



GOBIERNO  
DE ESPAÑA

MINISTERIO  
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA  
Y EL RETO DEMOGRÁFICO

# CLASIFICACIÓN DE PRESAS

## GUÍA TÉCNICA



ACTUALIZACIÓN 2023



# PRESENTACIÓN

La Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo de Inundaciones, aprobada el 9 de diciembre de 1994 por el Consejo de Ministros, incluyó por primera vez en España la obligación de clasificar las presas en función del riesgo potencial derivado de su rotura o funcionamiento incorrecto, en una de las tres siguientes categorías: A, B o C, y la de aprobar e implantar Planes de Emergencia para aquellas presas clasificadas en las dos primeras.

Posteriormente, en el año 1996, el entonces Ministerio de Medio Ambiente aprobó el Reglamento Técnico sobre Seguridad de Presas y Embalses, que recogía los nuevos conceptos incorporados por la Directriz e introducía como novedad en la determinación de los criterios esenciales de seguridad la consideración de los daños potenciales que produciría la presa en caso de rotura o funcionamiento incorrecto, la clasificación de las presas en distintas categorías de riesgo y la aplicación de criterios de seguridad, más o menos exigentes, según dicha clasificación.

La clasificación de presas en función del riesgo potencial se convierte así en el pilar fundamental de la seguridad a partir de ese momento y es el punto de partida de un nuevo enfoque en la forma de abordar la seguridad de las presas en España.

El carácter abierto, puramente descriptivo, del Reglamento -define todo lo que hay que hacer, pero no detalla cómo-, la ausencia de experiencia previa en la realización de ese tipo de trabajos por parte del sector, y la necesidad de disponer de un procedimiento único de elaboración de las propuestas de clasificación para todas las presas, motivó que la Dirección General del Agua abordara con la máxima celeridad la redacción de una Guía Técnica que recogiera la metodología a emplear y que incluyera todos los criterios de clasificación definidos tanto en la Directriz como en el Reglamento. La Guía debía establecer además recomendaciones para que los criterios a utilizar en la elaboración de las propuestas fueran objetivos, sencillos y fáciles de aplicar en la práctica, y que, complementariamente, sirvieran para facilitar el proceso de supervisión de las propuestas de clasificación elaboradas por parte de la Administración, e igualmente, para facilitar la elaboración de las correspondientes propuestas de resolución.

El Ministerio de Medio Ambiente publicó en el mismo año 1996 en que se aprobó el Reglamento, la Guía Técnica para la Clasificación de Presas en función del riesgo potencial, que empezó a utilizarse para iniciar el proceso de clasificación de todas las presas españolas.

Desde entonces, con los criterios contenidos en ella se han elaborado, y se han aprobado, del orden de unas 1.000 clasificaciones de presas y de unas 600 balsas. Se trata pues de una Guía muy conocida por el sector, y muy utilizada en la práctica. Sin embargo, a pesar de lo anterior, el tiempo transcurrido desde que viera la luz, la aparición de nuevas herramientas de cálculo, la creciente digitalización de la información, la experiencia adquirida en todos estos años por todos los que la han utilizado para elaborar las propuestas de clasificación -o para supervisarlas-, la aprobación del Real Decreto 9/2008, de 11 de enero, por el que se modifica el Reglamento del

Dominio Público Hidráulico, aprobado por el Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, y, especialmente, la reciente aprobación del Real Decreto 264/2021, de 13 de abril, por el que se aprueban las normas técnicas de seguridad para las presas y sus embalses, hacían necesario efectuar una revisión en profundidad de la Guía existente, para proceder a su actualización.

Y tal y como establece el preámbulo del Real Decreto 9/2008, *“La gestión del riesgo, [es] uno de los aspectos fundamentales que debe abordar un país moderno, ... persigue como objetivo la protección de las personas y los bienes, y del medio ambiente, a través de la modificación de la normativa ...”*, y es precisamente esta actualización de la Guía el principal objetivo perseguido con esta nueva edición que hoy presentamos, con la idea de que siga siendo de la máxima utilidad para el sector y para que éste siga analizando de la forma más moderna y avanzada posible los riesgos potenciales ocasionados aguas abajo de las presas en el hipotético caso de que se produjera su rotura o fallo en su funcionamiento.

Madrid, noviembre de 2021

Teodoro ESTRELA MONREAL

Director General del Agua

# PRESENTACIÓN

La Guía Técnica para la Clasificación de Presas en función del riesgo potencial del año 1996 fue elaborada a partir de una propuesta inicial redactada por:

- D. Jesús Penas Mazaira
- D. Luis Berga Casafont
- D. Mariano de Andrés Rodríguez-Trelles

La citada Guía ha sido actualizada por:

- D. Juan Carlos de Cea Azañedo
- D. Rafael Garrote de Marcos
- D. Alfredo Granados García
- Dña. Ana Villar Arrondo

Los comentarios y observaciones pueden enviarse a la dirección de correo electrónico:  
[bzn-Seguridad\\_Presas@miteco.es](mailto:bzn-Seguridad_Presas@miteco.es)



# ÍNDICE

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. OBJETO DE ESTA GUÍA TÉCNICA.....	3
1.2. ÁMBITO DE APLICACIÓN.....	4
CAPÍTULO 2. CRITERIOS .....	5
2.1. DEFINICIONES.....	7
2.2. CLASIFICACIONES A EFECTUAR Y CONSIDERACIONES DE BASE .....	7
2.3. CRITERIOS BÁSICOS DE VALORACIÓN DE LAS AFECCIONES.....	9
2.3.1. Proceso general de valoración de las afecciones .....	9
2.3.2. Núcleos urbanos o número reducido de viviendas .....	10
2.3.3. Servicios esenciales.....	11
2.3.4. Daños materiales .....	11
2.3.5. Aspectos medioambientales, histórico-artísticos y culturales .....	12
2.3.6. Otras afecciones .....	12
2.4. CRITERIOS BÁSICOS PARA EL ANÁLISIS DE LAS ROTURAS POTENCIALES.....	13
2.4.1. Escenarios de rotura .....	13
2.4.2. Forma y dimensiones de la brecha. Tiempos de rotura .....	14
2.4.3. Datos básicos para el estudio de la propagación de la onda de avenida .....	18
2.4.4. Estimación de daños aguas abajo.....	20
2.5. CLASIFICACIÓN DE LAS PRESAS .....	21
2.5.1. Presas existentes .....	21
2.5.2. Presas de nueva construcción .....	21
2.5.3. Revisión de la clasificación de presas ya clasificadas .....	21
CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA .....	23
3.1. INTRODUCCIÓN.....	24

3.2. LÍMITE AGUAS ABAJO DEL ESTUDIO .....	25
3.3. ORDEN DE ANÁLISIS POR TIPO DE DAÑO.....	25
3.4. ESCENARIOS DE ROTURA. METODOLOGÍA GENERAL .....	26
3.5. ESTUDIO DE LA INUNDACIÓN CONSECUENCIA DE LA ROTURA DE UNA PRESA .....	28
3.5.1. Malla de cálculo .....	29
3.5.2. Modelización del embalse .....	29
3.5.3. Condiciones iniciales antes de la rotura .....	30
3.5.4. Condiciones de contorno .....	31
3.5.5. Presencia de confluencias en la zona de estudio .....	32
CAPÍTULO 4. DOCUMENTOS QUE CONSTITUYEN LA PROPUESTA DE CLASIFICACIÓN .....	33
4.1. DOCUMENTOS A INCLUIR EN LA PROPUESTA DE CLASIFICACIÓN .....	35

APÉNDICE. MODELOS DE TABLA PARA EL ANÁLISIS DE AFECCIONES AGUAS ABAJO

## **CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN**



## **1.1. OBJETO DE ESTA GUÍA TÉCNICA**

---

La Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo de Inundaciones (en adelante Directriz), aprobada por Acuerdo del Consejo de Ministros del día 9 de diciembre de 1994, establece en su Art. 3.5.1.3 la obligatoriedad de que las presas se clasifiquen en categorías en función del riesgo potencial que pueda derivarse de su rotura o funcionamiento incorrecto. Asimismo, se definen en ella los criterios fundamentales de clasificación, el procedimiento a seguir y determinadas obligaciones que, para los titulares de presas, se derivan de la categoría asignada.

Por otra parte, la Orden Ministerial de 12 de marzo de 1996, por la que se aprobó el Reglamento Técnico sobre Seguridad de Presas y Embalses (en adelante RTSPE), establecía en su disposición previa quinta que los titulares o concesionarios de todas las presas en servicio, independientemente de su titularidad dentro del ámbito de competencias del Estado, debían presentar a la Dirección General de Obras Hidráulicas (hoy Dirección General del Agua) la propuesta razonada de clasificación frente al riesgo en los términos previstos por la Directriz y el RTSPE, que en su Art. 3.2 definía las categorías de clasificación en función del riesgo potencial de forma idéntica que la Directriz.

En consecuencia, desde la entrada en vigor de la normativa referida, los titulares de presas en fase de proyecto, en construcción o en explotación estaban obligados a presentar ante la Administración competente una propuesta razonada para la clasificación en función del riesgo potencial derivado de su rotura o funcionamiento incorrecto en una de las tres categorías establecidas tanto en la Directriz como en el RTSPE.

Los criterios de clasificación tenían un carácter descriptivo y general, por lo que se hacía necesario desarrollarlos de forma que las resoluciones de clasificación de presas se pudieran dictar con criterios objetivos, de fácil aplicación y homogéneos para todas las presas. Por esos motivos, la entonces Dirección General de Obras Hidráulicas y Calidad de las Aguas publicó en el año 1996 la *Guía Técnica para la Clasificación de Presas en función del riesgo potencial*, que tenía por objeto desarrollar los criterios de clasificación de presas establecidos en la Directriz y en el RTSPE y plantear con carácter orientativo una metodología general de aplicación y el contenido mínimo de la información que había de acompañar a las propuestas de clasificación, todo ello con la finalidad de que las Resoluciones de clasificación de presas se preparasen y se dictasen de manera homogénea y coordinada.

Por otro lado, el Real Decreto 9/2008, de 11 de enero, por el que se modifica el Reglamento del Dominio Público Hidráulico (en adelante RDPh), añade un nuevo Título VII dedicado a la seguridad de presas, embalses y balsas, introduciendo importantes novedades en la materia como la creación de un Registro de Seguridad de Presas y Embalses, la implantación de las Normas Técnicas de Seguridad, o el establecimiento de una serie de obligaciones a los titulares, entre las que destaca la de solicitar la clasificación, en función de las dimensiones y del riesgo potencial, de todas aquellas presas y balsas de altura superior a 5 metros o de capacidad de embalse mayor de 100.000 m<sup>3</sup> (Art. 367.1 del RDPh).

Con la entrada en vigor del Real Decreto 264/2021, de 13 de abril, por el que se aprueban las Normas Técnicas de Seguridad para las presas y sus embalses, publicado en el Boletín Oficial del Estado el día 14 de abril de 2021, dichas normas han pasado a constituir la normativa de referencia en materia de seguridad y explotación de presas en nuestro país, sustituyendo a la Instrucción para el Proyecto, Construcción y Explotación de Grandes Presas y al mencionado RTSPE.

El Art. 4 del Real Decreto 264/2021 establece la obligatoriedad por parte de los titulares de las presas y embalses a los que se refiere el Art. 367.1 del RDPh, de solicitar su clasificación atendiendo al doble criterio de sus dimensiones y al riesgo potencial derivado de su rotura o funcionamiento incorrecto. La propuesta de clasificación deberá justificarse de acuerdo con los criterios establecidos en la Norma Técnica de Seguridad para la Clasificación de las Presas y para la Elaboración e Implantación de los Planes de Emergencia de Presas y Embalses (en adelante NTS1), recogida en el Anexo I del mencionado Real Decreto.

La NTS1 dedica su Capítulo II a la clasificación de presas, y en él se desarrollan los criterios básicos para proceder a la clasificación de las presas, atendiendo tanto a sus dimensiones como al riesgo potencial derivado de su rotura o funcionamiento incorrecto.

Por otra parte, en los últimos 25 años los métodos de cálculo hidráulico de propagación de la onda de avenida provocada por la rotura de una presa han experimentado una importante evolución, estando hoy en día plenamente extendido el empleo de modelos hidráulicos bidimensionales en régimen variable que han ido incorporando en su desarrollo el manejo de herramientas SIG.

Por los motivos anteriores, se hacía necesario revisar la *Guía Técnica para la Clasificación de Presas en función del riesgo potencial* de 1996, tanto para adaptarse al nuevo marco normativo como para actualizar la metodología de cálculo empleada en la clasificación.

## **1.2. ÁMBITO DE APLICACIÓN**

---

Los criterios y recomendaciones establecidos en el presente documento servirán de guía para la elaboración por parte de los titulares de la propuesta de clasificación de las presas en función de sus dimensiones y en función del riesgo potencial derivado de su rotura o funcionamiento incorrecto, y para la evaluación de las mismas por parte de la Administración General del Estado y de las Entidades Colaboradoras en materia de control de la seguridad de presas y embalses (en adelante Entidades Colaboradoras).

Es de aplicación a todas las presas situadas en cauces y a sus diques de collado, que tengan una altura superior a 5 metros o capacidad de embalse superior a 100.000 m<sup>3</sup>, sean públicas o privadas, existentes, en construcción o que se vayan a construir (Art. 367.1 del RDPh).

## **CAPÍTULO 2. CRITERIOS**



## 2.1. DEFINICIONES

---

Con objeto de la aplicación de la presente Guía Técnica se entenderá por:

**Presa:** la estructura artificial establecida en un cauce y destinada exclusivamente al almacenamiento de agua.

A efectos de clasificación se considerarán también como presas los diques de cierre de collado asociados a las presas para la creación de los embalses.

**Altura de presa:** la diferencia de cota entre el punto más bajo de la cimentación y el punto más alto de la estructura resistente, sin tener en cuenta los rastrillos, pantallas de impermeabilización, rellenos de grietas u otros elementos semejantes (Art. 357b del RDPH).

En los diques de collado la altura se determinará de igual manera que para las presas.

**Capacidad de embalse:** volumen de agua que puede almacenarse en el embalse entre la cota del cauce y la cota de Nivel Máximo Normal (NMN). Siendo el NMN el máximo nivel de retención de agua que se alcanza en el embalse cuando todos los elementos mecánicos de los órganos de desagüe se encuentran cerrados.

En la mayor parte de los casos los órganos de desagüe profundos dispondrán de válvulas para su control, por lo que el NMN será la cota del labio del vertedero en las presas con aliviadero de labio fijo o el borde superior de las compuertas del aliviadero si éste está regulado.

En el caso particular de las presas de laminación de avenidas y de sus diques de cierre, en las que los órganos de desagüe profundos carezcan de dispositivos de control, la capacidad de embalse se referirá al labio del vertedero, si el aliviadero es de labio fijo, o al borde superior de las compuertas del aliviadero si éste estuviese regulado.

## 2.2. CLASIFICACIONES A EFECTUAR Y CONSIDERACIONES DE BASE

---

De acuerdo al Art. 358 del RDPH las presas se clasificarán en función de sus dimensiones y en función del riesgo potencial que pueda derivarse de su posible rotura o funcionamiento incorrecto.

En **función de sus dimensiones** las presas se clasificarán como:

- **Gran presa:** presas cuya altura sea superior a 15 m o las que teniendo una altura comprendida entre 10 y 15 m tengan una capacidad de embalse superior a 1 hm<sup>3</sup>.
- **Pequeña presa:** aquellas que no cumplen las condiciones de gran presa.

La altura y capacidad de embalse se determinarán de acuerdo a las definiciones incluidas en el apartado 2.1. La altura se justificará mediante planos de planta y sección de la estructura y de la zona de embocadura del aliviadero, y la capacidad por medio de la curva característica del embalse (curva nivel de embalse-volumen almacenado).

Por otro lado, en **función del riesgo potencial que pueda derivarse de su rotura o funcionamiento incorrecto**, las presas se clasificarán en una de las tres categorías siguientes:

- Categoría A: presas cuya rotura o funcionamiento incorrecto puede afectar gravemente a núcleos urbanos o servicios esenciales, o producir daños materiales o medioambientales muy importantes.
- Categoría B: presas cuya rotura o funcionamiento incorrecto puede ocasionar daños materiales o medioambientales importantes o afectar a un reducido número de viviendas.
- Categoría C: presas cuya rotura o funcionamiento incorrecto puede producir daños materiales de moderada importancia y sólo incidentalmente pérdida de vidas humanas. En todo caso a esta categoría pertenecerán todas las presas no incluidas en las Categorías A o B.

Se indican las siguientes **consideraciones de base respecto al proceso y evaluación de la categoría en función del riesgo potencial**:

- 1) Los criterios para la clasificación en función del riesgo potencial en caso de rotura o funcionamiento incorrecto se establecen en el Apartado 4 de la NTS1.
- 2) La determinación de la categoría en función del riesgo potencial se basa en una evaluación de los daños potenciales que podrían producirse en caso de rotura o funcionamiento incorrecto de la presa, no en una evaluación del riesgo en sí; dado que el concepto de riesgo lleva asociado, además de los daños ocasionados por un determinado suceso, la probabilidad de que dicho suceso se produzca.
- 3) La estimación de los daños se realizará únicamente para situaciones de rotura de la presa y no para las de funcionamiento incorrecto, dado que los daños potenciales serán en cualquier caso más desfavorables para las primeras.
- 4) Las presas se clasificarán de manera independiente. Es decir, si existen dos presas situadas en dos ríos o afluentes diferentes que puedan producir daños potenciales en una misma zona o población, no se tendrá en cuenta su rotura simultánea.
- 5) En el análisis de la onda de rotura generada se considerarán aquellos elementos singulares situados aguas abajo cuya afección puedan potenciar o agravar sus consecuencias, 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 puedan romperse como consecuencia de la rotura de la primera.
- 6) Para la evaluación de los daños se considerará que no se producen preavisos a la población ni se activan medidas de emergencia tras la rotura.

7) Se examinarán las posibles afecciones a:

- Núcleos urbanos o número reducido de viviendas.
- Servicios esenciales.
- Daños materiales.
- Aspectos medioambientales, histórico-artísticos o culturales.

Se evaluarán los daños potenciales para cada uno de los citados grupos, correspondiendo la categoría de la presa a la categoría máxima asignada a cada uno de los aspectos individuales, sin estudiar posibles combinaciones de ellos.

8) Los contenidos de la presente Guía Técnica son orientaciones de apoyo a los titulares de las presas, a la Administración competente y a las Entidades Colaboradoras, para la elaboración y revisión de las propuestas de clasificación de presas. Las indicaciones y criterios indicados deben ser siempre sometidos al juicio ingenieril y particularizados a las presas objeto de análisis, pudiendo emplearse metodologías y procedimientos alternativos a los que se incluyen, siempre que se justifiquen adecuadamente.

### 2.3. CRITERIOS BÁSICOS DE VALORACIÓN DE LAS AFECCIONES

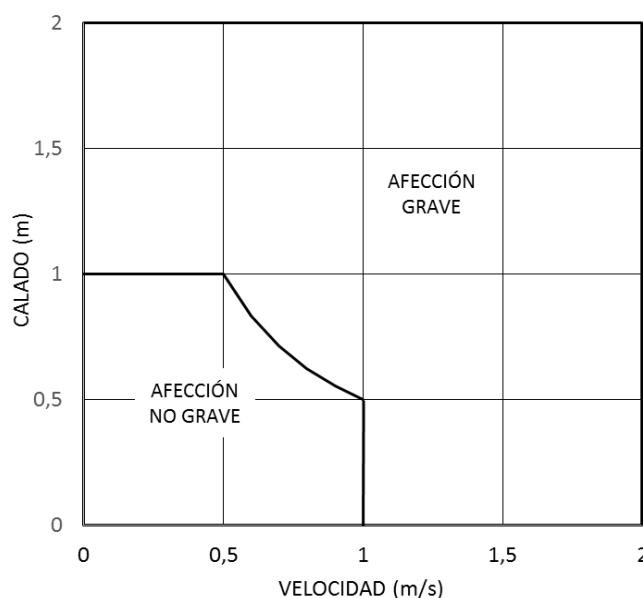
---

#### 2.3.1. Proceso general de valoración de las afecciones

El proceso de valoración se realizará, para todos aquellos elementos que se sitúen dentro de los límites de la zona inundable tras la rotura, en dos etapas:

1) En la **primera etapa** se analizará si se produce su afección o no, en base a los valores de las variables hidráulicas de la onda de rotura (calado y velocidad) en el punto en estudio.

El umbral de afección grave se corresponde al indicado en el Art. 9.2 del RDPH, que dice: *“se considerará que pueden producirse graves daños sobre las personas y los bienes cuando las condiciones hidráulicas durante la avenida satisfagan uno o más de los siguientes criterios: a) que el calado sea superior a 1 m, b) que la velocidad sea superior a 1 m/s, o c) que el producto de ambas variables sea superior a 0,5 m<sup>2</sup>/s”*. Se representa en la Figura 1.



*Figura 1. Evaluación de la gravedad de las afecciones (Art. 9.2 del RDPH)*

Si se supera el citado umbral la afección se calificará como “grave” y se analizará con detalle en una segunda etapa, mientras que si no se rebasa la afección se calificará como “afección no grave”.

- 2) En la **segunda etapa** se estudiarán, uno a uno, todos los elementos en los que en la etapa anterior se haya determinado que se produce “afección grave”, al objeto de establecer, en función del número, extensión o catalogación de los mismos, en qué categoría procede clasificar la presa.

El proceso se repetirá para los cuatro grupos indicados: i) núcleos urbanos o viviendas aisladas, ii) servicios esenciales, iii) daños materiales y iv) aspectos medioambientales, histórico-artísticos o culturales; con los criterios específicos que se detallan a continuación.

### 2.3.2. Núcleos urbanos o número reducido de viviendas

Para la consideración de este tipo de afecciones, se asignará la categoría A cuando se produzca “afección grave” a más de cinco viviendas y la categoría B cuando se produzca “afección grave” a un número comprendido entre una y cinco viviendas.

Se considera como “afección grave” a una vivienda aquella que represente riesgo para las vidas de sus habitantes. La asignación del calificativo de “grave” se efectuará en función del calado y la velocidad de la onda de rotura en el punto de afección, de acuerdo con el criterio establecido en el Art. 9.2 del RDPH, que se representa en la Figura 1.

La evaluación se realizará para cada uno de los posibles puntos de afección, empleándose los valores máximos de calado y velocidad obtenidos tras la modelización numérica de la rotura y la propagación de la onda asociada.

El calificativo de incidental -asociado a la clasificación en la categoría C- se aplicará a la presencia ocasional, y no previsible en el tiempo, de personas en la llanura de inundación; por lo que no podrá admitirse la clasificación como incidental de las potenciales pérdidas de vidas humanas asociadas a la afección a residencias establecidas permanentes, áreas de acampada estables, zonas en que habitualmente se produzcan concentraciones de personas por cualquier motivo, etc.

La afección grave a las áreas de acampada estables o las edificaciones aisladas (oficinas y naves industriales, hospitales, centros educativos, comerciales, de culto, de eventos, etc.) en las que pueda haber concentración de personas, se considera asimilable a un número superior a cinco viviendas, por lo que dará lugar a la clasificación en la categoría A.

### 2.3.3. Servicios esenciales

Se entenderán como tales aquéllos que son indispensables para el desarrollo de las actividades humanas y económicas de conjuntos de población mayores de 10.000 habitantes, y siempre que el servicio que brinden no pueda restablecerse de manera inmediata ni prestarse de forma alternativa. Entre los posibles servicios esenciales se incluyen, al menos, los siguientes:

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

La “afección grave” a un servicio esencial dará lugar a la clasificación en la categoría A.

La asignación del calificativo “grave” se efectuará en función del calado y la velocidad de la onda de rotura en el punto de afección, de acuerdo con lo establecido en el Art. 9.2 del RDPH (Figura 1).

### 2.3.4. Daños materiales

Se entenderán como daños materiales aquéllos cuantificables directamente en términos económicos, sean directos (destrucción de elementos) o indirectos (reducción de la producción u otros).

Los daños materiales se evaluarán en función de los siguientes grupos:

- Daños a industrias y polígonos industriales.
- Daños a propiedades rústicas.
- Daños a cultivos.
- Daños a infraestructuras.

Se considerará que se producen daños materiales si la afección al elemento se califica como “grave” en función del calado y la velocidad de la onda de rotura. La calificación como “grave” se efectuará cuando se supere el umbral representando en la Figura 1 (criterio del Art. 9.2 del RDPh).

La evaluación del alcance de los daños a este tipo de elementos se efectuará analizando el número de instalaciones industriales o propiedades rústicas dañadas, la superficie de terreno de cultivo inundada y la clase de las infraestructuras afectadas.

Así, tendrán la consideración de daños muy importantes -clasificación en la categoría A- la afección grave a más de 50 instalaciones/propiedades, a más de 5.000 ha de regadío, a más de 10.000 ha de secano, a carreteras de la Red de Carreteras del Estado, a carreteras autonómicas de primer nivel, o a ferrocarriles de vía ancha o de alta velocidad.

Tendrán la consideración de daños importantes -clasificación en la categoría B- la afección grave a más de 10 instalaciones/propiedades, a más de 1.000 ha de regadío, a más de 3.000 ha de secano, a carreteras autonómicas de segundo o tercer nivel, o a ferrocarriles de vía estrecha. Los daños materiales que no rebasen estos últimos umbrales tendrán la consideración de moderados -clasificación en la categoría C-.

#### **2.3.5. Aspectos medioambientales, histórico-artísticos y culturales**

Se entenderán como daños medioambientales o al patrimonio histórico-artístico o cultural, las afecciones “graves” sobre los elementos o territorios que gocen de alguna figura legal de protección a nivel estatal (Red Natura 2000, Parques Nacionales, Bienes de Interés Cultural u otros) o autonómico (Parques Naturales, Parques Regionales u otros).

Tendrán la consideración de daños muy importantes -clasificación en la categoría A- la afección “grave” a elementos con figuras de protección a nivel estatal, y daños importantes -clasificación en la categoría B- la afección “grave” a elementos catalogados a nivel autonómico.

En los territorios protegidos, la asignación del calificativo “grave” se efectuará en función del calado, la velocidad de la onda de rotura y la superficie afectada. Se catalogarán como “graves” cuando se supere el umbral representando en la Figura 1 (criterio del Art. 9.2 del RDPh) en una superficie superior a 1.000 ha.

En el resto de elementos protegidos, la calificación como “grave” se efectuará en función del calado y la velocidad de la onda de rotura en el punto de afección, conforme al criterio representado en la Figura 1.

#### **2.3.6. Otras afecciones**

Aun cuando no están citadas expresamente en la definición de categorías, existen elementos no tipificados, pero caracterizados por que las consecuencias de su rotura o funcionamiento incorrecto de lugar a consecuencias severas, como pueden las centrales nucleares o las plantas de producción de compuestos venenosos o especialmente dañinos para la salud de las personas

o el medio ambiente -como las industrias incluidas en el Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes (PRTR)-, cuya afección debe ser analizada.

La afección grave a alguno de los elementos relacionados en el citado registro dará lugar a la clasificación en la Categoría A. A estos efectos se considerará que se produce una afección “grave” si las condiciones hidráulicas superan los umbrales establecidos en el Art. 9.2 del RDPH, tal y como se representa en la Figura 1.

## 2.4. CRITERIOS BÁSICOS PARA EL ANÁLISIS DE LAS ROTURAS POTENCIALES

---

### 2.4.1. Escenarios de rotura

#### 2.4.1.1. Rotura individual de presas

Para la clasificación de la presa es necesario analizar distintos escenarios de posibles roturas, identificando en cada caso los daños potenciales. La clasificación a asignar debe corresponder al escenario más desfavorable. Estos escenarios estarán caracterizados por la situación del embalse y por las condiciones hidrológicas (caudales entrantes en el embalse) en el momento en que se produce la eventual rotura.

Se analizarán, al menos, los dos escenarios establecidos en el Apartado 4.3 de la NTS1, de los cuales el primero corresponde al caso de rotura con embalse lleno y no coincidente con avenidas y el segundo a la rotura en una situación de avenida que genere la sobre elevación del nivel de embalse hasta coronación. En resumen, los escenarios establecidos son:

- **Escenario sin avenida:** rotura con el embalse en su NMN. Siendo el NMN el máximo nivel de retención de agua que se alcanza en el embalse cuando todos los elementos mecánicos de los órganos de desagüe se encuentran cerrados.
- **Escenario límite:** embalse en su NMN y desagüe de un hidrograma que pueda llenarlo hasta coronación, manteniendo la presa todos sus elementos de desagüe abiertos, produciéndose a continuación su rotura.

A efectos de la evaluación de los daños a considerar, en el segundo escenario se tendrán únicamente en cuenta los incrementales, entendidos éstos como la diferencia entre los que se producen por el efecto de la onda de rotura y los que se habrían producido sin la existencia de la presa.

#### 2.4.1.2. Rotura encadenada de presas

En el caso en el que exista una sucesión de presas situadas aguas abajo, se debe analizar la posibilidad de que se produzca la rotura encadenada de las mismas (efecto dominó).

A estos efectos de clasificación no se tendrá en cuenta la influencia que puedan tener las presas situadas aguas arriba de la presa a clasificar, pero sí la eventualidad de que la rotura de ésta dé lugar a la de las situadas aguas abajo y los efectos que de ello deriven.

Para ello, en cada uno de los escenarios analizados, se modelizará el tránsito del hidrograma de la onda de rotura por el embalse de aguas abajo. En la modelización se considerará que: i) el

embalse de aguas abajo se encuentra a cota de NMN en el momento de la entrada de la onda de rotura, en el escenario de rotura sin avenida; o ii) desaguando la avenida circulante, en el escenario límite.

El efecto producido por el paso de la onda de rotura en el embalse de aguas abajo puede dar lugar a una de las dos situaciones siguientes:

- Que la sobreelevación que se produce en el embalse de aguas abajo no alcance la cota de coronación de la presa. En cuyo caso se considerará que no se produce rotura encadenada.
- Que el embalse de aguas abajo no pueda absorber la onda de rotura que le llega de la presa de aguas arriba, vertiendo sobre su coronación. En este caso debe considerarse que se produce la rotura encadenada de la presa de aguas abajo y modelizarse al efecto.

En general, si la rotura de una presa puede provocar la rotura de otras ubicadas 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 que se rompan como consecuencia de la rotura de la primera.

#### **2.4.2. Forma y dimensiones de la brecha. Tiempos de rotura**

El modo de rotura y la forma y evolución de la brecha dependen fundamentalmente de la tipología de presa. En general, en las presas de fábrica la rotura es prácticamente instantánea, y total o parcial; habitualmente es total en las presas arco y bóveda, y parcial, por bloques, en las presas de gravedad o contrafuertes. En cambio, en las presas de materiales sueltos, la rotura es progresiva en el tiempo, y puede ser total o parcial dependiendo del volumen de embalse y de la zonificación del cuerpo de presa.

Además de la tipología, la forma y desarrollo particular de la brecha dependen de otros muchos factores, como el modo de fallo que la origine, la geometría de la cerrada, las características del cimiento y de los materiales que conforman la presa, y el proceso constructivo.

Así pues, en el estudio de casos de rotura de presas de fábrica ubicadas sobre cimientos de poca capacidad portante se observan brechas que se extienden a prácticamente toda la longitud de coronación. También se aprecian diferencias en las roturas de presas de hormigón compactado con rodillo, en las que el tamaño y conformación de los bloques no es asimilable al de las presas de hormigón convencional; o en las presas de mampostería, que no los tienen y en las que la fábrica es más vulnerable a la erosión.

Igualmente, en relación a las presas de materiales sueltos se observan diferencias en los casos históricos de rotura, comprobándose que las brechas se han desarrollado de manera diferente y con distinta extensión dependiendo de la configuración del elemento impermeable, de si predominaban los materiales granulares o cohesivos en el cuerpo de presa, y de si la rotura derivaba de un vertido sobre coronación o de un problema de tubificación.

Por todo ello, aunque a continuación se propone una formulación básica para la determinación de la forma y desarrollo de la brecha, en los casos en que existan dudas sobre la clasificación final, se recomienda la realización de un análisis de sensibilidad y la aplicación del juicio ingenieril

para la selección de los parámetros que se juzguen más adecuados en función de las características particulares de cada caso.

Los criterios básicos para la estimación de la forma, dimensiones y tiempo de desarrollo de la brecha para los diferentes tipos de presas son:

#### A) Presas de fábrica

- Presas arco y bóveda:
  - Tiempo de rotura: 5 a 10 minutos.
  - Forma y dimensiones la brecha: rotura completa, siguiendo la forma de la cerrada, admitiéndose la geometrización trapecial.
- Presas de gravedad y contrafuertes:
  - Tiempo de rotura: 10 a 15 minutos.
  - Forma y dimensiones de la brecha: rectangular (o trapecial dependiendo de la morfología de la cerrada).
  - Profundidad de la brecha: hasta el contacto con el cauce en el pie.
  - Ancho: el mayor de los dos valores siguientes:
    - 1/3 de la longitud de coronación.
    - 3 bloques de construcción.

En presas de fábrica de mampostería debe considerarse que el ancho de la brecha puede abarcar toda la cerrada, admitiéndose en ese caso su geometrización trapecial.

#### B) Presas de materiales sueltos

- Tiempo de rotura (T, en h): a efectos de clasificación se define como tiempo de rotura de la presa el tiempo de desarrollo de la brecha, que es el tiempo que transcurre desde que se ha iniciado la brecha (o tubificación) hasta que ésta llega a su sección final. En este tiempo se produce la erosión y arrastre de material que dan lugar al agrandamiento progresivo de la rotura. Puede determinarse mediante las siguientes fórmulas:

$$T = 4,8 \frac{\sqrt{V}}{H} \quad (\text{Guía Técnica para Clasificación, 1996})$$

Donde V es el volumen de embalse (en  $\text{hm}^3$ ) y H la altura de presa sobre el cauce (en m). Para la aplicación de esta fórmula, debe considerarse que V es el volumen de agua almacenado en el embalse en el momento de la rotura.

$$T = 5,62 \frac{\sqrt{V_w}}{H_b} \text{ (Froehlich, 2008)<sup>1</sup>}$$

Siendo  $V_w$  el volumen de agua almacenado en el embalse en el momento de la rotura (en  $\text{hm}^3$ ) y  $H_b$  la altura de la brecha (en m). A efectos de la aplicación de esta fórmula se considerará que la altura de la brecha es igual a la altura de la presa sobre el cauce ( $H_b=H$ ).

La fórmula de Froehlich, de desarrollo más reciente, se basa en el estudio de 74 casos de roturas documentadas de presas de materiales sueltos y da valores del tiempo de rotura ligeramente mayores que los de la fórmula de la Guía Técnica para Clasificación de 1996.

- Forma de la brecha: trapecial. De manera genérica se considerará que los taludes laterales de la brecha son 1H/1V. Si bien, en base a la experiencia de roturas documentadas, se conoce que este parámetro puede variar desde el citado 1H/1V en materiales no cohesivos hasta 0,33H/1V en materiales cohesivos.
- Profundidad de la brecha: hasta el contacto con el cauce.
- Ancho medio de la brecha (b, en m): puede determinarse mediante las siguientes fórmulas.

$$b = 20 (VH)^{0,25} \quad \text{(Guía Técnica para Clasificación, 1996)}$$

Siendo  $V$  el volumen de embalse (en  $\text{hm}^3$ ) y  $H$  la altura de presa sobre el cauce (en m). A efectos de aplicación de esta fórmula, se considerará que  $V$  es el volumen de agua almacenado en el embalse en el momento de la rotura.

$$b = 22,46 K_0 V_w^{0,32} H_b^{0,04} \quad \text{(Froehlich, 2008)}$$

Donde  $K_0$  es un coeficiente que depende de la causa que origina la rotura de la presa ( $K_0=1,3$  para roturas por sobrevertido y  $K_0=1$  para el resto de roturas),  $V_w$  es el volumen de agua almacenado en el embalse en el momento de la rotura (en  $\text{hm}^3$ ) y  $H_b$  la altura de la brecha (en m). En la aplicación de esta fórmula se utilizará  $K_0=1$  para el análisis del escenario sin avenida y  $K_0=1,3$  para el escenario límite y para el análisis de la rotura encadenada de presas de materiales sueltos situadas aguas abajo de la de estudio; y se considerará que la altura de la brecha es igual a la altura de la presa sobre el cauce ( $H_b=H$ ).

$$b = H_b \left[ 0,787 \left( \frac{H}{15} \right)^{0,133} \left( \frac{V_w^{1/3}}{H_b} \right)^{0,652} e^B \right] \text{ (Xu & Zhang, 2009)<sup>2</sup>}$$

---

<sup>1</sup> Froehlich D.C. (2008), Embankment dam breach parameters and their uncertainties, ASCE Journal of Hydraulic Engineering, 134(12): 1708-1721.

<sup>2</sup> Xu Y. & Zhang L.M. (2009), Breaching parameters for earth and rockfill dams, ASCE Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 135(12):1957-1970.

Donde  $H_b$  es la altura de la brecha (en m),  $H$  es la altura de la presa sobre el cauce (en m) (ambas pueden considerarse iguales ( $H_b=H$ ) a efectos de aplicación de esta fórmula),  $V_w^*$  es el volumen de agua almacenado en el embalse en el momento de la rotura (en  $m^3$ ),  $H_w$  es la altura desde la lámina de agua hasta el fondo de la brecha en el momento de inicio de la misma (en m) y  $B$  un coeficiente que depende de: la tipología de presa, la causa que origina la rotura y la erodibilidad del cuerpo de presa. El valor de  $B$  se puede determinar a partir de la expresión siguiente:

$$B = B_T + B_C + B_E$$

$B_T$  es un coeficiente que depende del tipo de presa:

$B_T = -0,041$  para presas de núcleo impermeable.

$B_T = 0,026$  para presas de pantalla.

$B_T = -0,226$  para presas homogéneas

$B_C$  es un coeficiente que depende de la causa que origina la rotura de la presa:

$B_C = 0,149$  para roturas por sobrevertido.

$B_C = -0,389$  para roturas por erosión interna o sifonamiento.

$B_E$  es un coeficiente que depende de la erodibilidad, siendo:

$B_E = 0,291$  para presas de erodibilidad alta.

$B_E = -0,140$  para presas de erodibilidad media.

$B_E = -0,391$  para presas de erodibilidad baja.

De los tres parámetros el que tiene más influencia sobre el ancho que puede alcanzar la brecha es la erodibilidad. Esta característica depende básicamente del material, grado de compactación y geometría de la presa. De manera orientativa se puede considerar que: las presas de pantalla tendrán erodibilidad alta, que las presas con núcleo delgado o medio tendrán erodibilidad media, y que las presas con núcleo grueso u homogéneas tendrán erodibilidad baja. Se aumentará un grado la erodibilidad si las presas no han sido compactadas adecuadamente (o se duda del proceso constructivo seguido) o si en el material impermeable que las constituye predominan los limos.

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.

Se podrán utilizar otros modelos de rotura justificando adecuadamente en la propuesta su idoneidad.

### 2.4.3. Datos básicos para el estudio de la propagación de la onda de avenida

#### 2.4.3.1. Características geométricas del cauce aguas abajo. Modelos digitales del terreno

Los modelos hidráulicos generalmente empleados para el estudio de la propagación de la onda de rotura requieren para su aplicación un modelo digital del terreno (MDT) que defina el relieve de la zona potencialmente inundable aguas abajo.

Dichos modelos se obtienen de forma habitual mediante la aplicación de tecnología LIDAR (Light Detection and Ranging), basada en los datos proporcionados por un sensor instalado en un avión, helicóptero o dron, que emite pulsos láser registrando el tiempo que tardan en llegar a la superficie y volver al aparato.

Como norma general, para la elaboración de este MDT se tomarán como base de partida los modelos digitales de elevaciones (MDE) elaborados por el Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG) del Instituto Geográfico Nacional, en el marco del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA), cuyo objetivo es la obtención de fotografías aéreas ortorrectificadas y modelos digitales de elevaciones de alta precisión de todo el territorio español.

En la página web del Centro de Descargas del CNIG: <https://centrodedescargas.cnig.es>, existen diversos modelos digitales (de elevaciones, de superficies y del terreno), que difieren en la fecha de realización y en las dimensiones del paso de malla. Algunos de los que se utilizan habitualmente para la clasificación de presas son:

- Datos LiDAR 1<sup>a</sup> Cobertura (2008-2015): con una densidad de puntos de 0,5 puntos/m<sup>2</sup>. Disponibles para todo el territorio nacional.
- Modelo Digital del Terreno – MDT02: con un paso de malla de 2 m. No disponible para todo el territorio nacional. Elaborado a partir de la 2<sup>a</sup> Cobertura de datos LiDAR (2015-actualidad).
- Modelo Digital del Terreno – MDT05: con un paso de malla de 5 m. Disponible para todo el territorio nacional.

El empleo de modelos digitales del terreno en el proceso de clasificación de presas cuenta con indudables ventajas como su facilidad de empleo en la modelización hidráulica o su mayor versatilidad a la hora de analizar y visualizar los resultados obtenidos.

Sin embargo, también presenta inconvenientes como la ausencia de información topográfica o la poca fiabilidad de los modelos sin procesar en zonas de vegetación muy densa en las que pueden existir puntos con cota superior a la real del terreno. Por ello, los modelos digitales de elevaciones (MDE) antes relacionados deben ser convenientemente depurados y revisados para garantizar que todos los elementos que pueden condicionar la clasificación de la presa se encuentran correctamente identificados y representados. En esta tarea puede ser de gran

utilidad, además del trabajo de campo, el empleo de las ortofotos del PNOA de máxima actualidad de la zona de estudio.

Para la elaboración del MDT de la zona potencialmente inundable aguas abajo de la presa objeto de clasificación, por lo general, se empleará el modelo más actual y que ofrezca una mejor definición del relieve. A fecha de publicación de esta Guía Técnica es preferible el uso del MDT02 y, si éste no estuviera disponible, los datos LiDAR 1<sup>a</sup> Cobertura (2008-2015).

La utilización del MDT05, de menor resolución, únicamente estará justificada en aquellos casos en los que la clasificación de la presa se pueda deducir de la mera aplicación del juicio ingenieril y los modelos hidráulicos no tengan otra finalidad que corroborar la evaluación inicial efectuada. Esto ocurrirá, por ejemplo, cuando no existan elementos susceptibles de ser dañados en la zona potencialmente inundada por la onda de rotura, o cuando sea previsible que los calados en las afecciones potenciales sean significativos (> 1 m).

En cualquier caso, en el texto de la propuesta se especificarán las características del MDT empleado en el modelo hidráulico y se expondrá brevemente el proceso de depuración y revisión que se haya efectuado.

En el caso de que finalmente se proponga que la presa sea clasificada en la categoría C, deberá justificarse debidamente que se cumplen las condiciones especificadas en el punto 2.3 del presente capítulo sobre la no existencia de afecciones graves. Para ello podrá ser necesario complementar el MDT con la información obtenida mediante la realización de trabajos topográficos de detalle, de forma que se determine con precisión las dimensiones y cotas de las afecciones potenciales (edificaciones, obras de paso, infraestructuras, etc.).

#### 2.4.3.2. *Rugosidad*

En los modelos hidráulicos debe introducirse como dato de partida los valores del coeficiente de rugosidad o rozamiento de los terrenos de cauce y márgenes contenidos en la zona inundable por la rotura de la presa. Dichos valores dependen de un buen número de factores, como: rugosidad de la superficie, vegetación, irregularidades del cauce, sinuosidad del cauce, erosión y sedimentación, obstrucciones, tamaño y forma del cauce, sólidos en suspensión, etc.

En primer término, los tipos de cobertura del suelo en la zona de estudio se pueden identificar empleando la información contenida en el Sistema de Información sobre Ocupación del Suelo de España (SIOSE), cuyo objetivo es integrar la información de las bases de datos de coberturas y usos del suelo de las Comunidades Autónomas y de la Administración General del Estado. El SIOSE se enmarca dentro del Plan Nacional de Observación del Territorio en España (PNOT), que coordina y gestiona el Instituto Geográfico Nacional (IGN) y el Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG).

Esta información está disponible en formato shapefile (.shp), y también se puede descargar libremente en la página web del referido Centro de Descargas del CNIG: <https://centrodedescargas.cnig.es>

En todo caso, la identificación inicial de cada zona se comprobará mediante el análisis de las ortofotos disponibles en el PNOA y, si fuese necesario, mediante reconocimiento directo sobre el terreno.

Una vez identificadas las distintas coberturas del terreno, los valores del coeficiente de rozamiento se podrán obtener de la bibliografía disponible, como por ejemplo las conocidas tablas de Ven Te Chow, incluidas en su publicación *Open Channel Hydraulics*.

Si se ha empleado la capa de cultivos y aprovechamientos del SIOSE para identificar las coberturas del terreno, resulta muy útil el empleo de la tabla nº 1 del Anejo V de la *Guía Metodológica para el desarrollo del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables*, editada en el año 2011 por el entonces Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino (en adelante Guía Metodológica del SNCZI). En dicha tabla se relacionan los valores del coeficiente de rugosidad de Manning en función de las diversas coberturas del suelo clasificadas en el SIOSE y en el CORINE Land Cover (antecedente del SIOSE).

#### 2.4.3.3. *Obstrucciones en el cauce y fenómenos locales*

A partir del análisis de la geometría del valle y de las comprobaciones sobre el terreno que se realicen, 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 y de puentes. 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.

Únicamente se considerará significativa la incidencia de la obstrucción en la onda cuando simultáneamente se presenten las dos circunstancias siguientes:

- Representa una obstrucción importante que, expresada como relación de superficies obstruidas y total del cauce atravesado, es superior al 20%.
- Su obstrucción crea un embalse temporal de magnitud relativa importante que, respecto al volumen de la onda de rotura de la presa, representa más del 5%.

En caso de no producirse alguna de estas circunstancias, podrá establecerse, en general, el régimen hidráulico sin considerar su existencia.

#### 2.4.4. *Estimación de daños aguas abajo*

La cartografía de las zonas de inundación potencial debe reflejar el estado actual de ocupación, principalmente en lo referente a viviendas, instalaciones en las que sea previsible la presencia de personas (industrias, locales comerciales, etc.) y servicios esenciales.

Las afecciones y daños potenciales se valorarán en función de las variables hidráulicas obtenidas en la modelación de la propagación de la onda de rotura, de acuerdo con los criterios expuestos en el punto 2.3 de esta Guía Técnica.

## **2.5. CLASIFICACIÓN DE LAS PRESAS**

---

### **2.5.1. Presas existentes**

Con base en los criterios expuestos en este Capítulo 2 y con los métodos que se exponen en el Capítulo 3, el titular de la presa dispone de herramientas suficientes para poder hacer una propuesta de clasificación.

Además, esta propuesta será, con los desarrollos y recomendaciones indicadas, lo más objetiva y consistente posible, lo que facilitará a la Administración competente y a las Entidades Colaboradoras efectuar su análisis para proponer su aprobación, tal y como indica la Directriz en su Art. 3.5.1.3 y la NTS1 en su Apartado 6.

Sin embargo, hay que señalar que, en ciertos casos y de acuerdo con los criterios señalados anteriormente, la clasificación en la categoría A se podrá deducir de la simple aplicación del juicio ingenieril, sin más ayuda que la consulta de los planos topográficos de la zona y de una eventual visita de campo. Esto ocurrirá por ejemplo cuando aguas abajo de la presa exista un núcleo urbano que claramente resultara afectado gravemente en el caso de que se produjera una posible rotura.

En los casos en que pueda existir alguna duda sobre esa afección, así como en los casos de presas que previsiblemente vayan a resultar clasificadas en categoría C por no existir aguas abajo de ellas viviendas u otros bienes que pudieran suponer una elevación de la categoría, deberán realizarse estudios detallados de rotura. Con ello se comprobará la certeza de la afección (categorías A y B), o la nula afección en las de categoría C. En cualquier caso, siempre se documentará y justificará la propuesta que se realice.

### **2.5.2. Presas de nueva construcción**

El titular de una presa de nueva construcción deberá abordar el análisis que permita clasificarla según los criterios expuestos hasta ahora.

### **2.5.3. Revisión de la clasificación de presas ya clasificadas**

De acuerdo con la disposición transitoria primera del Real Decreto 264/2021, de 13 de abril, por el que se aprueban las Normas Técnicas de Seguridad para las presas y sus embalses, las presas que a la entrada en vigor del mismo (15 de abril de 2021) se encontrasen clasificadas en función del riesgo potencial derivado de su rotura o funcionamiento incorrecto, mantendrán dicha clasificación, si bien sus titulares estarán obligados a someter nuevamente a estudio la adecuación de la misma en un plazo máximo de cinco años para todas las categorías. Para ello, en las presas clasificadas en la categoría B o C, sus titulares remitirán a la Administración un informe técnico, elaborado por un técnico competente en materia de seguridad de presas y

embalses<sup>3</sup>, en el que se justifique que la presa sigue mereciendo la misma clasificación o que, por el contrario, la clasificación de la misma debe ser modificada.

En líneas generales, en el informe técnico se deben comprobar los siguientes extremos:

1. Existencia en la zona potencialmente inundable aguas abajo por la onda de rotura de la presa de algún elemento, construido con posterioridad a la fecha de redacción de la propuesta, susceptible de incrementar la categoría de la presa (edificaciones, vías de transporte, etc.). Esta comprobación se puede realizar sobre la ortofoto del PNOA de máxima actualidad. Como norma general deberá extenderse aguas abajo hasta el mismo punto que se considerase como límite del estudio en la propuesta de clasificación que sirvió de base en su momento para clasificar la presa, salvo que las condiciones para fijar el final del tramo analizado hayan cambiado (ver apartado 3.2 de esta Guía Técnica).
2. Posibles modificaciones en la calificación de los daños potenciales que se producirían en caso de rotura de la presa, teniendo en cuenta el criterio fijado en el Art. 9.2 del RDPH (Figura 1) para la evaluación de la gravedad de las afecciones. (ver punto 2.3 de esta Guía Técnica).
3. Influencia en la clasificación de la presa del nuevo escenario límite que se define en el Apartado 4.3 de la NTS1 (ver punto 2.4.1 de esta Guía Técnica).

Adicionalmente, el Art. 4.3 del citado Real Decreto 264/2021 impone la obligatoriedad a los titulares de pequeñas presas clasificadas en la categoría C de valorar cada cinco años si procede revisar su clasificación, atendiendo a nuevas condiciones de peligrosidad aguas abajo, y de comunicar a la Administración competente la conclusión de dicha valoración. En este caso, si las condiciones de la presa y embalse no se han modificado sustancialmente desde la última valoración realizada, bastará con realizar la comprobación 1 descrita más arriba.

Para esta valoración, el texto que debe remitirse a la Administración competente recogiendo las conclusiones de la valoración efectuada podría ser, a modo de ejemplo, como el siguiente:

*Una vez revisadas las condiciones de peligrosidad aguas abajo de la presa ......., se concluye que (SI/NO) procede revisar su clasificación ya que:*

- *(en caso positivo) Se ha(n) identificado uno o varios elementos de nueva construcción susceptible(s) de incrementar la categoría de la presa (describir brevemente y situar sobre ortofoto).*
- *(en caso negativo) No se ha identificado ningún elemento de nueva construcción susceptible de incrementar la categoría de la presa.*

---

<sup>3</sup> La Disposición adicional segunda del Real Decreto 264/2021, establece que el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, con la participación de los ministerios correspondientes, llevará a cabo, en el plazo máximo de dieciocho meses, el estudio necesario para determinar las titulaciones académicas que capacitan para desempeñar las actividades y funciones de carácter técnico establecidas en las Normas Técnicas de Seguridad de presas y sus embalses (Anexos I, II y III del Real Decreto)

## **CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA**

### 3.1. INTRODUCCIÓN

---

Se expone en el presente capítulo la metodología general de análisis recomendada para el desarrollo de la propuesta de clasificación de las presas en función del riesgo potencial.

En la actualidad existen diferentes métodos de mayor o menor complejidad para el estudio de la formación y propagación de la onda de avenida provocada por la rotura de presas, desde los más precisos y completos, que implican la utilización de modelos hidráulicos bidimensionales en régimen variable, hasta los más sencillos, basados en la mera aplicación de gráficos que relacionan las variables hidráulicas entre sí. En un nivel intermedio podríamos situar los modelos hidráulicos unidimensionales en régimen permanente o variable que, salvo casos muy particulares, no reflejan de modo adecuado el avance aguas abajo de la onda de rotura debido a que los desbordamientos que normalmente se producen incrementan el efecto de laminación a lo largo del cauce de forma considerable, introduciendo además corrientes de flujo transversal que los modelos unidimensionales no pueden tener en cuenta.

Hasta hace unos años, el empleo de métodos simplificados se justificaba por su mayor sencillez y rapidez del cálculo y por unos menores requerimientos de los equipos informáticos. Sin embargo, estos métodos tienen el importante inconveniente de su limitada exactitud, siendo necesario en algunos casos adoptar posturas demasiado conservadoras que pueden poner en duda la clasificación propuesta.

Hoy en día los métodos simplificados se han visto totalmente superados por el empleo de modelos hidráulicos, cuya evolución reciente ha sido notable hasta el punto de que, en el momento presente, está plenamente extendido el uso de modelos bidimensionales en régimen variable que cuentan con módulos específicos de rotura de presas.

Estos modelos emplean una malla de cálculo elaborada a partir del MDT comentado en el apartado 2.4.3.1 de esta Guía Técnica; de esta forma, se obtienen resultados en toda la superficie inundable y no sólo en algunas secciones, lo que permite identificar de manera mucho más eficaz las posibles zonas de riesgo en función de los valores en cada punto del calado y la velocidad.

Entre este tipo de modelos se puede mencionar el Iber, HEC-RAS o Infoworks, siendo los dos primeros de libre distribución.

En consecuencia, se puede afirmar que, salvo en casos muy particulares, hoy en día resulta casi obligado emplear este tipo de modelos para realizar los cálculos hidráulicos justificativos de una propuesta de clasificación.

Por último, conviene recordar que en la actualidad se están dando los primeros pasos en la construcción de sistemas de ayuda para la clasificación de presas y balsas en función del riesgo potencial que permiten optimizar diversos procesos mediante técnicas de Machine Learning (ML), Sistemas de Información Geográfica (GIS) y gestión de activos de infraestructuras mediante la metodología BIM (Building Information Modeling), si bien su utilización práctica todavía es limitada.

### 3.2. LÍMITE AGUAS ABAJO DEL ESTUDIO

---

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.

No obstante, existen situaciones que permiten acotar el límite del estudio, entre las que pueden señalarse las siguientes:

- Elemento afectado que conduce a la clasificación en la categoría A.
- Desembocadura del cauce en el mar.
- Entrada en un embalse capaz de laminar la onda de rotura hasta alcanzar un caudal máximo inferior a la capacidad del cauce aguas abajo.
- Alcanzar un caudal máximo inferior a la capacidad del cauce, sin producir inundaciones ni en las márgenes ni aguas abajo.
- No ocupación aguas abajo del punto por viviendas, servicios, bienes económicos o elementos con algún tipo de protección medioambiental o cultural.

El caudal que agota la capacidad del cauce aguas abajo puede asimilarse al asociado a la máxima crecida ordinaria ( $Q_{MCO}$ ) cuyo valor, a falta de estudios específicos, puede obtenerse de la aplicación CAUMAX del Mapa de Caudales Máximos, desarrollada por el CEDEX.

Igualmente, y en relación con la comprobación de las dos últimas situaciones, puede resultar de gran utilidad la información disponible en el visor del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables (<https://sig.mapama.gob.es/snczi>), en el que pueden consultarse los estudios de delimitación del dominio público hidráulico y de zonas inundables elaborados por el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, así como otros aportados por Comunidades Autónomas o por administraciones locales.

El límite del estudio en el análisis del escenario límite se podrá acotar en un punto donde el caudal punta de la avenida de la onda de rotura sea similar al de la avenida que provoca el referido escenario límite, de forma que los daños incrementales atribuibles a la rotura de la presa objeto de clasificación sean ya despreciables. De esta manera se evitará prolongar innecesariamente el análisis hasta alcanzar alguna de las situaciones antes indicadas.

### 3.3. ORDEN DE ANÁLISIS POR TIPO DE DAÑO

---

Se recomienda el siguiente orden de evaluación:

- 1º.- Afecciones a núcleos urbanos y número reducido de viviendas.
- 2º.- Afecciones a servicios esenciales.
- 3º.- Daños materiales.
- 4º.- Daños medioambientales, histórico-artísticos o culturales.

En el Apéndice que figura al final de esta Guía Técnica se incluyen unos modelos de tabla con los datos mínimos que deben incluirse en la propuesta para realizar el análisis por tipo de daño.

### 3.4. ESCENARIOS DE ROTURA. METODOLOGÍA GENERAL

---

Como se ha expuesto en el Capítulo 2, en general es necesario considerar dos escenarios extremos que corresponden, el primero, al caso de rotura en tiempo seco, sin coincidencia con avenidas y con el embalse situado en su NMN, y, el segundo, al caso de escenario límite. En este último escenario los riesgos potenciales atribuibles a la rotura se evalúan en función del incremento de daños potenciales que se presentan en dicho escenario respecto a los que se hubieran producido con el desagüe de la avenida considerada, en el supuesto de que la presa no existiese. La clasificación a asignar a la presa corresponde obviamente al escenario más desfavorable.

En términos generales, la metodología para establecer la clasificación de la presa se basa en el análisis de los efectos aguas abajo de los dos siguientes escenarios:

1. **Escenario sin avenida:** rotura de la presa en ausencia de avenida y con el embalse situado en su NMN. Siendo el NMN el máximo nivel de retención de agua que se alcanza en el embalse cuando todos los elementos mecánicos de los órganos de desagüe se encuentran cerrados.
2. **Escenario límite:** embalse en su NMN y desagüe de un hidrograma que pueda llenarlo hasta la coronación de la presa, manteniendo ésta todos sus elementos de desagüe abiertos, produciéndose a continuación la rotura de la presa.

Adicionalmente, deberá estudiarse la situación de avenida en régimen natural a efectos de cálculo de los daños incrementales que se describen más adelante. En dicha situación, se considerará el mismo hidrograma que en el escenario límite, pero sin tener en cuenta la existencia de la presa y, por tanto, su efecto laminador.

En función del caso concreto de que se trate, el análisis puede iniciarse bien con la evaluación de riesgos y asignación de categoría correspondiente al escenario sin avenida (si se prevén daños importantes), bien con el caso correspondiente al escenario límite (si se prevén daños reducidos).

De haber iniciado el trabajo a partir del escenario sin avenida, en el caso de derivarse la clasificación en la categoría A, esta será directamente adoptada.

Del mismo modo, en caso de haber iniciado el trabajo a partir del escenario límite, si la categoría que le corresponde, sin la deducción de los daños atribuibles a la avenida en régimen natural, es la C, esta será directamente adoptada.

En el caso de no darse ninguna de las dos situaciones anteriores, es preciso abordar el estudio según la metodología general, cuyo diagrama de bloques se presenta en la Figura 2.

Como se desprende de dicha figura, el proceso se inicia con el análisis del escenario sin avenida. Si en este escenario la categoría en la que queda clasificada la presa es la A, ésta será la categoría

asignada. Si, por contra, resulta una clasificación inferior, deberá comprobarse a continuación si la rotura de la presa objeto de clasificación provoca la rotura encadenada (efecto dominó) de otras presas situadas aguas abajo.

De no ser así, el proceso continuará con el análisis del escenario límite, comparando la clasificación que se deriva con la correspondiente al escenario sin avenida. Si en las dos situaciones la categoría es la misma (B o C), se asignará a la presa la categoría común. En caso contrario es preciso analizar la situación en el supuesto de avenida en régimen natural. Por comparación entre las situaciones de escenario límite y avenida en régimen natural, se pueden evaluar los efectos incrementales de la rotura y, por tanto, clasificar la presa.

A efectos de la evaluación de los daños a considerar, se tendrán únicamente en cuenta los incrementales, entendidos éstos como el incremento entre los que se producirían por efecto de la onda de rotura y los que se habrían producido sin la existencia de la presa.

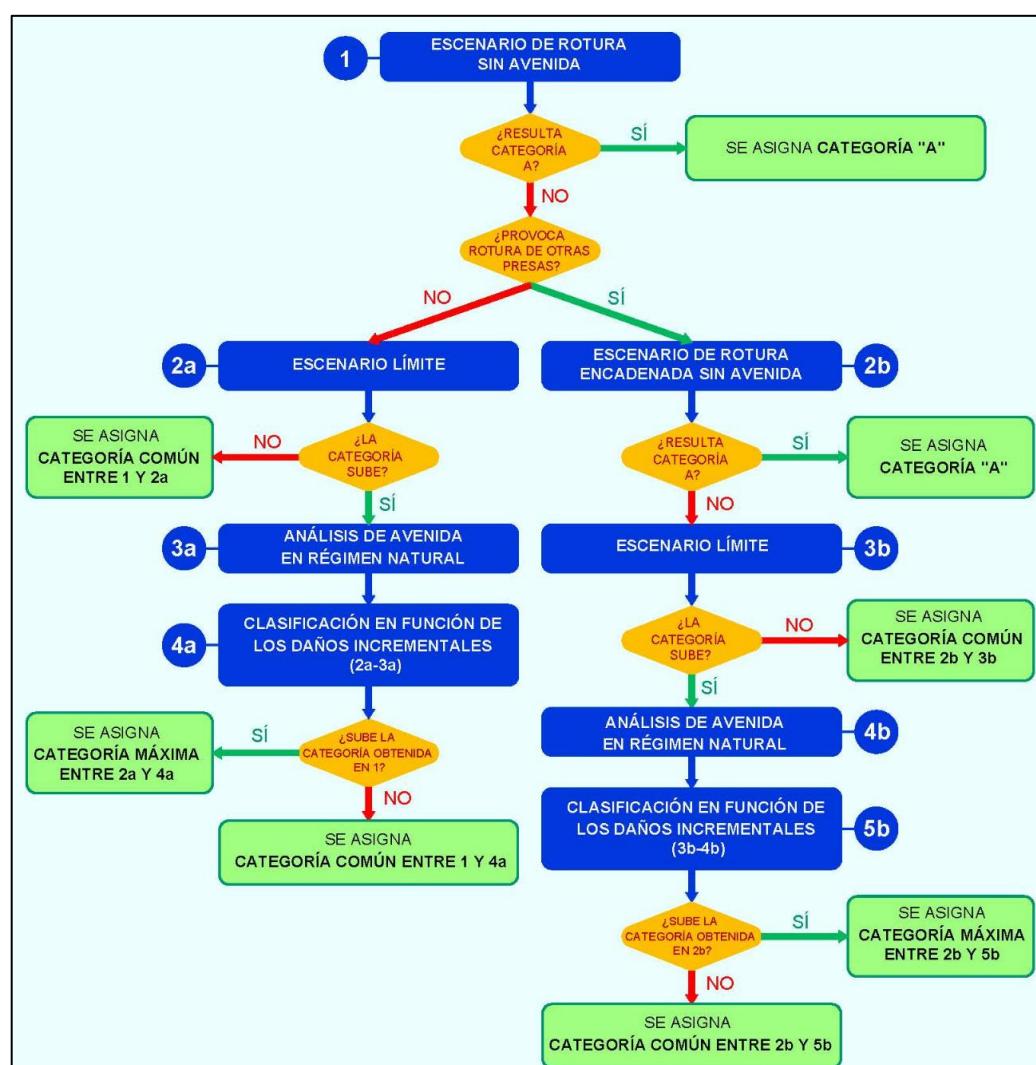


Figura 2. Proceso de clasificación

La clasificación final de la presa corresponderá a la mayor entre la asignada en el escenario sin avenida y la correspondiente a los efectos incrementales del escenario límite respecto al supuesto de avenida en régimen natural.

En el caso de que la presa objeto de clasificación provoque la rotura encadenada de otras presas situadas aguas abajo, el proceso continuará con el paso 2b del diagrama de la Figura 2 y, si procede, con los pasos que conlleva la consideración de los daños incrementales entre el escenario límite y la situación de avenida en régimen natural.

El proceso puede abordarse evaluando, en primer lugar, la rotura de las presas afectadas en escenario sin avenida como si éstas fueran independientes. Si alguna de las presas afectadas se catalogara como de categoría A, esto sería suficiente para proponer dicha categoría a la presa en estudio.

Si no es este el caso, deberá realizarse el análisis del escenario de rotura sin avenida para el conjunto de las presas, considerando, desde aguas arriba, las ondas de rotura que se van propagando y afectando a las presas sucesivamente. Para la realización de este estudio, se tendrá en cuenta que los embalses se encuentran llenos a cota de NMN a la llegada de la onda de rotura. Si en este escenario la categoría en la que queda clasificada la presa es la A, ésta será la categoría a asignar.

Si, tras dicho análisis, la categoría a asignar no es la A, se continuará con el estudio del escenario límite. En este último caso, las evaluaciones de daños se refieren, como en la rotura individual, a su aspecto incremental sobre los efectos de la propagación de las avenidas consideradas en su régimen natural, esto es, sin tener en cuenta el efecto laminador de las presas que rompen.

### **3.5. ESTUDIO DE LA INUNDACIÓN CONSECUENCIA DE LA ROTURA DE UNA PRESA**

---

El estudio de la propagación aguas abajo de la onda de avenida provocada por la rotura de la presa se llevará a cabo mediante el empleo de modelos hidráulicos de cálculo bidimensional en régimen variable, salvo en aquellos casos en los que la clasificación en la categoría A resulte obvia y pueda por tanto recurrirse al juicio ingenieril o a métodos más simplificados que sirvan para comprobar analíticamente la clasificación prevista y dotar de objetividad y consistencia a apreciaciones que pudieran ser subjetivas.

Los modelos bidimensionales reflejan las características reales del movimiento en régimen variable de la propagación de la onda de rotura, así como los posibles efectos de los estrechamientos en las secciones hidráulicas aguas abajo en la propagación aguas arriba del movimiento. Estos modelos permiten modelizar casos extremos donde existe un flujo bidimensional acusado y sea necesario estudiar con más detalle las condiciones de propagación de la onda (presencia de secciones altamente irregulares, valles muy sinuosos o existencia de cambios muy bruscos en las secciones o llanuras de inundación).

A continuación, se comentan algunos aspectos relacionados con los datos de partida que normalmente requieren este tipo de modelos.

### 3.5.1. Malla de cálculo

La malla de cálculo que se genere a partir del MDT deberá tener una resolución coherente con la de éste, al objeto de no perder definición en el relieve del terreno durante la modelización de la zona potencialmente inundable por la onda de rotura.

Así por ejemplo, si el MDT de partida tiene un paso de malla de 2 m, el tamaño mínimo de las aristas de los elementos de la malla será de ese mismo orden de magnitud. Por lo general, la tolerancia para generar aristas de mayor tamaño que la resolución mínima será de 25 cm.

La aplicación de otros valores en los parámetros utilizados para la elaboración de la malla (mayor tolerancia o tamaño mínimo de arista) deberá quedar suficientemente justificada en la propuesta de clasificación.

### 3.5.2. Modelización del embalse

El volumen de embalse movilizable en caso de rotura de presa es un parámetro muy importante del cálculo que determina las dimensiones de la brecha -en las presas de materiales sueltos- y el caudal máximo que se evacuará por ésta. Por lo tanto, el vaso del embalse creado por la presa deberá ser introducido en la malla de cálculo del modelo hidráulico para poder simular el vaciado del mismo como consecuencia de la rotura de la presa.

Por lo general, la modelización del vaso del embalse se realizará a partir de la cartografía de detalle que pueda estar disponible en el proyecto de construcción de la presa o en trabajos anteriores, o bien de levantamientos topográficos más recientes que incluyan un estudio batimétrico del embalse.

En el caso de no disponer de esta información, se recomienda proceder de la siguiente forma para caracterizar la geometría del embalse:

- Utilizar los datos de altimetría de los MDE referidos en el apartado 2.4.3.1 de la presente Guía Técnica. En tal caso, salvo en presas muy recientes, los datos de altimetría tan sólo estarán disponibles en la parte del embalse situada por encima del espejo del agua el día en que se realizó el vuelo LiDAR.
- Los volúmenes de embalse por debajo de la cota del espejo del agua en el momento del vuelo LiDAR se deberán obtener adoptando una hipótesis simplificada respecto de la geometría del vaso sumergido, con el apoyo del análisis de cartografía y ortofotos históricas en las que aparezca el embalse a distintos niveles.



Figura 3. Curvas de nivel elaboradas a partir de ortofotos históricas del PNOA

Con esta información se elaborarán unas curvas de nivel con las que se generará otro modelo digital del terreno (MDT-vaso sumergido) que comprenderá la geometría del vaso del embalse por debajo del espejo del agua.

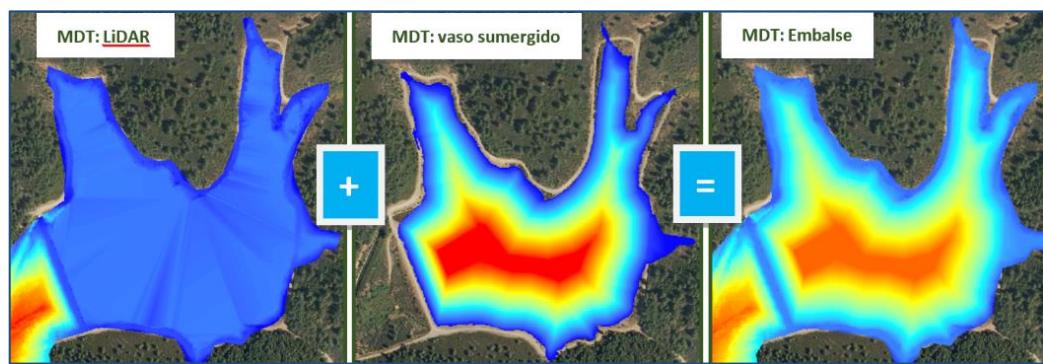


Figura 4. Elaboración del MDT del vaso de un embalse

### 3.5.3. Condiciones iniciales antes de la rotura

Los modelos hidráulicos requieren información acerca del estado inicial de los cauces y embalses. Esta situación inicial se puede definir estableciendo un calado en el cauce, previo a la simulación, cuyo valor puede ser fijo o variable a lo largo del tramo o tramos en estudio. Otra opción que generalmente ofrecen los programas para introducir una condición inicial del modelo es establecer una cota del agua inicial para todo el tramo o tramos de cauce en estudio o parte de los mismos.

Con respecto de la situación inicial del embalse objeto de clasificación, éste se encontrará lleno a NMN en el caso del escenario sin avenida, y a cota de coronación en el caso del escenario límite descrito en el apartado 2.4.1 de la presente Guía Técnica. Los embalses situados aguas abajo del que sea objeto de clasificación se encontrarán llenos a cota de NMN antes de iniciar la simulación.

En los cauces receptores de la onda de rotura también es necesario establecer unas condiciones iniciales, sobre todo cuando éstos son de cierta entidad y la hipótesis a analizar corresponde con el escenario límite (rotura coincidente con avenida). En este caso será necesario considerar que antes de que se produzca la rotura de la presa ya circula por ellos una determinada avenida cuya magnitud deberá justificarse en la propuesta.

En el escenario sin avenida, los caudales iniciales que se adopten en los cauces serán moderados, inferiores en todo caso a la máxima crecida ordinaria.

En el escenario límite debe considerarse un hidrograma de entrada al embalse que, estando éste a cota de NMN, pueda llenarlo a cota de coronación con todos los órganos de desagüe abiertos. Este hidrograma se obtendrá generalmente por aproximaciones sucesivas, tomando como punto de partida el hidrograma asociado a la avenida extrema. Se comienza el proceso realizando los cálculos de laminación de este hidrograma en las condiciones del escenario límite, que dará como resultado una cota final en el embalse que superará, o no, a la de coronación de la presa. A partir de aquí, se realizan tanteos con hidrogramas homotéticos al de la avenida extrema (mayores o menores, según el caso), hasta determinar el que cumpla las condiciones del escenario límite.

La avenida inicial a considerar en el tramo de cauce aguas abajo de la presa será la provocada por las sueltas de los órganos de desagüe de aquélla, con el embalse a cota de coronación (instante inmediatamente anterior a la rotura).

En el escenario de avenida en régimen natural, deben adoptarse las mismas avenidas que en el escenario límite, pero sin considerar la existencia de la presa.

#### **3.5.4. Condiciones de contorno**

En los modelos hidráulicos, los tramos de cauce se tratan como un contorno abierto con una entrada y una salida de flujo. El número de condiciones a imponer depende del régimen de flujo adoptado (rápido o lento). En los casos más generales es necesario imponer dos condiciones de contorno, una aguas arriba y otra aguas abajo del modelo.

La condición de contorno impuesta aguas arriba del modelo generalmente corresponderá con una entrada de caudal. Para el caso de los modelos hidráulicos realizados en el ámbito de una propuesta de clasificación habrá dos tipos de entrada:

1. Hidrograma correspondiente al escenario de situación límite aguas arriba del embalse objeto de clasificación.
2. Hidrograma o caudal constante a introducir por el cauce o cauces receptores de la onda de rotura.

La condición de contorno aguas abajo del modelo está representada habitualmente por la cota que alcanza la lámina de agua en una sección determinada. Dicha cota podrá definirse sin dificultad cuando se dé alguna de las circunstancias siguientes:

1. Desembocadura del cauce en el mar.
2. Calado conocido en alguna sección, impuesto por ejemplo por la existencia de un embalse.
3. Disponibilidad de datos fiables de niveles y caudales en la zona de estudio.
4. Régimen crítico en algún punto.

En el caso más habitual de no encontrarnos en ninguna de estas situaciones, se recomienda prolongar el modelo aguas abajo en una longitud suficiente para que la condición de contorno a establecer no afecte a los resultados del tramo en estudio. A esta ampliación en la extensión del modelo hidráulico se la denomina en la Guía Metodológica del SNCZI “longitud de acomodación”. En el apartado 7.6.1 de la referida guía se incluye una figura que relaciona la longitud de acomodación en régimen uniforme con la pendiente longitudinal del río. De acuerdo con esta figura, en cauces con pendientes comprendidas entre el 5 y el 7 %o será suficiente ampliar el tramo en estudio con una longitud de acomodación de unos 500 m, mientras que para valores de pendientes menores del 2 %o, la longitud de acomodación estaría comprendida entre los 2 y los 3 km.

### **3.5.5. Presencia de confluencias en la zona de estudio**

En el tramo a estudiar aguas abajo de la presa pueden existir confluencias con otros cauces de menor, similar o mayor entidad que el que recibe la onda de rotura.

En el caso de que un nuevo cauce se incorpore al que recibe la onda de rotura de la presa, se deberá introducir en el modelo un punto de entrada de caudal en la confluencia de ambas corrientes, siempre y cuando las dimensiones de la cuenca vertiente del cauce tributario lo justifiquen. En otras ocasiones, el cauce en el que se encuentra la presa desemboca en otro de mayor entidad que recibirá la onda de rotura y que, por tanto, deberá considerarse en el modelo hasta que se dé alguna de las situaciones consideradas en el apartado 3.2 de esta Guía Técnica.

En cualquier caso, las avenidas a considerar en el modelo para estos otros cauces se deberán justificar en el texto de la propuesta. Dichas avenidas serán por norma general de menor periodo de retorno que la que provoca la rotura de la presa.

## **CAPÍTULO 4. DOCUMENTOS QUE CONSTITUYEN LA PROPUESTA DE CLASIFICACIÓN**



#### **4.1. DOCUMENTOS A INCLUIR EN LA PROPUESTA DE CLASIFICACIÓN**

---

En la propuesta de clasificación se incluirá la siguiente información:

##### **A. PROPUESTA DE CLASIFICACIÓN**

Se incluirá la clasificación propuesta, atendiendo al doble criterio de sus dimensiones y al riesgo potencial derivado de su rotura o funcionamiento incorrecto.

Esta propuesta deberá ser suscrita por el titular o persona con poder suficiente.

##### **B. JUSTIFICACIÓN DE LA PROPUESTA**

La justificación de la propuesta se realizará mediante un estudio técnico elaborado por un técnico competente en materia de seguridad de presas y embalses que contendrá, como mínimo, la siguiente información:

###### **1. CARACTERÍSTICAS DE LA PRESA Y EMBALSE**

- a) Identificación de la presa y del titular.
  - Denominación de la presa y del embalse.
  - Titular (nombre y apellidos o razón social).
  - Datos del titular (NIF, domicilio, representante, correo electrónico, etc.).
- b) Situación de la presa.
  - Cauce y demarcación hidrográfica.
  - Término municipal, provincia y comunidad autónoma.
  - Coordenadas del centro de la presa UTM ETRS89 (indicar huso).
  - Plano de situación a escala 1:50.000.
- c) Características de la presa.
  - Tipología de la presa y del aliviadero.
  - Cotas de cauce, de vertedero (indicar cota umbral compuertas en su caso) y de coronación.
  - Altura de la presa.
  - Longitud de coronación.
  - Cota de NMN.
  - Órganos de desagüe.

- Curvas de gasto de los órganos de desagüe.
- d) Características del embalse.
  - Volúmenes de embalse a cotas de NMN y de coronación.
  - Aspectos singulares de explotación.

## 2. CARACTERÍSTICAS DEL CAUCE AGUAS ABAJO AFECTADO POR LA ONDA DE ROTURA

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.
- Cartografía utilizada para la clasificación.
- Tipología de la zona (núcleos urbanos, viviendas, zonas industriales y agrícolas, zonas y bienes protegidos, etc.).
- Descripción cualitativa de la zona.
- Presas existentes aguas abajo (de existir).

## 3. METODOLOGÍA Y DATOS BÁSICOS DEL ANÁLISIS

- a) Modelo hidráulico de propagación de la onda de rotura empleado y justificación de su empleo, con indicación específica del MDT utilizado.
- b) Características básicas del análisis.
  - Dimensiones de la brecha y justificación.
  - Tiempo de desarrollo de la brecha y justificación.
  - Hidrogramas de entrada al embalse y laminado, correspondientes a la avenida que genera el escenario límite.
  - Cartografía utilizada y justificación.
  - Rugosidad utilizada y justificación.
  - Condiciones iniciales y de contorno, y su justificación.
  - Modelización de las obstrucciones en el cauce y justificación.
  - Hipótesis analizadas y justificación.
  - Longitud de cauce analizada y justificación.
  - Características de la rotura de las presas situadas aguas abajo (en caso de rotura encadenada).

En caso de que no se sigan las recomendaciones indicadas en este documento, se efectuará una justificación documentada de la validez de la metodología propuesta.

## 4. RESULTADOS DEL ANÁLISIS

### 4.1. CLASIFICACIÓN EN FUNCION DE LAS DIMENSIONES

Se reflejarán las dos variables que determinan la clasificación de la presa en función de sus dimensiones:

- Altura de presa (Art. 357 del RDPh).
- Capacidad de embalse (apartado 2.1 de esta Guía Técnica).

### 4.2. CLASIFICACIÓN EN FUNCIÓN DEL RIESGO POTENCIAL

- a) Resultados parciales de la aplicación del procedimiento de clasificación.

Únicamente se incluirá la información que ha sido necesaria para la elaboración de la propuesta de clasificación concreta resultante.

La información a incluir es la siguiente:

- En el caso de clasificaciones obvias basadas en un juicio ingenieril, descripción de las características que hacen prever su clasificación en categoría A y justificación documentada de la categoría propuesta.
- Como procedimiento general, salvo los casos descritos en el párrafo anterior, deberán desarrollarse, en la medida que sean necesarios, los siguientes escenarios, empleando la metodología descrita en estas recomendaciones:
  - 1) Escenario sin avenida, con embalse a cota de NMN. Categoría asignada y justificación.
  - 2) Escenario límite. Análisis de los supuestos de rotura con la avenida que pueda llenar la presa hasta coronación, y de tránsito de dicha avenida sin la presa. Afecciones incrementales. Categoría asignada y justificación.

En los casos de presas en serie en un mismo río, análisis del escenario de rotura encadenada de presas. Categoría asignada y justificación.

Con los criterios y metodología expuesta en estas recomendaciones se formulará la propuesta de clasificación, en la que se recogerán, 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.

La justificación de la propuesta deberá contener, además del documento en formato pdf, toda la información relativa a los datos de partida, archivos del modelo hidráulico empleado y sus resultados en formato editable: MDT, coeficientes de rugosidad, extensión de las zonas inundables, ráster de calados y velocidades, etc.

## APÉNDICE

### MODELOS DE TABLA PARA EL ANÁLISIS DE AFECCIONES AGUAS ABAJO

*Clasificación de presas*

IDENTIFICACIÓN Y LOCALIZACIÓN DE LA AFECCIÓN POTENCIAL							RESULTADOS DEL MODELO HIDRÁULICO						CLASIFICACIÓN DEL DAÑO			
Nº	Denominación	Tipo de elemento afectado <sup>(1)</sup>	Distancia a la presa (km)	Cauce	Margen	Coordenadas UTM		Cota (msnm)	Caudal máximo (m <sup>3</sup> /s)	Cota máxima agua (msnm)	Tiempo llegada onda (h:mm)	Tiempo valores máximos (h:mm)	Calado máximo (m)	Velocidad máxima (m/s)	Grado de afección <sup>(2)</sup>	Nº viviendas afectadas
						X	Y									

**Tabla nº1. Modelo de tabla para el análisis de afecciones a núcleos urbanos y número reducido de viviendas**

<sup>(1)</sup> Se especificará si el elemento afectado corresponde con viviendas o con cualquier otro tipo de edificación o instalación en la que se pueda producir una pérdida no incidental de vidas humanas (áreas de acampada estables, oficinas y naves industriales, hospitales, centros educativos, comerciales, de culto, de eventos, etc.).

<sup>(2)</sup> Se indicará el grado de afección (grave o no grave) de acuerdo con el criterio establecido en el Art. 9.2 del RDPH (2.3.1 de la presente Guía Técnica).

IDENTIFICACIÓN Y LOCALIZACIÓN DE LA AFECCIÓN POTENCIAL							RESULTADOS DEL MODELO HIDRÁULICO						CLASIFICACIÓN DEL DAÑO		
Nº	Denominación	Tipo de elemento afectado <sup>(1)</sup>	Distancia a la presa (km)	Cauce	Margen	Coordenadas UTM		Cota (msnm)	Caudal máximo (m <sup>3</sup> /s)	Cota máxima agua (msnm)	Tiempo llegada onda (h:mm)	Tiempo valores máximos (h:mm)	Calado máximo (m)	Velocidad máxima (m/s)	Grado de afección <sup>(2)</sup>
						X	Y								

**Tabla nº2. Modelo de tabla para el análisis de afecciones a servicios esenciales**

<sup>(1)</sup> Se especificará si el elemento afectado corresponde con una infraestructura de abastecimiento o saneamiento, de suministro de energía, con un sistema sanitario, de comunicaciones o de transporte. Se tendrá en cuenta que la calificación como servicio esencial se asigna a aquellos indispensables para el desarrollo de actividades humanas y económicas de conjuntos de mayores de 10.000 habitantes, y siempre que el servicio que brinden no pueda restablecerse de manera inmediata ni prestarse de forma alternativa.

<sup>(2)</sup> Se indicará el grado de afección (grave o no grave) de acuerdo con el criterio establecido en el Art. 9.2 del RDPH (2.3.1 de la presente Guía Técnica).

IDENTIFICACIÓN Y LOCALIZACIÓN DE LA AFECCIÓN POTENCIAL							RESULTADOS DEL MODELO HIDRÁULICO						CLASIFICACIÓN DEL DAÑO					
Nº	Denominación	Tipo de elemento afectado <sup>(1)</sup>	Distancia a la presa (km)	Cauce	Margen	Coordenadas UTM		Cota (msnm)	Caudal máximo (m³/s)	Cota máxima agua (msnm)	Tiempo llegada onda (h:mm)	Tiempo valores máximos (h:mm)	Calado máximo (m)	Velocidad máxima (m/s)	Grado de afección <sup>(2)</sup>	Nº instalaciones afectadas <sup>(3)</sup>	Superficie de cultivo afectada <sup>(4)</sup>	Daños potenciales <sup>(5)</sup>
						X	Y											

Tabla nº3. Modelo de tabla para el análisis de los daños materiales ocasionados por la onda de rotura

<sup>(1)</sup> Se especificará si el elemento afectado corresponde con una industria o con una instalación de uso industrial o agropecuario, con áreas de cultivo (de secano o regadío) o una infraestructura de transporte (carretera o vía de ferrocarril).

<sup>(2)</sup> Se indicará el grado de afección (grave o no grave) de acuerdo con el criterio establecido en el Art. 9.2 del RDPH (2.3.1 de la presente Guía Técnica).

<sup>(3)</sup> Rellenar únicamente en caso de que el elemento afectado sea una industria o una instalación de uso industrial o agropecuario.

<sup>(4)</sup> Rellenar únicamente en caso de que el elemento afectado sea una zona de cultivo. Se deberá especificar si el cultivo es de secano o regadío.

<sup>(5)</sup> Los daños potenciales se clasificarán en moderados, importantes y muy importantes de acuerdo con los criterios indicados en el apartado 2.3.4 de la presente Guía Técnica.

IDENTIFICACIÓN Y LOCALIZACIÓN DE LA AFECCIÓN POTENCIAL							RESULTADOS DEL MODELO HIDRÁULICO						CLASIFICACIÓN DEL DAÑO				
Nº	Denominación	Tipo de elemento afectado <sup>(1)</sup>	Distancia a la presa (km)	Cauce	Margen	Coordenadas UTM		Cota (msnm)	Caudal máximo (m³/s)	Cota máxima agua (msnm)	Tiempo llegada onda (h:mm)	Tiempo valores máximos (h:mm)	Calado máximo (m)	Velocidad máxima (m/s)	Superficie afectada <sup>(2)</sup>	Grado de afección <sup>(3)</sup>	Evaluación del tipo de daños <sup>(4)</sup>
						X	Y										

**Tabla nº4. Modelo de tabla para el análisis de las afecciones a elementos medioambientales, histórico-artísticos o culturales**

<sup>(1)</sup> Se especificará la figura legal de protección del elemento potencialmente afectado y si ésta es de nivel estatal o autonómico.

<sup>(2)</sup> Rellenar únicamente en caso de que el elemento afectado sea territorio protegido.

<sup>(3)</sup> Se indicará el grado de afección (grave o no grave) de acuerdo con el criterio establecido en el Art. 9.2 del RDPH (2.3.1 de la presente Guía Técnica).

<sup>(4)</sup> Los daños se clasificarán en importantes o muy importantes de acuerdo con los criterios indicados en el apartado 2.3.5 de la presente Guía Técnica.