrastre del suelo por erosión producida por el agua de lluvia, aparición de grietas, deformaciones y pérdida de la geometría del talud (abombamiento). Para minimizar el efecto de estos riesgos se deben aplicar medidas preventivas como un adecuado sistema de inspecciones periódicas que permita detectar el problema en su inicio y se pueda corregir aplicando medidas correctoras fáciles de aplicar.
- **Movimientos en los terrenos de cimentación**

b) Rebosamiento. El principal riesgo asociado a este fenómeno es el vertido al exterior de líquido y la rotura del depósito.

Este fenómeno se puede producir por:

- Una acumulación excesiva de vertido en el depósito.
- Precipitaciones extraordinarias.
- Asiento excesivo del terraplén del depósito.
- Por el oleaje.

Para lograr una adecuada seguridad frente a esta situación es necesario dotar al depósito de un resguardo suficiente cuya magnitud debe ser de 1,5 veces la altura máxima de la ola producida por el viento, no debiendo ser inferior a los 50 cm.

c) Movimientos sísmicos: Los principales riesgos asociados a este fenómeno son la rotura de los diques y/o el rebosamiento del líquido por la coronación como consecuencia del oleaje.

Para conseguir una adecuada seguridad frente a esta situación es necesario que en el cálculo mecánico del depósito y en el análisis de la estabilidad de los taludes

se haya tenido en cuenta las acciones sísmicas de acuerdo con la Norma sismo-resistente NCSE-2002.

d) Filtraciones: Los principales riesgos asociados a este fenómeno son por una parte el deslizamiento de tierras producido por un aumento de las presiones intersticiales y/o por erosión interna, y por otra la contaminación de suelos y/o acuíferos.

Para garantizar una adecuada seguridad frente a este fenómeno, se debe disponer un adecuado sistema de impermeabilización. Esto se puede conseguir sellando el fondo y los taludes interiores con una capa de tierras de al menos 100 cm de espesor siempre y cuando su coeficiente de permeabilidad sea inferior a 10^{-7} cm/s. No obstante, la disposición de geomembranas como las descritas en el apartado 2.7, ofrecen una mayor seguridad, por lo que cuando los daños ambientales y/o económicos en caso de rotura sean considerables será necesario utilizar este sistema de impermeabilización.

Asimismo, para detectar de una manera rápida la presencia de filtraciones es necesario disponer un sistema de drenaje cuyo diseño se ha indicado en el apartado 2.8. Los vertidos recogidos en la arqueta exterior de control se deben introducir mediante bombeo en el depósito.

e) Incendio, sabotaje o actos vandálicos.

Para minimizar los efectos de un posible incendio es conveniente disponer a lo largo de todo el borde exterior del depósito de un camino perimetral que además de facilitar el acceso a cualquier punto del mismo actúe como barrera cortafuegos. Asimismo, se debe disponer un cercado perimetral cuyo diseño ya se ha indicado en el apartado 2.11, que sirva como elemento disuasorio para la realización de actos vandálicos.

3.3.2.2. Indicadores de riesgo de rotura del depósito

Los indicadores se pueden clasificar en dos categorías:

- Los cuantitativos que se obtienen de la lectura de diversos instrumentos.
- Los cualitativos que se obtienen de la interpretación de las inspecciones periódicas.

A continuación se muestran dos tablas con los indicadores tanto cualitativos, como cuantitativos que habitualmente se utilizan.

Tabla nº 3.3.1. Indicadores cualitativos

Indicador	Posibles efectos
- Aparición de erosiones o movimientos en cualquiera de los paramentos del depósito	- Formación de cárcavas
- Aparición de filtraciones turbias a través del depósito o del cimientado	- Erosión interna en la presa
- Detección de humedades no habituales en el talud aguas abajo	- Exceso de presiones intersticiales
- Detección de terrenos inusualmente blandos	- Rotura del cimientado
- Detección de filtraciones en la arqueta de salida del sistema de drenaje	- Reblandecimiento
- Aparición de hundimientos o grietas de cualquier tipo en los paramentos o en la coronación del depósito	- Movimientos en el depósito
- Detección de daños estructurales en el aliviadero	

Tabla nº 3.3.2. Indicadores cuantitativos

Indicador	Sistema de medida
- Nivel del embalse	- Regleta graduada
- Precipitaciones	- Pluviometro
- Magnitud el movimiento sísmico	- Escala de Richter

3.3.2.3. Establecimiento de umbrales y escenarios de seguridad

Para establecer los escenarios de seguridad se va a utilizar la **Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo de Inundaciones**, publicada en el B.O.E. de 14 de febrero de 1995, que en su artículo 3.5.2.1 define cuatro escenarios de seguridad y de peligro de rotura de un depósito que se indican a continuación:

- **Escenario de control de seguridad o Escenario 0:** Las condiciones existentes y las previsiones aconsejan una intensificación de la vigilancia y el control del depósito.
- **Escenario de aplicación de medidas correctoras o Escenario 1:** Se han producido acontecimientos que de no tomarse medidas correctoras podrían ocasionar peligro de rotura del depósito.
- **Escenario excepcional o Escenario 2:** Existe peligro de rotura del depósito y no puede asegurarse con certeza que pueda ser controlado mediante la aplicación de las medidas y medios disponibles.
- **Escenario límite o Escenario 3:** La probabilidad de rotura de la presa es elevada o ésta ya ha comenzado, resultando prácticamente inevitable que se produzca la onda de avenida generada por la rotura.

Con el fin de que el director del Plan de Emergencias pueda realizar en todo momento la asignación del escenario de emergencias en el que se encuentra el depósito, los Planes de Emergencia deberán establecer una correlación entre situaciones, umbrales y escenarios de emergencia que deben ser lo mas sencillas y claras posibles. A continuación y a modo orientativo, se muestra una tabla con estas correlaciones obtenida de la **Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo de Inundaciones**.

Tabla nº 3.3.3. Correlación entre situaciones, umbrales y escenarios de emergencia

Situación	Umbral	Escenario de emergencia
Deslizamiento del terreno	Cuando se haya producido un deslizamiento de tierras en las proximidades del depósito.	E0
	Cuando se haya producido un deslizamiento de tierras en las proximidades del depósito que se prevé puede afectar al depósito.	E1
	Cuando se haya producido un deslizamiento de tierras que puede llegar a ocasionar la rotura del talud del depósito.	E2
	Cuando el deslizamiento es de tal magnitud que se prevé la salida inminente de líquido al exterior del depósito.	E3

Tabla nº 3.3.3. Correlación entre situaciones, umbrales y escenarios de emergencia

Situación	Umbral	Escenario de emergencia
Rebosamiento	Cuando se ha alcanzado, o está previsto alcanzar por unas precipitaciones próximas el nivel máximo útil del depósito	E0
	Cuando el depósito está en su nivel máximo útil y se prevé alcanzar por unas precipitaciones próximas el nivel correspondiente a la mitad del resguardo del depósito	E1
	Cuando el depósito está en su nivel máximo útil y se prevé alcanzar por unas precipitaciones próximas el nivel correspondiente al resguardo máximo del depósito	E2
	Cuando el depósito está en su nivel máximo útil y se prevé que por unas precipitaciones próximas se produzca el rebosamiento del depósito.	E3
Movimientos sísmicos	- Cuando se produzca un terremoto de magnitud 3,5 de la escala Richter. - Cuando se produzca en las proximidades del depósito un terremoto de magnitud superior al que haya soportado con anterioridad el depósito sin haber experimentado daños.	E0
	Cuando se haya producido un terremoto y se haya detectado cualquier problema en la inspección visual que se realice inmediatamente después del mismo.	E1
	Cuando se haya producido un terremoto y se hayan detectado fallos graves en los taludes con presencia de síntomas de pérdida de líquido no controladas en la inspección visual que se realice inmediatamente después del mismo.	E2
	Cuando se haya producido un terremoto y se hayan detectado síntomas de rotura inminente de los taludes en la inspección visual que se realice inmediatamente después del mismo.	E3
Incendio, actos de vandalismo o sabotaje	Ha ocurrido un incendio en las proximidades del depósito o un acto de vandalismo en el depósito, lo que motivará la realización de una inspección cuyo resultado es el que puede dar lugar a este escenario o a otro superior	E0
	Cuando el incendio o el resultado del acto de vandalismo pueda originar una degradación rápida del depósito debería establecerse el Escenario 1 de aplicación de medidas correctoras.	E1
	Cuando el incendio o el resultado del acto de vandalismo ha originado una situación de peligro de rotura del depósito y no puede asegurarse con certeza que pueda ser controlado mediante la aplicación de medidas correctoras.	E2
	Cuando el incendio o el resultado del acto de vandalismo ha originado una situación en la que la probabilidad de rotura del depósito es elevada o esta ha comenzado.	E3

A continuación se indican **los umbrales de declaración de los diferentes escenarios de seguridad** correspondientes a los indicadores cualitativos:

- **Escenario 0 o de control de seguridad.** En general, la detección de síntomas de cualquier modificación en las condiciones del depósito que puedan afectar a su seguridad, entre los que se pueden citar:
 - Aparición de síntomas de desajustes superficiales (erosión, movimientos) en cualquiera de los taludes del depósito.
 - Aparición de filtraciones significativas a través del depósito o de su cimiento, o bien en la arqueta de salida del sistema de drenaje.
 - Aparición de síntomas de hundimientos o grietas en la coronación o en los taludes del depósito.
 - Detección de síntomas de actos de vandalismo.
 - Aparición de indicios de agrietamiento u otros síntomas de deslizamiento de tierras en cualquiera de los taludes del depósito, o en sus proximidades.
- **Escenario 1 de aplicación de medidas correctoras.** Se declarará este escenario de seguridad cuando ocurra cualquiera de los aspectos relacionados en el Escenario 0 pero su nivel sea superior al de simple síntoma o sospecha, adquiriendo un nivel de desarrollo apreciable que haga necesaria la adopción de medidas correctoras para restablecer la seguridad del depósito.
 - Existencia de humedades importantes o filtraciones con caudal apreciable a través del depósito o de su cimiento, o bien en la arqueta de salida del sistema de drenaje.
 - Existencia de hundimientos o grietas en los taludes, en la coronación o en las proximidades del depósito.
 - Existencia de abombamientos, o deformaciones apreciables a la vista en los taludes, la coronación o en el pie del talud aguas abajo.
 - Existencia de áreas de deslizamiento en los taludes o en las proximidades del depósito.

3.3.3. ZONIFICACIÓN TERRITORIAL

Todos los aspectos relacionados con este punto, ya se han tratado en el apartado 3.2, habiéndose seguido para ello, la Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo de Inundaciones publicada en el B.O.E. de 14 de febrero de 1995.

3.3.4. NORMAS DE ACTUACIÓN

Con las normas de actuación, lo que se pretende es dar una serie de criterios de cómo actuar en caso de que se produzca cualquier incidencia o emergencia, debiendo aparecer de forma clara y concreta los siguientes aspectos:

- **Responsable de la actuación.**
- **Momento de actuación.**
- **Proceso de actuación.**
- **Finalidad de las actuaciones.**

3.3.4.1. Responsable de la actuación

El responsable último de las actuaciones será el director del Plan de Emergencias, si bien, cuando sea necesario pasar al Escenario 1 de aplicación de medidas correctoras o preventivas la responsabilidad recaerá en un comité Permanente previsto en el artículo 49 del Reglamento de la Administración Pública del Agua y de la Planificación Hidrológica.

3.3.4.2. Momento y proceso de la actuación

El momento de realizar algún tipo de actuación se producirá en el instante en el que alguno de los indicadores establecidos en el apartado 3.3.2.2 haya sobrepasado el umbral fijado para un determinado escenario de seguridad. Las actuaciones se pueden clasificar en alguno de los tres grupos que se indican a continuación:

- **Actuaciones de vigilancia.**

Estas a su vez se pueden clasificar en tres categorías:

- **Inspecciones periódicas.** Estas se realizarán por el personal de vigilancia con una periodicidad al menos mensual y preferentemente semanal controlando entre otros índices el nivel del depósito que se anotará en un

cuadrante del libro de registro del depósito. Si se detectase alguna anomalía, se anotará en el libro de registro y se hará un parte que se trasladará al director del Plan de Emergencias el cual en función de la importancia del incidente tomará las decisiones oportunas.

- **Inspecciones inmediatas.** Asociadas a la aparición de un fenómeno que puede incidir en el comportamiento del depósito, como por ejemplo un sismo o unas lluvias muy intensas. La inspección se llevará a cabo por el personal de vigilancia adscrito al depósito y del resultado de la misma se informará inmediatamente al Director del Plan de Emergencias el cual deberá tomar las medidas que estime convenientes.
- **Vigilancia intensiva.** Asociada a la superación de alguno de los umbrales establecidos en los distintos escenarios de seguridad. En esta inspección se medirán y auscultarán los indicadores que hayan motivado el estado de emergencia y todos aquellos que pudieran guardar relación con el proceso desarrollado. La inspección se llevará a cabo por el personal de vigilancia adscrito al depósito y se hará con una periodicidad diaria hasta que el umbral superado no se reduzca y por lo tanto desaparezca el escenario de seguridad, siendo el Director del Plan de Emergencias a la vista de los informes diarios, el responsable de tomar las medidas oportunas para que ello ocurra.

- **Medidas de prevención y corrección.**

Se realizarán cuando se haya alcanzado el Escenario 1 de seguridad.

A continuación se indican algunas medidas para hacer frente a diversas situaciones de emergencia:

- **Riesgo de rebosamiento:**
 - Recrecimiento provisional de la coronación
 - Protección del talud aguas abajo del depósito con algún material resistente a la erosión.
 - Protección de la posible zona de impacto del vertido por coronación.
- **Actuaciones para la protección de taludes** por erosiones locales producidas por el oleaje o por lluvias.
 - En general implica el empleo de escollera para la corrección de las cárcavas formadas en el proceso erosivo.

– **Actuaciones referentes a filtraciones.**

- Si se detectan es por que se ha producido la rotura de la geomembrana impermeabilizante por lo que será necesario proceder a su reparación.

– **Actuaciones para controlar posibles deslizamientos de taludes.**

- Será necesario rebajar el nivel de líquido en el depósito y proceder a la reparación y corrección inmediata del talud.

– **Actuaciones de comunicación.**

- Estas son las que el director del Plan de Emergencias deberá realizar en caso de aparición de un escenario de emergencia con los Organismos Públicos y en su caso con la población y/o propietarios afectados.

Los Organismos Públicos a los que se debe comunicar la situación de cualquier escenario de emergencia son:

- Protección civil.
- Delegación Provincial de Agricultura y Pesca.
- Cuartel de la Guardia Civil más próximo

Los medios utilizados para realizar la comunicación serán el teléfono y también el fax o el correo electrónico para dejar constancia escrita de la comunicación.

En caso de producirse un escenario 2 ó 3, será necesario a su vez avisar a la población y a los propietarios de terrenos que pudieran verse afectados.

El proceso o forma de actuar cuando se produzca alguna incidencia o fenómeno que pueda poner en riesgo la seguridad del depósito será el siguiente:

1. El vigilante presentará un parte al Director del Plan de Emergencias (P.E.) indicando la incidencia ocurrida.
2. El Director, si considera que la situación puede ser grave realizará una inspección inmediata del depósito y en función de la misma asignará un determinado escenario de emergencias.

- Si fuese un Escenario 0 ordenará por escrito al personal encargado de la vigilancia intensificar la misma.
- Si fuese un Escenario 1 ordenará por escrito a la propiedad la realización de las medidas correctoras necesarias para garantizar la seguridad del depósito. El personal de vigilancia será el encargado de controlar que las medidas propuestas se llevan a cabo. A la finalización de las mismas, el director inspeccionará el depósito y comprobará que la situación de seguridad ha vuelto a la normalidad.
- Si fuese un escenario 2 o 3 lo comunicará a los Organismos Públicos y a la población afectada por los medios indicados anteriormente.

3.3.5. ORGANIZACIÓN, MEDIOS Y RECURSOS

Los recursos humanos con los que deberá contar como mínimo cualquier P.E. de un depósito, son un Director del P.E. que será un técnico y una persona que tendrá la misión de realizar la vigilancia y control del mismo.

Las funciones del Director del P.E. de acuerdo con el artículo 3.5.1.6 de la Directriz Básica de Planificación de Protección Civil son las siguientes:

- Intensificar la vigilancia del depósito en caso de acontecimiento extraordinario y tomar las decisiones para la declaración de los escenarios de emergencia de acuerdo con los datos proporcionados por los indicadores.
- Disponer la ejecución de las medidas técnicas o de explotación necesarias para la disminución del riesgo.
- Mantener permanentemente informados a los Organismos Públicos implicados en la gestión de la emergencia.
- Dar la alarma, en caso de peligro inminente de rotura del depósito, o en su caso de la rotura del mismo, mediante comunicación a los Organismos Públicos implicados en la gestión de la emergencia. Asimismo, deberá alertar a la población que de acuerdo con la zonificación territorial efectuada, pueda verse inundada.

Las funciones del vigilante serán las que se indican a continuación:

- Vigilar el estado del depósito, comunicando por escrito al Director del P.E. las incidencias observadas para lo que utilizará la tabla de indicadores cualitativos y cuantitativos recogidos en el punto 3.3.2.2.
- Las vigilancias periódicas deberán realizarse al menos una vez al mes y preferentemente durante la época de llenado del depósito una vez a la semana.
- En caso de que se produzca alguno de los escenarios de emergencia descritos en el apartado 3.3.2.3, se pondrá a las órdenes del director del P.E. para realizar cuantas acciones le encomiende.
- Llevará a cabo el control y la supervisión de todas las medidas correctoras que se realicen al depósito comunicando cualquier incidencia que se pudiera presentar al director del P. E.

Los recursos materiales adscritos al P.E. deben ser los siguientes:

- Bombas de achique para poder realizar un descenso del nivel del líquido en situaciones de emergencia y para aumentar la seguridad del depósito.
- Garantizar que se tiene disponible con inmediatez, maquinaria de obra civil para poder reforzar y proteger taludes o recrecerlos con sacos en situaciones de riesgo inminente de deslizamiento de tierras o de rebosamiento.



BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA

- American Society of Civil Engineers (1996). Hydrology Handbook. Ed. American Society of Civil Engineers, ASCE publications.
- Amigó Rodríguez, E., Aguiar González, E. (1994). Manual para el diseño, construcción y explotación de embalses impermeabilizados con geomembranas. Editorial Consejería de Agricultura y Alimentación Gobierno de Canarias.
- Auvinet, G. Esquivel, R. (1986). Impermeabilización de lagunas artificiales. Editorial Limusa. Méjico.
- Blanco Fernández M. y García Sánchez F. (2005). I Simposio nacional sobre proyecto, construcción e impermeabilización de balsas. Vol 1. Sevilla
- Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía (2006). Manual de interpretación de normas para el titular de depósitos de efluentes líquidos o lodos. Editorial Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía.
- Donaire Márquez, M. J. y col. (2000). Guía para el diseño y construcción de presas de residuos mineros. Consejería de empleo y desarrollo tecnológico. Junta de Andalucía.
- García – Ortiz, A, Frías, L. (1995). El empleo de alpechín y orujos húmedos. Comunicación I+D Agroalimentarias. Consejería de Agricultura y Pesca. Sevilla.
- Iván Vaquero Díaz (2004). Manual de diseño y construcción de vertederos de residuos sólidos urbanos. E.T.S.I. Minas – Universidad Politécnica Madrid
- Kraemer y col. (2004). Ingeniería de Carreteras. Volumen II. Edit. McGraw Hill. Madrid.
- Ministerio de Fomento (1990). Instrucción de Carreteras. Norma 5.2.-IC “Drenaje Superficial”. Serv. Publicaciones Ministerio de Fomento.
- Ministerio de Fomento (1997). Máximas lluvias diarias en la España Peninsular. Serv. Publicaciones Ministerio de Fomento.
- Ministerio de Justicia e Interior (1995). Directriz básica de planificación de protección civil ante el riesgo de inundaciones. Serv. Publicaciones Ministerio de Justicia e Interior. Madrid.
- Ministerio de Medio Ambiente (1996). Guía Técnica de “Clasificación de Presas según el Ries-

go Potencial". Serv. Pub. Ministerio de Medio Ambiente, Dirección General de Obras Hidráulicas y Calidad de las Aguas. Ediciones monográficas.

Ministerio de Medio Ambiente (2001). Guía Técnica para la elaboración de los planes de emergencias de presas. Servicio Publicaciones Ministerio de Medio Ambiente. Dirección General de Obras Hidráulicas y Calidad de las Aguas. Ediciones monográficas.

Ministerio de Obras Públicas (1967). Instrucción para el proyecto, construcción y explotación de grandes presas. Serv. Publicaciones del Ministerio Obras Públicas. Madrid.

Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente (1996). Reglamento técnico de seguridad en presas y embalses. Serv. Publicaciones MOPTMA. Dirección General de Obras Hidráulicas. Madrid

Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente (2002). Norma de Construcción Sismorresistente: Parte General y Edificación (NCSR-02). Serv. Publicaciones MOPTMA. Madrid.

Ramón de los Santos, A. (2004). Consideraciones generales aplicables a la construcción de balsas. Servicio de publicaciones del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.

Vente Chow- y col. (1994). Hidrología Aplicada, Editorial McGraw –Hill, Santa Fe de Bogotá.

Winterkorn, H.F., Fang, H.Y. (1975). Foundation Engineering Handbook. Van Nostrand Reinhold Co. New York.

Zapata Raboso, F.A. (2003). Análisis del comportamiento histórico de balsas de tierra en la provincia de Alicante. Criterios de diseño. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Valencia.

