



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE AGRICULTURA Y PESCA,
ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE

CLASIFICACIÓN DE BALSAS

Revisión y aprobación de propuestas de clasificación

JORNADA "SEGURIDAD EN BALSAS DE RIEGO"

25 de octubre de 2017

Pablo Lucio Pérez Senderos

Jefe de Área de Supervisión de Proyecto

Subdirección General de Regadíos y
Economía del Agua

Dirección General de Desarrollo
Rural y Política Forestal

En el *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*, en su artículo 360 establece las competencias en materia de seguridad y señala que la **Administración General del Estado es competente en materia de seguridad en relación a las presas, embalses y balsas situados en el dominio público hidráulico en las demarcaciones hidrográficas intercomunitarias, así como cuando constituyan infraestructuras de interés general del Estado**, siempre que le corresponda su explotación.

Y en el artículo 362.- en su punto 2 señala que **en materia de seguridad de presas y embalses, corresponde a las administraciones públicas competentes aprobar la clasificación de las presas.**

Así mismo, el *Real Decreto 401/2012, de 17 de febrero, por el que se desarrolla la estructura orgánica básica del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente* se establece en el artículo 6, apartado j), que a **la Dirección General del Agua le corresponde la inspección y el control de la seguridad de las infraestructuras hidráulicas**.

Dentro de la Dirección General del Agua, en el Área de Seguridad de Infraestructuras y Explotación de la Subdirección General de Infraestructuras y Tecnología, se encargan de revisar las propuestas de clasificación de presas y balsas y de elevar las propuestas de resolución para que sean aprobadas por la citada Dirección General del Agua, que es el órgano competente a día de hoy para su aprobación.

ÍNDICE

- I. La posibilidad de rotura existe**
- II. Legislación**
- III. Criterios de clasificación de balsas**
 - ¿Qué balsas deben ser clasificadas?
 - Volumen movilizable
 - Categorías y criterios de clasificación
 - Guía Técnica
- IV. Metodología**
 - Escenarios de rotura
 - Tiempo de rotura y forma de la brecha
 - Condicionantes (cauce, límite del estudio, etc.)
 - Modelización propagación onda

En la presentación de hoy vamos a desarrollar los siguientes puntos

En el **apartado I** veremos algunas fotos de roturas de balsas

Pasaremos por encima del **apartado II** puesto que anteriormente lo ha desarrollado extensamente Juan Martín Morales, centrándonos únicamente en lo que afecta a la clasificación de presas

En el **apartado III** estableceremos qué balsas deben ser clasificadas, explicaremos algunas dudas que pueden surgir sobre conceptos como la altura o el volumen movilizable, los principales criterios de clasificación y comentaremos la Guía Técnica redactada por el Ministerio de medio Ambiente en el año 1995.

En el **apartado IV** entraremos en las variables y los parámetros y los métodos para la modelización y simulación de las avenidas causadas por rotura de diques y los conceptos en los que nos solemos fijar al analizar una clasificación.

¡La posibilidad de rotura existe!



Foto aérea de la balsa en Valverde de la Vera, que sufrió una fuga importante de agua a través de una fisura en el dique, ocurrida mientras reparaban una de las tuberías. El incidente en esta balsa, empleada para el abastecimiento de agua con una capacidad aproximada de 60.000 m³, ocurrió en julio de 2017.



Rotura por tubificación



Sifonamiento y asentamiento del dique en la balsa de Barlovento, en las Palmas de Gran Canaria

Legislación

- ❖ Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo de Inundaciones (febrero de 1995).
- ❖ Reglamento del Dominio Público Hidráulico (modificación de enero de 2008).
- ❖ Reglamento Técnico sobre Seguridad de Presas y Embalses (marzo de 1996).
- ❖ Guía Técnica para la clasificación de presas en función del riesgo potencial (noviembre 1996)
[Este texto no es una norma]

La **Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo de Inundaciones** señala ya en 1995 en su artículo 3.5 la necesidad de elaborar planes de emergencia en la previsión de proteger a las personas en caso de accidente por rotura o mal funcionamiento. Así mismo establecía que las presas se clasificaran en función de su riesgo potencial en A, B ó C.

El **Real Decreto 9/2008, de 11 de enero, por el que se modifica el Reglamento del Dominio Público Hidráulico**, en su artículo 360.- Competencias en materia de seguridad establece que:

1. La Administración General del Estado es competente en materia de seguridad en relación a las presas, embalses y balsas situados en el dominio público hidráulico en las demarcaciones hidrográficas intercomunitarias, así como cuando constituyan infraestructuras de interés general del Estado, siempre que le corresponda su explotación.
2. Las comunidades autónomas designarán a los órganos competentes en materia de seguridad en relación con las presas, embalses y balsas situados en el dominio público hidráulico cuya gestión les corresponda, y en todo caso en relación con las presas, embalses y balsas ubicados fuera del dominio público hidráulico.

Y en el artículo 362., en su punto 2 señala. En materia de seguridad de presas y embalses, **corresponde a las Administraciones Públicas competentes:**

- a) **Aprobar la clasificación de la presa.**

¿Qué balsas deben ser clasificadas?

Artículo 367 del RDPH. Obligaciones del titular

- $H > 5$ metros ó
- $\text{Vol} > 100.000 \text{ m}^3$

Obligación de los titulares de solicitar su clasificación y registro.

Artículo 357 del RDPH. Definiciones. Apartado d)

Altura de balsa (H):

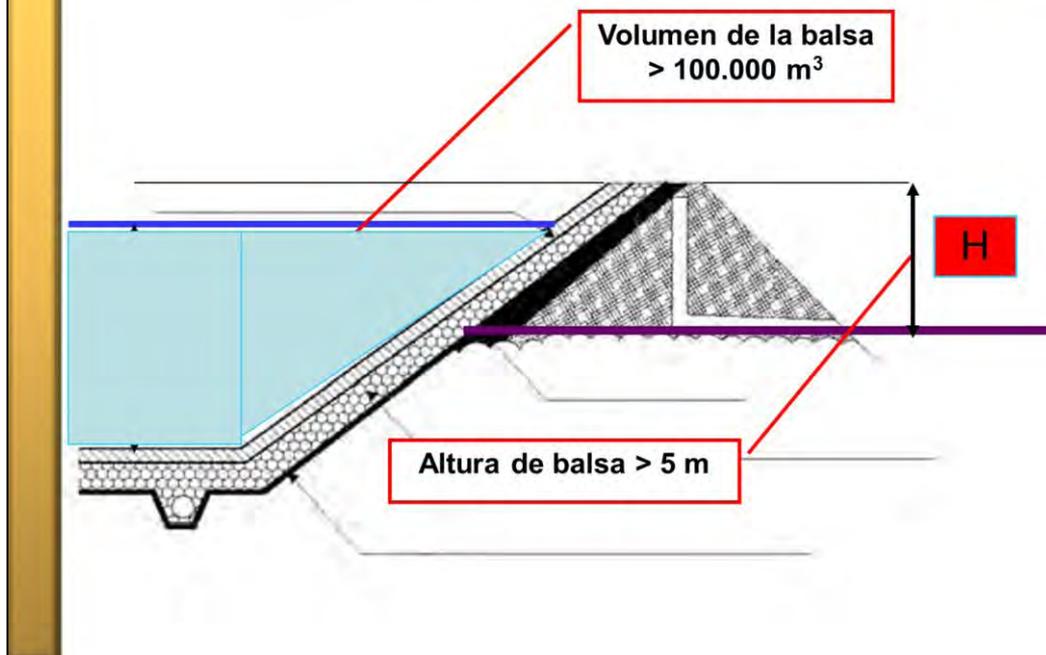
Diferencia de cota entre el punto más bajo de la cimentación del talud exterior del dique de cierre y el punto más alto de la estructura resistente.

El Real Decreto 9/2008, de 11 de enero, introdujo modificaciones en el Reglamento del Dominio Público Hidráulico, entre las que se incluía la **obligación de los titulares** de presas y **balsas de altura superior a 5 metros o de capacidad de embalse mayor de 100.000 m³**, de titularidad privada o pública, existentes, en construcción o que se vayan a construir, están obligados a solicitar su clasificación y registro (art. 367).

¿Cómo se define la altura de balsa?

Pues el real Decreto también la define claramente en el artículo 357 como **diferencia de cota entre el punto más bajo de la cimentación del talud exterior del dique de cierre y el punto más alto de la estructura resistente**. Pero se pueden tener dudas sobre el concepto de lo qué es el punto más bajo y cual es la estructura resistente. Porque lo que finalmente tenemos es un dique compuesto de tierras compactadas apoyadas sobre el terreno que también son tierras y el terreno en conjunto con el dique puede formar lo que estamos denominado estructura resistente.

¿Qué balsas deben ser clasificadas?

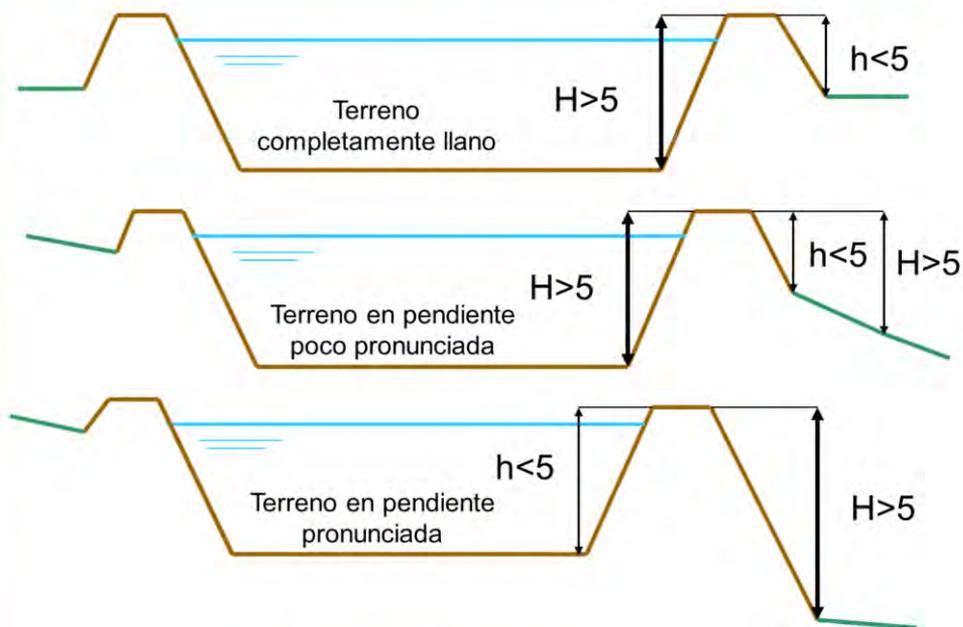


En esta figura podemos ver la definición de altura **H**. En la próxima diapositiva profundizaremos más en el asunto.

¿Y cómo definimos el volumen o capacidad de embalse?

En este caso el Real Decreto 9/2008 no presenta una definición clara de este concepto. Desde el Área de Seguridad de Infraestructuras se adoptó el criterio, en el caso de las balsas, de que la capacidad de embalse es el **volumen correspondiente al Máximo Nivel Normal o Máximo Nivel de Explotación**.

¿Qué balsas deben ser clasificadas?



Respecto a la determinación de la altura H , no debemos olvidar que se deben tener en cuenta las realidades de las balsas excavadas, o semiexcavadas, en función del terreno, horizontal o no, si puede romper el terreno o no, a la hora de medir la altura y el volumen. Debido a que las balsas son estructuras construidas mediante la acumulación de tierras sobre un terreno, se nos plantean la siguientes duda:

¿Dónde termina la estructura y donde empieza el terreno?

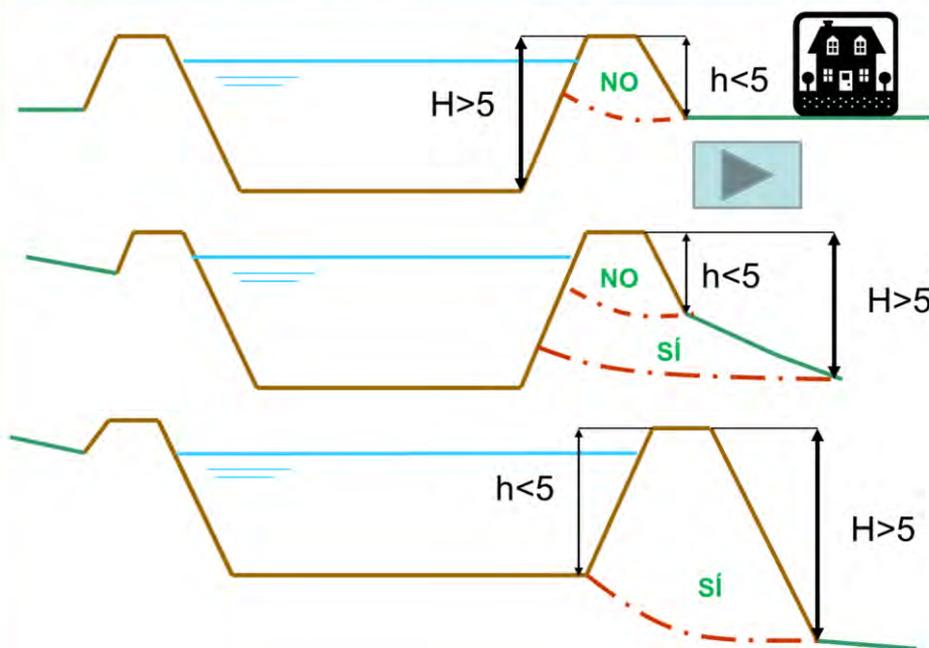
En las figuras podemos ver que se nos pueden presentar varios casos en función del terreno en el que hayamos construido nuestra balsa y que nos pueden generar dudas a la hora de determinar las alturas respecto a la clasificación.

En el primer caso queda claro que la balsa no ha de ser clasificada puesto que $h < 5$.

El segundo caso genera dudas pues ¿por dónde podría romper la balsa? ¿podría producirse un deslizamiento del terreno por debajo del dique?

En el tercer caso se observa que la balsa si ha de ser clasificada. La altura interior de la balsa es en menos $h < 5,0$ m, pero la exterior H , que es la que se define en el Real Decreto como altura de balsa, es mayor de $5,0$ m

¿Qué balsas deben ser clasificadas?



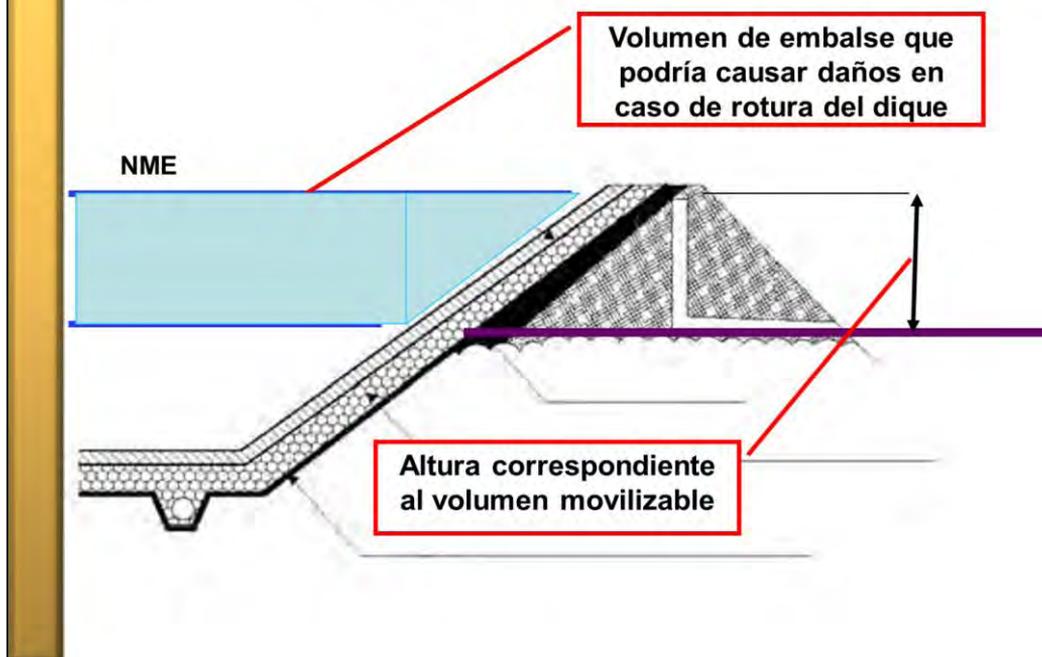
El **primer caso**, aplicando la legislación del Reglamento del Dominio Público Hidráulico, no debe ser clasificada, pues $h < 5$ m. ¿Pero que pasa si hay viviendas que se pueden ver afectadas por la rotura del dique? Aunque en este caso no es necesario presentar una propuesta de clasificación frente a la Administración, no se debe olvidar legislación como el Código Civil o el Código Penal. En caso de rotura y de que se produjeran afecciones aguas abajo, el titular podría tener una responsabilidad civil, e incluso penal en caso de que se produjeran muertes. Por ello, **los titulares de las balsas no deben olvidar sus obligaciones en materia de seguridad** aunque $h < 5$ m:

- 1.- Redacción de un proyecto de construcción.
- 2.- Ejecución correcta de las obras y control de calidad de la ejecución.
- 3.- Durante la fase de explotación disponer de medios humanos, materiales y equipos mecánicos necesarios para mantener y conservar las instalaciones y explotar adecuadamente las instalaciones.

En el **segundo caso** ¿Por donde rompería la balsa? Se deben estudiar todas las posibilidades de rotura, ya sea de la propia estructura o del terreno, y habría que considerar H, altura de balsa, incluyendo la parte de terreno por donde podría romper el conjunto formado por el dique y el terreno, puesto que no podemos desligar la parte de terreno que actúa reteniendo aguas de la estructura completa del dique.

El **tercer caso** no tiene duda, la altura de balsa sería H (mayúscula)

Volumen movilizable: concepto



Un concepto importante a la hora del cálculo de la avenida por rotura es el concepto de **volumen movilizable**. A efectos de aplicación a la rotura de balsas, solamente se computará el volumen de agua embalsada que se movilizaría en caso de fallo o rotura, siendo la altura a considerar la correspondiente a dicho volumen.

Pero nos pueden surgir dudas sobre qué volumen movilizable considerar:

- 1.- ¿Por dónde rompe la balsa?
- 2.- ¿Consideramos altura hasta nivel de coronación?

Estas dudas se resuelven en la diapositiva siguiente.

Volumen movilizable: dudas

¿Por dónde va a romper este dique?



¿Debemos considerar el volumen hasta cota de coronación?



Pero nos pueden surgir dudas sobre qué volumen movilizable considerar:

- 1.- ¿Por dónde rompe la balsa?
- 2.- ¿Consideramos altura hasta nivel de coronación?

Volumen movilizable: dudas



Si disponemos de un aliviadero en condiciones, que es prácticamente imposible que se atasque por plásticos o ramas caídas en la balsa, podremos considerar una altura de volumen movilizable que sería igual al Máximo Nivel de Explotación (MNE) más la altura provocada por las máximas aportaciones de lluvia (habitualmente de periodo de retorno de 500 años).

En caso de que tengamos un aliviadero que nos genere dudas sobre su posible atascamiento deberemos considerar altura de volumen movilizable hasta coronación.

Para evitar dudas al respecto, la práctica habitual a la hora de analizar el volumen movilizable, es considerar siempre el volumen que se generaría por el llenado de la balsa hasta coronación.

En algunos casos se presentan **balsas que no tiene aliviadero** ¿¿!!???. Hasta las bañeras y fregaderos de uso doméstico tienen aliviadero. Cuando no tengamos aliviadero, por supuesto, habrá que considerar altura hasta coronación.

Siempre surge la duda de que el titular de la balsa plantee que el tiene suficientes dispositivos para controlar el llenado de su balsa, y expresa que de ningún modo superará el MNE. Pero los accidentes ocurren y debemos estar siempre del lado de la seguridad. El criterio adoptado por la Subdirección General de Infraestructuras y Tecnología es que como práctica habitual el cálculo se haga con el nivel del agua hasta coronación.

Volumen movilizable: dudas



En esta foto vemos un aliviadero fácilmente atascable por la acumulación de ramas o por el desprendimiento de un trozo de la lámina impermeabilizante.

Volumen movilizable: dudas



El mismo aliviadero de antes, con la salida a desagüe mediante tubo.

Volumen movilizable: dudas



Este es un caso real de una balsa y su aliviadero (aunque surgen dudas de que pueda denominarse así)

¿Quién me demuestra a mí, con toda la vegetación que se intuye alrededor de la balsa, que este aliviadero no se va a atascar con unas ramas que arrastre el viento?

Volumen movilizable: dudas



Balsas unidas/separadas

- A efectos normativos ¿Las consideramos una única balsa?
- ¿Cuál sería el volumen movilizable?

A efectos normativos consideramos esta balsa como una única balsa. Si no podríamos evitar la norma construyendo muros que separasen nuestras balsas hasta conseguir balsas de menos de 100.000 m³ y no tener que cumplir la norma sobre clasificaciones y planes de emergencia.

Para el cálculo tendremos que considerar varios puntos de rotura. En unos casos quizá la rotura afecte a solo uno de los depósitos, pero se puede dar el caso de que la rotura afecte a los dos depósitos y habría que considerar el volumen movilizable conjunto.

Criterios de clasificación: categorías

CATEGORÍA A

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

CATEGORÍA B

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

CATEGORÍA C

Balsas cuya rotura o funcionamiento incorrecto puede producir daños materiales de **moderada importancia** y solo incidentalmente pérdida de vidas humanas.

Criterios de calificación CUALITATIVOS, no cuantifican.

El elemento primordial son las VIDAS HUMANAS

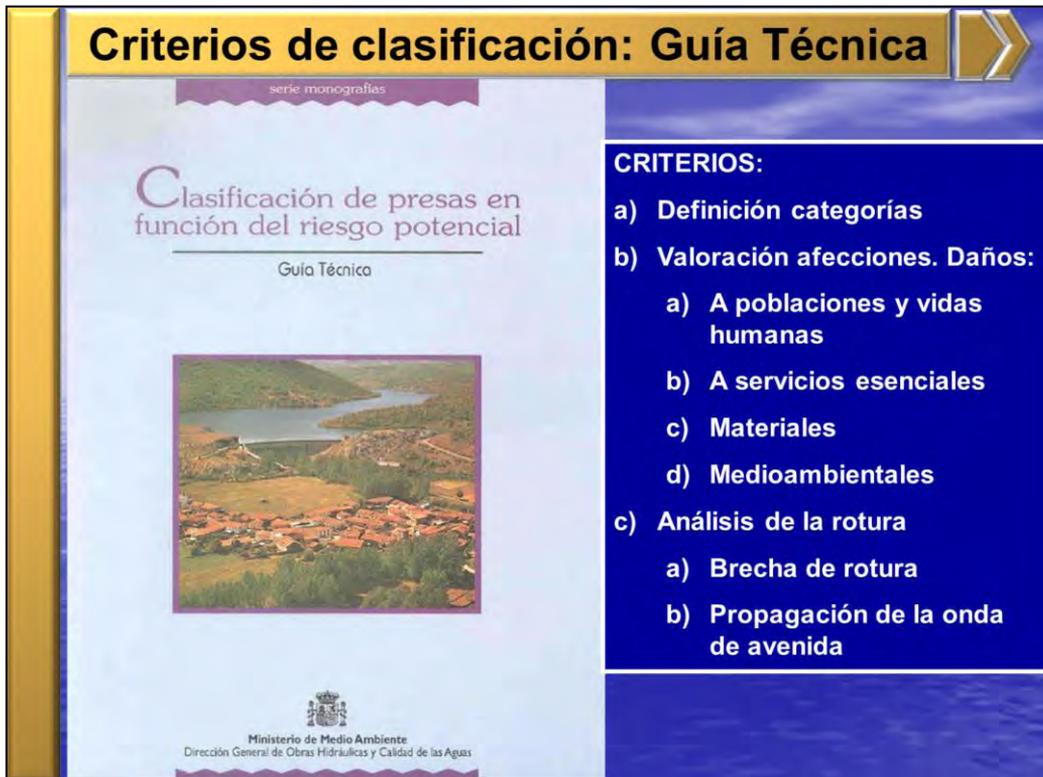
El artículo 358 del Reglamento del DPH sobre clasificación de las presas y embalses determina que las balsas se clasifican en las siguientes categorías en función del riesgo potencial que pueda derivarse de su posible rotura o funcionamiento incorrecto:

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

El elemento esencial para la clasificación es el relativo a la población y a las vidas humanas.

La Directriz y demás normativa define esta población en posible riesgo de una forma cualitativa, según la afección potencial sea de tipo grave a núcleos urbanos (categoría A), afecte a un número reducido de viviendas (categoría B) o pudiera afectar solo incidentalmente a vidas humanas (categoría C). Como consecuencia debe partirse de que el elemento primordial en la clasificación es la afección potencial a las vidas humanas, por lo que este es el primer aspecto que debe ser considerado en el proceso.

Criterios de clasificación: Guía Técnica



CRITERIOS:

- a) Definición categorías
- b) Valoración afecciones. Daños:
 - a) A poblaciones y vidas humanas
 - b) A servicios esenciales
 - c) Materiales
 - d) Medioambientales
- c) Análisis de la rotura
 - a) Brecha de rotura
 - b) Propagación de la onda de avenida

Los criterios de clasificación definidos en las distintas normas (Directriz Básica de Planificación de Protección Civil, el Reglamento Técnico sobre Seguridad, el Reglamento del DPH) son idénticos y tienen un carácter descriptivo general, por lo que el Ministerio de Medio Ambiente desarrollo la Guía Técnica para la Clasificación de Presas en Función del Riesgo Potencial. Con esta guía se pretendía dar un desarrollo a los criterios que permitiera emitir las Resoluciones de clasificación de presas con criterios más objetivos, de fácil aplicación y homogéneos para todas las presas. Se consideró también conveniente plantear con carácter orientativo una metodología general de aplicación que facilitase todo el proceso.

De aquí nacieron unos criterios que a día de hoy siguen vigentes y que siguen aplicándose para la determinación de las categorías de riesgo.

Pero desde aquel entonces, en el año 1996, las técnicas de modelización y simulación de eventos de rotura han avanzado sustancialmente, por lo que en algunos aspectos se ha quedado obsoleta.

Así mismo, las fórmulas planteadas en esta Guía se basan en el estudio de eventos ocurridos principalmente en grandes presas y que no tienen una aplicación tan clara en el caso de las balsas, que suelen por lo general poseer estructuras menos esbeltas. Además, las presas se encuentran ubicadas en un cauce y su cálculo está influido por el flujo hidráulico del río.

A pesar de todo ello, a día de hoy es el mejor instrumento “oficial” para intentar homogeneizar y tender hacia la objetividad de la clasificación de presas y balsas. En las siguientes diapositivas veremos algunos aspectos sobre la Guía, algunos de ellos

discutibles.

Criterios de clasificación: afecciones

Afección a núcleos urbanos (VIDAS HUMANAS):

a) Afección grave: afección a más de 5 viviendas habitadas y que represente riesgo en función del calado y velocidad del agua.

b) Afección a un número reducido de viviendas: cuando afecta entre 1 y 5 viviendas habitadas.

c) Pérdida incidental de vidas humanas: no se consideran a efectos de la clasificación.

Se considerará también grave la afección a áreas de acampada estables, zonas en que se produzcan habitualmente aglomeraciones, etc.

Criterios de clasificación en función de las afecciones:

En el caso de **viviendas o vidas humanas** estos son los casos en que consideramos las distintas categorías.

Categoría A afección a más de 5 viviendas

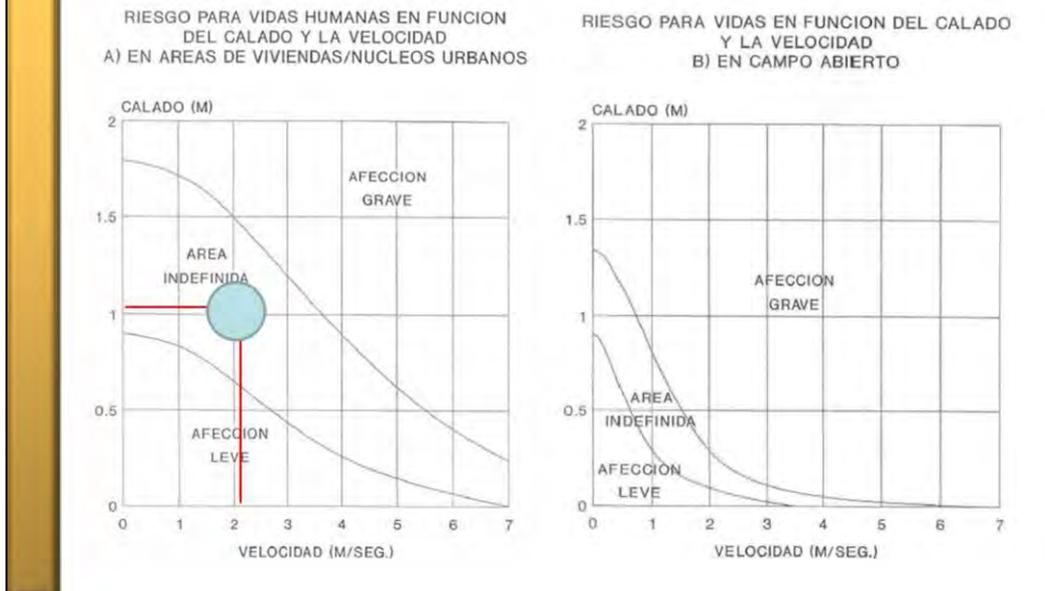
Categoría B afección a entre 1 y 5 viviendas

Categoría C pérdida incidental de vidas humanas

No debemos olvidar que una zona en la que se produzcan habitualmente aglomeraciones también debe ser considerada, como por ejemplo una zona recreativa, un merendero en el que todos los fines de semana se congregan familias, una zona de baño, etc.

Criterios de clasificación: afecciones

Gráficos afección en función del calado y la velocidad



¿Qué variables podemos emplear para calificar una afección como grave o leve?

Pues en nuestro caso, para analizar el potencial daño que pudiera producir una avenida, lo habitual es utilizar el **calado** en la zona afectada y la **velocidad** del agua.

En la Guía Técnica se incluyen dos gráficos en los que se muestran tres áreas de afección: leve, indefinida y grave. La primera figura se refiere a áreas habitadas y núcleos urbano, la segunda se refiere a zonas de campo abierto.

Estas figuras son un tanto confusas y no parece que sea un criterio aplicable de manera general. Veamos un ejemplo: si adoptamos en la primera figura un calado de 1,0 m y una velocidad del agua de 2,0 m/s, nos encontraríamos en la parte del gráfico en que la afección es indefinida, ni leve ni grave; la zona indefinida cubre una superficie amplia y parece que deja a criterio del redactor de la propuesta de clasificación el considerar el nivel de la afección. Pero yo no pondría la mano en el fuego de que un flujo hidráulico así no me arrastraría a mí mismo aguas abajo y ya no digamos a un niño o una persona de avanzada edad.

Yo personalmente soy más partidario de aplicar el artículo 9 del Reglamento del Dominio Público Hidráulico

Pasemos a la siguiente diapositiva para ver algún ejemplo

Criterios de clasificación: afecciones

Artículo 9 del RDPH.

Define la zona donde se pueden producir graves daños durante una avenida sobre las personas y los bienes cuando se cumpla alguna de estas condiciones:

- a) Que el calado sea superior a 1,0 m
- b) Que la velocidad sea superior a 1,0 m/s
- c) Que el producto de ambas variables sea superior a 0,5 m²/s



El artículo 9 del Reglamento del Dominio Público Hidráulico **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.
- c) Que el producto de ambas variables sea superior a 0,5 m²/s.

Podemos ver en la **fotografía** que el chico, con una altura de agua de aproximadamente 50 ó 60 cm se tiene que agarrar a la esquina de la casa para que no se lo lleve la avenida

Y vamos a ver un **video** de un autobús arrastrado por una avenida que no parece superar tampoco los 50 cm de altura y una velocidad de aproximadamente 3 m/s.

Criterios de clasificación: afecciones

Afección a SERVICIOS ESENCIALES:

(Aquellos de los que dependan al menos 10.000 habitantes y que no pueda ser reparado de forma inmediata):

- a) Abastecimiento y saneamiento
- b) Suministro de energía
- c) Sistema sanitario
- d) Sistema de comunicaciones
- e) Sistema de transportes

DAÑOS MATERIALES:

(Aquellos soportados por terceros cuantificables en términos económicos)

- a) Daños a la industria y a polígonos industriales
- b) Daños a las propiedades rústicas
- c) Daños a cultivos
- d) Daños a las infraestructuras

DAÑOS MEDIOAMBIENTALES:

(Bienes declarados de Interés Cultural, Parques Nacionales, Parques Naturales, especies protegidas, etc.)

¿Y qué consideraremos servicios esenciales?

Aquellos de los que dependan al menos 10.000 habitantes y que no puedan ser reparados de forma inmediata

Este extremo siempre se debe considerar de manera relativa y estudiar caso a caso. No hay una fórmula simple que se pueda aplicar directamente para tomar la decisión de si los daños serán graves o leves. Aquí habrá que atender al buen sentido común y a la experiencia del ingeniero que redacta la propuesta y del que la supervisa. Aún así, la guía nos aporta una tabla para facilitarnos la labor en la toma de decisión y que vemos en la siguiente diapositiva.

Criterios de clasificación: afecciones

CLASIFICACION DE LOS DAÑOS MATERIALES

ELEMENTO	DAÑOS POTENCIALES		
	MODERADOS	IMPORANTES	MUY IMPORTANTES
Industrias y polígonos industriales y propiedades rústicas ¹	n° de instalaciones < 10	10 < n° de instalaciones < 50	n° de instalaciones > 50
Cultivos de secano	Superficie < 3.000 Has	3.000Has < superficie < 10.000Has	Superficie > 10.000 Has
Cultivos de regadío	Superficie < 1.000 Has	1.000Has < superficie < 5.000Has	Superficie > 5.000 Has
Carretera		Red general de las CC.AA. u otras redes de importancia equivalente	Red general del estado y red básica de las CC.AA.
Ferrocarriles		ff.cc. vía estrecha	ff.cc. vía ancha y alta velocidad

¿Y cuál es el límite para considerar daños materiales moderados, importantes o muy importantes?

La Guía Técnica incluye una tabla orientativa para valorar los daños que se puedan producir en ferrocarriles, carreteras, cultivos, polígonos industriales.

Hay que entender el carácter orientativo de la tabla pues no es lo mismo tener plantados olivos que vides o cereales y los daños que puede aguantar cada cultivo en función del calado y la velocidad y la permanencia de la inundación. Lo mismo ocurre con las superficies de polígonos industriales que habla de manera genérica de “instalaciones”.

Respecto a las carreteras tenemos como regla general que una carretera nacional del estado con una alta IMD, una autovía, que se vea seriamente afectada, será categoría A ó B. En la red básica autonómica pues tenemos de todo, pues hay carreteras autonómicas calificadas como red básica que no soportan una alta IMD y si además los daños materiales no van a ser cuantiosos puede que la califiquemos como C. Como comentábamos antes, apelaremos al buen juicio ingenieril tanto del redactor como del supervisor de la propuesta.

La red ferroviaria de Alta Velocidad, que es un elemento muy sensible, cuando se ve afectada, clasificamos como A. El resto de la red ferroviaria será A, B ó C en función de frecuencias de trenes y viajeros y los daños producidos previstos en las estructuras.

Se debe estudiar caso a caso

Metodología: escenarios de rotura

a) Rotura sin avenida (H1). Nivel del embalse en su máximo nivel normal de explotación NMN.

b) Rotura en situación de avenida (H2). Nivel del embalse en coronación. (Situación de avenida para balsas: se considera que está entrando el máximo caudal de aportación por la obra de entrada, coincidente con las máximas precipitaciones esperadas).

c) Rotura encadenada
(No procede para balsas)

En general será suficiente considerar dos escenarios extremos, de los cuales:

El primero H1 corresponde al caso de rotura no coincidente con avenidas

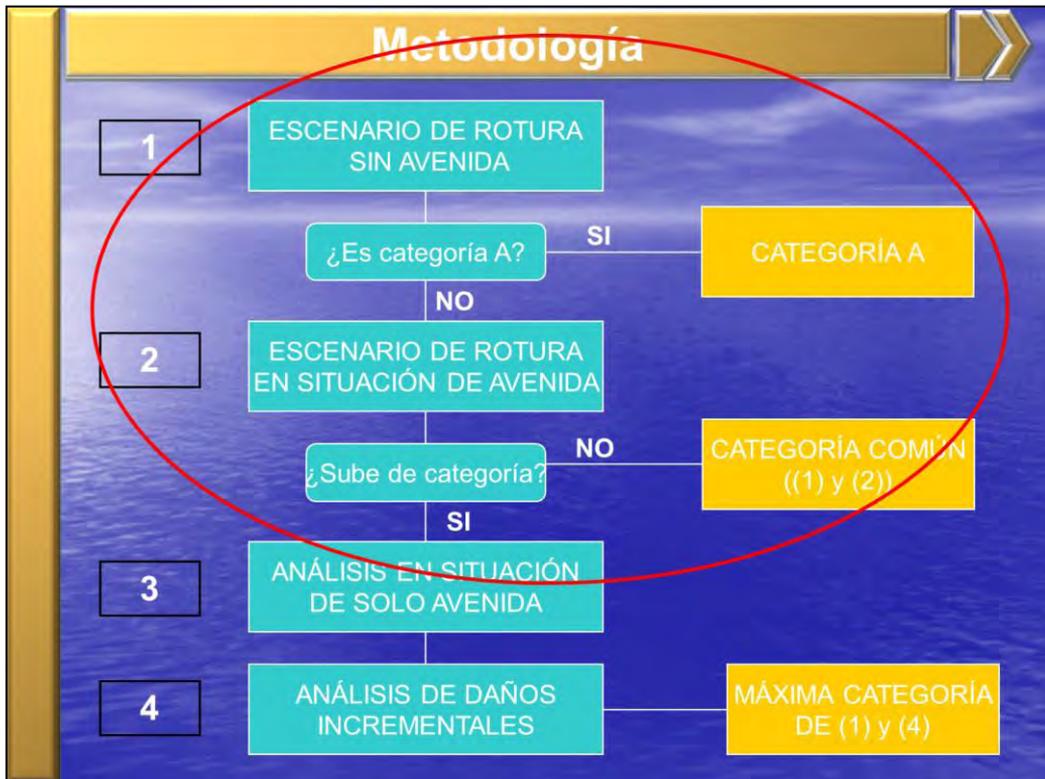
El segundo H2 se superpone la rotura a una situación de avenida. La situación de avenida considerada para el caso de una balsa será el correspondiente a la entrada máxima del caudal de aportación (ya sea un bombeo, un canal, una tubería de descarga, etc.) con las máximas precipitaciones esperadas.

En función de los riesgos, y de su valoración económica, habría que escoger un tiempo de periodo de retorno para el fenómeno tormentoso, pero lo habitual es tomar el correspondiente a un período de retorno de 500 años.

Con criterios conservadores, al primer escenario anterior se le hace corresponder la situación de la balsa llena hasta su máximo nivel normal de explotación, mientras que la situación de embalse en el segundo escenario se hace corresponder la balsa llena hasta la coronación del dique.

La **rotura encadenada de balsas** es un caso extraño que rara vez se presenta. En caso de darse, habría que calcular la avenida producida por la rotura encadenada. En la balsa de aguas arriba supondríamos los dos escenarios de rotura H1 y H2 (rotura con balsa a nivel normal y rotura en situación de avenida) calculándose las ondas de rotura y su propagación hasta la balsa de aguas abajo, que supondremos llena hasta su nivel normal de explotación.

Se pueden dar dos casos: que la balsa de abajo absorba la avenida producida por la rotura o que se desborden las aguas por coronación produciéndose también la rotura de la segunda. Habría que sumar el efecto de la avenida primera y los volúmenes de agua acumulados.



El esquema para obtener la categoría de clasificación es el que se muestra en la diapositiva.

Las etapas 3 y 4 son más propias de las clasificaciones de presas en que se deben comparar los resultados de la rotura con avenida con los daños producidos por la avenida ordinaria del río. Es lo que denominamos **daños incrementales**.



- 1.- Establecemos las hipótesis de rotura, H1 ó H2
- 2.- Cálculo de la forma de la brecha y sus dimensiones y los tiempos de rotura
- 3.- Selección de un modelos de evolución de la avenida y propagación de la onda
- 4.- Caracterización del cauce: topografía, rugosidad, fenómenos locales tipo puentes, carreteras, caños, pasos, etc.
- 5.- Establecer un límite del estudio a partir del cual suponemos que la avenida no causará daños importantes.
- 6.- Cálculo de la propagación de la onda lanzando el programa
- 7.- Obtención del cauce o la llanura de inundación
- 8.- Determinación de elementos afectados y estimación de daños en función del calado y la velocidad de la onda.
- 9.- Establecer categoría A, B ó C

Metodología: rotura del dique

Tiempo de rotura:

$$T \text{ (horas)} = 4,8 V^{0.5} (Hm^3) / h \text{ (m)}$$

Forma de rotura: Trapecial

- Profundidad de la brecha: hasta el contacto con el cauce en el pie del talud
- Ancho medio de la brecha: $b(m) = 20 (V(Hm^3) * h(m))^{0.25}$
- Taludes: 1:1 (H:V)



La Guía establece un tiempo de rotura y una forma de rotura cuyas fórmulas vemos en la diapositiva. La Guía no estudia un típico caso de rotura en balsas como puede ser la **rotura por tubificación** que incluso podría generar condiciones más desfavorables que una rotura en brecha.

Las fórmulas, como podemos observar, son “números gordos”, basados en experiencias de grandes presas, que tienen en cuenta solo las variables de la altura de presa y el volumen embalsado. Se echa en falta un análisis más profundo en este aspecto pues habría que tener en cuenta **factores tan importantes como los materiales que componen el dique** y su forma constructiva. Pero a día de hoy es el único documento técnico “oficial” del que disponemos. También podemos afirmar que estos son unos parámetros conservadores y que nos dan una fiabilidad frente a las medidas preventivas frente a posibles riesgos.

Existen programas que modelizan la forma de rotura y los caudales generados. Nos encontramos casos en que estos programas ofrecen valores que no parecen muy fiables. Por ejemplo, casos modelizados con estos programas en que una brecha con una superficie de 400 m² está evacuando un caudal de 133 m³/s, lo cual supondría una velocidad media de la avenida en el punto de rotura de 0,3 m/s, valor que la buena práctica ingenieril nos hace pensar que no se ha calculado correctamente.

Metodología: Llanura de inundación

Topografía del cauce o llanura de inundación

Rugosidad:

Ven Te Chow



Instrucción 5.1-IC Drenaje



Obstrucciones en el cauce y fenómenos locales

Límite del estudio:

- Se llegue a un elemento afectado que conduzca a categoría A
- Entrada en un embalse capaz de recibir la avenida sin producir rebosamiento por la presa
- Llegar a un cauce con un caudal máximo inferior a la capacidad del mismo
- Desembocar en el mar
- No ocupación aguas abajo de viviendas ni servicios, etc.

Para caracterizar el cauce es **necesaria la representación topográfica del terreno**, que en función de los riesgos y los previsibles daños tendremos que asistir a mayor o menor detalle. Hoy en día todas las Comunidades Autónomas y las Confederaciones Hidrográficas ofrecen mapas topográficos digitalizados con equidistancias entre líneas de nivel de 5 m y en prácticamente todas ofrecen también con equidistancias de 1,0 m. En función de la precisión que deseemos obtener habrá que asistir a veces incluso a trabajos de campo.

Aún más, la visita a campo es imprescindible en estos trabajos.

Importante estudiar las obstrucciones del cauce y fenómenos locales, tipo una carretera en mitad de la llanura de inundación en la que se quedan retenidas las aguas debido a que su obra de drenaje transversal no está diseñada para estos eventos.

La **rugosidad** del cauce o llanura de inundación dependerá principalmente del terreno, suelo que lo forma, pendiente y vegetación. Tenemos varias guías o documentos técnicos oficiales a los que asistir para estimar un valor: Ingeniería de Canales (Ven Te Chow) o la Instrucción de Drenaje en Carreteras 5.1-IC.

Respecto al **límite de estudio** a partir del cual suponemos que no se producirán daños, es necesario fijarlo siempre en cualquier propuesta. Nos encontramos con muchas propuestas en que no se justifica e incluso ni se menciona. En algunos casos no es necesario ni un cálculo matemático para su obtención, simplemente aplicar la buen juicio ingenieril.



Es importante analizar todas las posibles roturas que nos podrían causar daños importantes. Cada rotura podría afectar a distintas áreas o generar diferentes llanuras de inundación con sus propios caudales, calados y velocidades.

¿Por dónde rompería esta balsa? ¿Qué rotura produciría mayores daños?

Metodología: estudiar varias roturas



En el caso de esta diapositiva, la casa en negro no se vería afectada por las roturas denominadas SUR, ESTE y NORESTE, pero si se vería afectada por las roturas NOROESTE Y SUROESTE

Metodología: propagación onda

MÉTODOS para el estudio de la formación y propagación de la onda de avenida:

- a) Método completo. Modelos hidráulicos completos
- b) Método simplificado de modelización
- c) Método mixto hidrológico-hidráulico
- d) Método simplificado de curvas envolventes
- e) El buen juicio ingenieril 

TIPOS DE MODELOS:

- a) Para cauces bien definidos modelos unidimensionales (HEC-RAS, DAMBRK)
- b) Para llanuras de inundación, valles sinuosos, etc. modelos bidimensionales (Iber, GUADFlow2D)

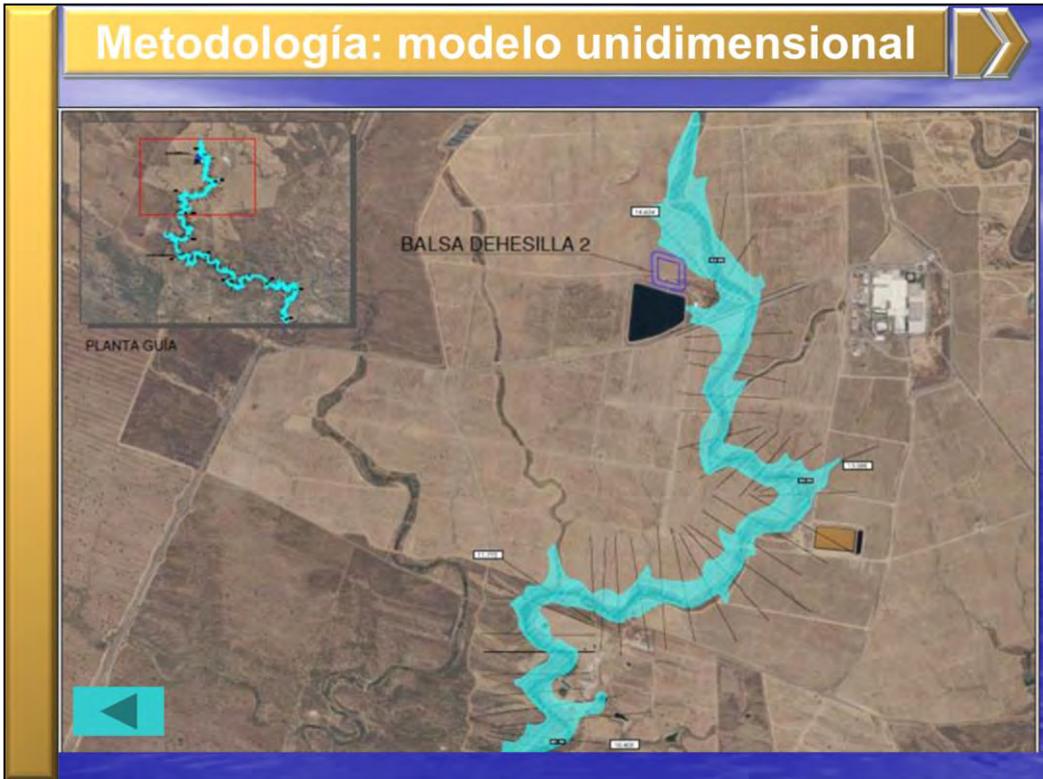
La Guía recomienda estos métodos de cálculo:

- 1.- MÉTODO HIDRÁULICO COMPLETO: es muy preciso y 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 agua abajo en la propagación agua arriba del movimiento. Por ello, en general, es el método recomendable para un análisis detallado. Sin embargo, en el caso de clasificaciones obvias y para sustentar el juicio ingenieril y dotarle de consistencia y objetividad, se recomienda el empleo de métodos y modelos simplificados.
- 2.- MÉTODOS SIMPLIFICADOS DE MODELIZACIÓN
- 3.- OTROS MÉTODOS SIMPLIFICADOS
- 4.- EL BUEN JUICIO INGENIERIL

Tenemos que tener en cuenta que si nuestro caso requiere una alta precisión, deberemos asistir a los métodos completos de modelización. Si requiere menos precisión los métodos simplificados nos pueden resultar válidos; o incluso con una buena justificación podemos evitar llevar a cabo una modelización (Diapositiva del buen juicio ingenieril)

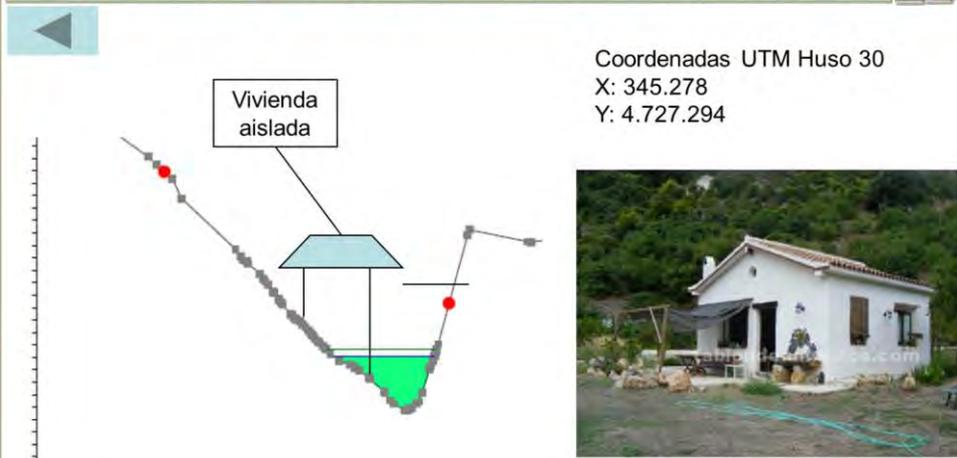
En cuanto a los programas existentes en el mercado, podemos citar una clasificación entre los denominados **unidimensionales** aplicables habitualmente en cauces lineales bien definidos. En caso de cambios muy bruscos en las secciones o llanuras de inundación amplias, donde exista un flujo bidimensional acusado y sea necesario estudiar con más detalle las condiciones de propagación de la onda, puede ser necesario recurrir a modelos dinámicos **bidimensionales** o aproximaciones cuasi-bidimensionales.

Metodología: modelo unidimensional



Este es uno de los gráficos de área de inundación causada por la rotura de la balsa. En este caso la avenida discurría claramente por un cauce y se podría utilizar un **método unidimensional (HEC-RAS)**.

Metodología: modelo unidimensional

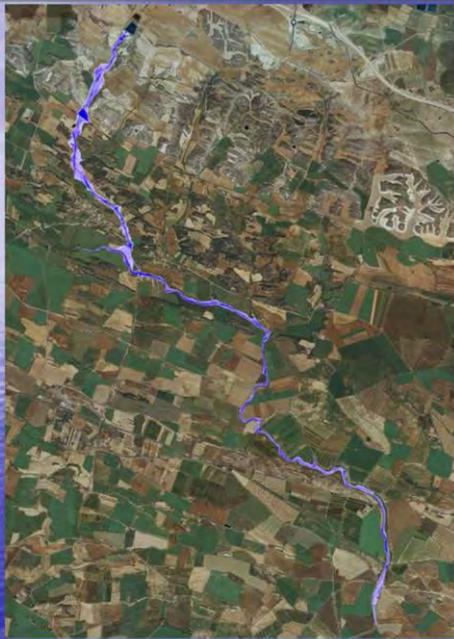


pK	Descripción	Caudal (m ³ /s)	Calado (m)	Cota afección	Cota avenida	Velocidad (m/s)	Grado afección
3+308	Casa habitada	21,77	0,21	495,10	495,31	1,08	Leve

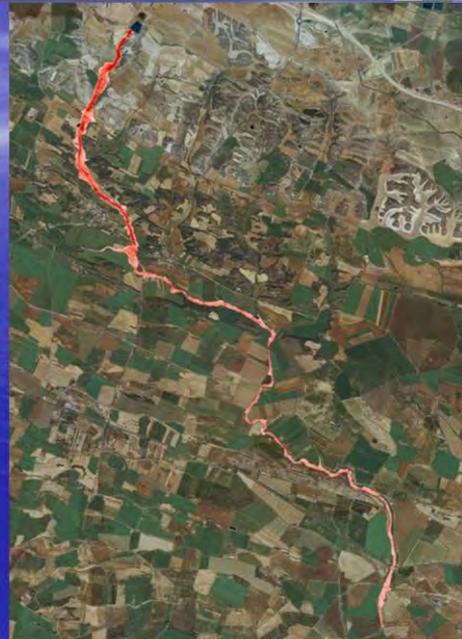
Para facilitar la labor de los técnicos que analizamos las propuestas es habitual que los redactores incluyan un perfil transversal, con sus coordenadas UTM, en el que se represente la afección (en este caso una vivienda) y una tabla en el que se indique la descripción del elemento afectado, el **caudal** en esa sección, la **cota de la afección**, la **cota de la avenida**, como consecuencia el **calado del agua** en la sección del elemento afectado y la **velocidad del agua**. Y finalmente evaluar el daño causado.

Esta tabla es imprescindible para poder evaluar la afección.

Metodología: modelo bidimensional



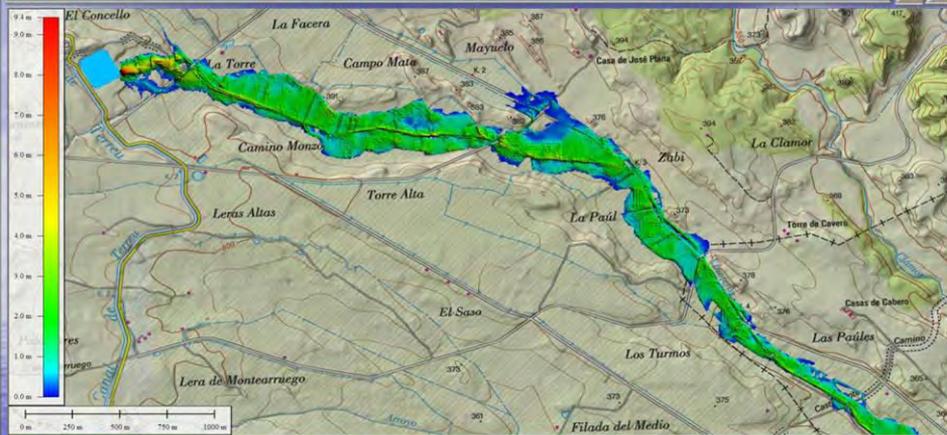
Envolvente de calados



Envolvente de velocidades

Aquí tenemos los resultados de la llanura o mancha de inundación obtenida con un **método bidimensional (IBER)**.

Metodología: modelo bidimensional



Traducir imágenes: Tabla de afecciones calado y velocidad

CLAVE	PK	COORDENADAS		DESCRIPCION	COTA LECHO	COTA ELEMENTO	COTA AGUA	CALADO	VELOCIDAD	CAUDAL	TIEMPO AVENIDA	TIEMPO AFECCION	AFECCION	TIPO AFECCION
		X UTM	Y UTM											
S1	0+030	754195	4654176	INMEDIACIONES DE LA BALSA	406.38	—	408.42	2.04	7.38	144.63	0 h 00 min	3 h 01 min	—	—
S2	6+090	751487	4653299	TRAMO 3 CTRA. HJ-8500	325.17	326.75	326.82	—	4.92	35.96	1 h 15 min	—	NO	—
S3	8+050	753142	4651694	CARRETERA A-1226	306.10	313.80	310.30	—	1.82	12.91	2 h 24 min	—	NO	—
S4	10+220	754362	4651096	CAÑADA REAL	300.87	303.7	303.71	0.01	0.77	11.43	3 h 02 min	—	SI	LEVE
									0.10	0.01	3 h 20 min	0 h 13 min	—	—
S5	16+620	757506	4647320	CARRETERA A-1223	271.00	281.30	273.40	—	1.77	7.26	5 h 24 min	—	NO	—
S6	16+620	757506	4647320	FINAL TRAMO ESTUDIO	270.64	—	273.60	2.96	1.42	7.06	5 h 25 min	1 h 32 min	—	—

E igualmente, este estudio presentaba una tabla con los datos anteriormente comentados, **caudal** en esa sección, la **cota de la afección**, la **cota de la avenida**, como consecuencia el **calado del agua** en la sección del elemento afectado y la **velocidad del agua**. Y finalmente evaluar el daño causado.

Metodología: recomendaciones

- Definir y justificar el límite del estudio
- Estudiar todas las posibles roturas
- Información gráfica clara (manchas de inundación del programa muchas veces tapan afecciones)
- Ortofotos del área de estudio actualizadas
- Planos topográficos de la llanura de inundación con líneas y cotas de nivel
- Planos a escala suficiente para poder definir afecciones
- Perfiles de los puntos de afección
- Valores de caudal, velocidad, cotas y situación en el punto de afección
- Analizar las posibles obstrucciones y puntos singulares
- Trabajo de campo

Recomendaciones principales a la hora de redactar una propuesta de clasificación



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN
Y MEDIO AMBIENTE

Muchas gracias por su atención

Pablo Lucio Pérez Senderos
ppsenderos@mapama.es

Coeficiente de Manning

Instrucción 5.1-IC Drenaje

Coef. de Manning

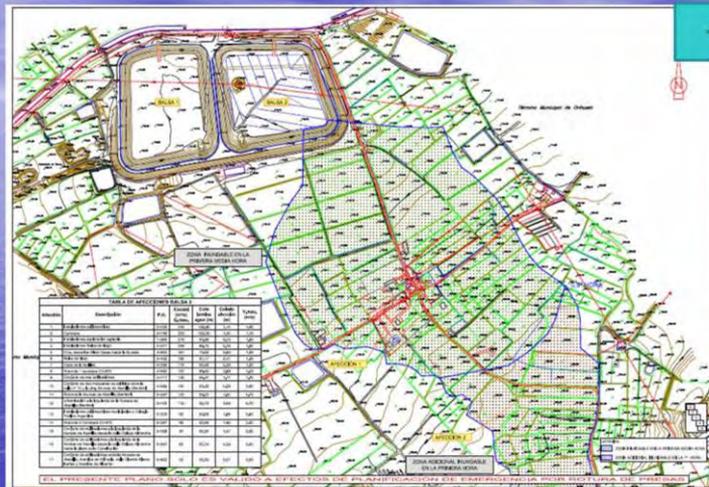
Cunetas y canales sin revestir

En tierra ordinaria, superficie uniforme y lisa	0,020-0,025
En tierra ordinaria, superficie irregular	0,025-0,035
En tierra con vegetación espesa	0,040-0,050
En tierra excavada mecánicamente	0,028-0,033
En roca, superficie uniforme y lisa	0,030-0,035
En roca, superficie con aristas e irregularidades	0,035-0,045

Corrientes Naturales

Limpias, orillas rectas, fondo uniforme, altura de lamina de agua suficiente	0,027-0,033
Limpias, orillas rectas, fondo uniforme, altura de lamina de agua suficiente, algo de vegetación	0,033-0,040
Limpias, meandros, embalses y remolinos de poca importancia	0,035-0,050
Lentas, con embalses profundos y canales ramificados	0,060-0,080
Lentas, con embalses profundos y canales ramificados, vegetación densa	0,100-0,200
Rugosas, corrientes en terreno rocoso de montaña	0,050-0,080
Áreas de inundación adyacentes al canal ordinario	0,030-0,200

Metodología: modelo bidimensional



Coincidencias que ocurrieron en Tous

1. Lluvias muy intensas 19 y 20 de octubre de 1982
2. Los desagües de fondo estaban siendo reparados
3. Se cortó el suministro eléctrico
4. Los dos grupos electrógenos que se instalaron cuando se construyó las presa estaban fuera de servicio
5. Se trajo un nuevo grupo electrógeno para dar servicio a los desagües de fondo pero se encontraba en la torre de toma, lejos del accionamiento de las compuertas
6. El mecanismo manual de apertura de las compuertas no funcionó
7. La tarde del 19 los operarios se fueron a la 18:00 una vez terminada su jornada laboral
8. La mañana del 20 de octubre no se podía tener acceso al grupo electrógeno de la torre de toma



Código Civil y Código Penal

CODIGO CIVIL

*Artículo 389.- Si un edificio, pared, columna o **cualquiera otra construcción amenazase ruina**, el propietario estará obligado a su demolición, o a ejecutar las obras necesarias para evitar su caída. (Luego el artículo 391 te remite al 1907)*

*Artículo 1907.- **El propietario de un edificio es responsable de los daños que resulten de la ruina** de todo o parte de él, si ésta sobreviniere por falta de las reparaciones necesarias.*

*Artículo 1909.- Si el daño de que tratan los dos artículos anteriores resultare por **defecto de construcción**, el tercero que lo sufra sólo podrá repetir **contra el arquitecto**, o, en su caso, **contra el constructor**, dentro del tiempo legal.*

CÓDIGO PENAL

Artículo 109.1.- La ejecución de un hecho descrito por la ley como delito obliga a reparar, en los términos previstos en las leyes, los daños y perjuicios por él causados.

*Artículo 348.1.- Los que en la fabricación, manipulación, transporte, tenencia o comercialización de explosivos, sustancias inflamables o corrosivas, tóxicas y asfixiantes, o **cualesquiera otras materias**, aparatos o artificios **que puedan causar estragos**, contravinieran las normas de seguridad establecidas, poniendo en concreto peligro la vida, la integridad física o la salud de las personas, o el medio ambiente, serán castigados con la pena de prisión de...*

Aquí podemos observar algunos artículos del Código Civil y del Código Penal que podrían afectar al titular de la balsa en caso de rotura o accidente. La doctrina de estas leyes es que quien **comete la infracción o delito está obligado a reparar los daños y perjuicios por el causados**.

El artículo 348 del Código Penal hace referencia a causar estragos indicando que quien manipule o transporte materias (almacenamiento de agua) que puedan causar estragos (inundación) y que contravinieran las normas de seguridad poniendo en peligro la vida o integridad física de las personas o el medio ambiente serán castigados con la pena de prisión...

El Código Civil señala en varios artículos las responsabilidades de los dueños de edificaciones o construcciones en ruina. La filosofía que emana de estos artículos es que si eres el propietario de un edificio o construcción o las mantienes y conservas para salir del estado de ruina o la demueles.

A día de hoy no hay una norma técnica específica sobre la construcción de balsas, pero si existen suficientes guías técnicas y experiencias constructivas para que se haya creado un conocimiento técnico importante. El promotor y el gestor de una balsa no pueden descuidar los aspectos técnicos de la construcción y de su explotación y mantenimiento.

Buen juicio ingenieril

En muchas ocasiones con los datos topográficos, ortofotos e información geográfica disponible en las páginas Web oficiales del ING o el MAGRAMA, y una **exhaustiva visita de campo**, mediante el juicio ingenieril podemos concluir que una balsa será clasificada en la categoría A, B ó C.

1. Si aguas abajo enseguida encontramos un elemento afectado que conduce a categoría A.
2. Si no existen potenciales afecciones de viviendas, servicios, bienes económicos o aspectos medioambientales: categoría C.
3. Entrada en un embalse o un río capaz de recibir la onda de avenida sin provocar daños ni vertidos: categoría C



Criterios del buen juicio ingenieril para determinar la clasificación de una balsa sin tener que realizar una modelización matemática de la propagación de la onda.