

serie monografías

# Clasificación de presas en función del riesgo potencial

Guía Técnica



**Ministerio de Medio Ambiente**  
Dirección General de Obras Hidráulicas y Calidad de las Aguas

## PRESENTACIÓN

La naturaleza extremada que caracteriza el régimen hidrológico de nuestro país ha exigido un importante esfuerzo para incrementar las disponibilidades hidráulicas naturales y paliar los devastadores efectos de las avenidas.

Dentro de este panorama la regulación fluvial mediante presas juega un papel imprescindible para satisfacer las demandas de los abastecimientos a poblaciones, regadíos, industrias, hidroelectricidad, y otros usos, incluidos los medioambientales, así como para el control y laminación de avenidas. Por otro lado, los espejos de agua creados ofrecen nuevas posibilidades para el ocio y la vida silvestre.

El extenso patrimonio en otras hidráulicas de este tipo, fruto de las circunstancias especiales inicialmente comentadas, requiere una atención especial. En el proyecto, construcción y explotación de grandes presas se presta gran atención a la seguridad, de manera que durante la vida de las obras se minimicen a la medida de lo posible los riesgos aguas abajo. La consideración de tales riesgos está contemplada desde hace tiempo en la Reglamentación Española de Presas. Así, la Instrucción del año 1967 ya planteaba la necesidad de reducir los riesgos aguas abajo de las presas e incluso de establecer la forma de advertir la población potencialmente afectada sobre los riesgos que pudieran existir, si bien se refería fundamentalmente a los riesgos derivados de la evacuación de avenidas.

Sin embargo, el considerar los riesgos que pudieran derivarse del funcionamiento incorrecto o de la rotura potencial de presas aparece por primera vez de forma explícita en nuestra legislación con la publicación, en febrero de 1995, de la Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el riesgo de inundaciones -aprobada por Acuerdo del Consejo de Ministros del día 9 de diciembre de 1994- y posteriormente en el Reglamento Técnico sobre Seguridad de Presas y Embalses aprobado por Orden Ministerial de 12 de marzo de 1996.

Como consecuencia de la consideración explícita de los riesgos antes dichos, en ambas normas se introduce la obligatoriedad de clasificar las presas en función del riesgo potencial derivado de su posible rotura o funcionamiento incorrecto en tres categorías, en función de las posibles afecciones a la población, servicios esenciales y bienes materiales y medioambientales. Dependiendo de la clasificación resultante se determinará en qué presas

se habrán de implantar y mantener Planes de Emergencia y además, de acuerdo con el Reglamento Técnico sobre Seguridad de Presas y Embalses, se definirán las diferentes exigencias de seguridad tanto en los criterios de diseño como en las condiciones de explotación y de inspección.

La clasificación de presas en función del riesgo potencial se perfila, por tanto, como un instrumento básico para la gestión y mejora de la seguridad de presas, que constituye el punto de arranque del nuevo planteamiento que en esa materia se desarrolla en el recientemente aprobado Reglamento Técnico.

Los criterios de clasificación definidos en la Directriz Básica de Planificación de Protección Civil coinciden exactamente con los que recoge el Reglamento Técnico y tienen un carácter descriptivo y general, requiriendo, por tanto, un desarrollo que permita que las Resoluciones de clasificación de presas se puedan dictar con criterios más objetivos, de fácil aplicación y homogéneos para todas las presas. Se ha considerado también conveniente plantear con carácter orientativo una metodología general de aplicación que facilite todo el proceso de clasificación de presas.

Como consecuencia del planteamiento anterior, se ha redactado la Guía Técnica para clasificación de Presas en función del riesgo potencial que se presenta, que sirve para facilitar la aplicación tanto de la Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el riesgo de inundaciones como del Reglamento Técnico sobre Seguridad de presas y embalses, y a la que está previsto que sigan otras Guías Técnicas en las que se desarrollen de forma semejante los criterios y metodología para el establecimiento de los Planes de Emergencia de Presas y los restantes aspectos contemplados en el Reglamento Técnico sobre Seguridad de Presas y Embalses.

Madrid, noviembre de 1996

Carlos M. Escartín Hernández

Director General de Obras Hidráulicas y Calidad de las Aguas

## **PREÁMBULO**

La presente Guía Técnica ha sido elaborada a partir de una propuesta inicial redactada por:

- D. Jesús Penas Mazaira, del Área de Tecnología y Control de Estructuras de la Dirección General de Obras Hidráulicas y Calidad de las Aguas.
- D. Luis Berga Casafont, de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Barcelona.
- D. Mariano de Andrés Rodríguez-Trelles, de la empresa E.C.M.

A dicha propuesta se han incorporado sugerencias y comentarios realizados por las Direcciones Técnicas y Comisarías de Aguas de las Confederaciones Hidrográficas y de los Ingenieros del Área de Tecnología y Control de Estructuras, tras un proceso de debate coordinado por D. José María Santafé Martínez, Subdirector General del Servicio Geológico.

La finalidad y ámbito de aplicación de la Guía Técnica son los indicados en el Capítulo I de la misma.

Los comentarios y observaciones que se deseen hacer al contenido de la Guía Técnica pueden remitirse al Área de Tecnología y Control de Estructuras. Dirección General de Obras Hidráulicas y Calidad de las Aguas. Ministerio de Medio Ambiente. Paseo de la Castellana, 67. 28071 Madrid.

## **INDICE**

## INDICE

### **CAPITULO I. INTRODUCCIÓN**

1. OBJETO DE ESTA GUÍA TÉCNICA.....I-1
2. AMBITOS DE APLICACIÓN.....I-3

### **CAPITULO II. CRITERIOS**

1. PRESAS A CLASIFICAR.....II-1
2. CRITERIOS PARA LA DEFINICIÓN DE CATEGORIAS.....II-2
3. RIESGO DE DAÑO EN RELACIÓN A DAÑO ESPERADO.....II-6
4. CRITERIOS BÁSICOS DE VALORACIÓN DE AFECCIONES.....II-6
  - 4.1. RIESGOS POTENCIALES PARA VIDAS HUMANAS. POBLACIÓN EN RIESGO.....II-6
    - 4.1.1. Afecciones graves a núcleos urbanos.....II-6
    - 4.1.2. Número reducido de viviendas.....II-7
    - 4.1.3. Pérdida incidental de vidas humanas.....II-7
  - 4.2. SEVICIOS ESENCIALES.....II-7
  - 4.3. DAÑOS MATERIALES.....II-8
  - 4.4. DAÑOS MEDIOAMBIENTALES.....II-9
  - 4.5. OTRAS AFECCIONES.....II-10

5. <u>CRITERIOS BÁSICOS PARA EL ANÁLISIS DE LAS ROTURAS POTENCIALES</u> .....	II-11
5.1. ROTURA VERSUS FUNCIONAMIENTO INCORRECTO.....	II-11
5.2. ESCENARIOS DE ROTURA.....	II-11
5.2.1. <u>Rotura individual de presas</u> .....	II-11
5.2.2. <u>Rotura encadenada de presas (efecto dominó)</u> .....	II-13
5.3. FORMA Y DIMENSIONES DE LA BRECHA. TIEMPOS DE ROTURA.....	II-15
5.4. DATOS BÁSICOS PARA EL ESTUDIO DE LA PROPAGACIÓN DE LA ONDA DE AVENIDA. ....	II-16
5.4.1. <u>Características geométricas del cauce agua abajo</u> .....	II-16
5.4.2. <u>Rugosidad</u> .....	II-17
5.4.3. <u>Obstrucción en el cauce y fenómenos locales</u> .....	II-18
5.5. ESTIMACIÓN DE RIESGOS AGUAS ABAJO.....	II-19
5.6. TIEMPO DE PREAVISO .....	II-19
6. <u>CLASIFICACIÓN DE LAS PRESAS</u> .....	II-19
6.1. PRESAS EXISTENTES. ....	II-19
6.2. PRESAS DE NUEVA CONSTRUCCIÓN.....	II-22

### **CAPITULO III. METODOLOGÍA**

1. <u>INTRODUCCIÓN</u> .....	III-1
2. <u>LIMITE DEL ESTUDIO HACIA AGUA ABAJO</u> .....	III-2
3. <u>ORDEN DE ANÁLISIS POR TIPO DE DAÑO</u> .....	III-2
4. <u>ESCENARIOS DE ROTURA, METODOLOGÍA GENERAL</u> .....	III-3

5. MÉTODOS PARA EL ESTUDIO DE LA INUNDACIÓN CONSECUENCIA DE LA ROTURA DE UNA PRESA.....III-6

5.1. MÉTODO COMPLETO (MODELOS HIDRÁULICOS COMPLETOS).....III-7

5.2. MÉTODO SIMPLIFICADO DE MODELIZACIÓN.....III-8

5.3. MÉTODO SIMPLIFICADO DE LAS CURVAS ENVOLVENTES.....III-9

5.4. MÉTODO MIXTO HIDROLÓGICO-HIDRÁULICO.....III-22

**CAPITULO IV. DOCUMENTOS QUE CONSTITUYEN LA PROPUESTA DE CLASIFICACIÓN**

1. DOCUMENTOS A INCLUIR EN LA PROPUESTA DE CLASIFICACIÓN.....IV-1



## **CAPITULO I**

### **INTRODUCCIÓN**

## **1. OBJETO DE ESTA GUÍA TÉCNICA**

La Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo de Inundaciones, aprobada por Acuerdo del Consejo de Ministros del día 9 de diciembre de 1994 y publicada en el Boletín Oficial del Estado de fecha 14 de febrero de 1995, establece en su artículo 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 establecen 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.

De acuerdo con lo indicado en el citado artículo 3.5.1.3., la clasificación se efectuará mediante Resolución de la Dirección General de Obras Hidráulicas o de los Órganos de las Comunidades Autónomas que ejerzan competencias sobre el dominio público hidráulico, para aquellas presas que se ubiquen en cuencas hidrográficas comprendidas íntegramente dentro de su territorio. Los propietarios o concesionarios de presas deberán enviar al Órgano competente para resolver su propuesta de clasificación de la presa respecto al riesgo, acompañada de la información necesaria para que dicho Órgano decida acerca de la clasificación que corresponda.

Por otra parte, en la Orden Ministerial de 12 de marzo de 1996, por la que se aprueba el "Reglamento Técnico sobre Seguridad de Presas y Embalses", publicada en el Boletín Oficial del Estado de fecha 30 de marzo de 1996, en su artículo quinto establece que los titulares o concesionarios de todas las presas en servicio, independientemente de su titularidad dentro del ámbito de competencias del Estado, deben presentar a la Dirección General de Obras Hidráulicas, en el plazo de un año desde la entrada en vigor de la Orden, la propuesta razonada de clasificación frente al riesgo en los términos previstos por la Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo de Inundaciones y el Reglamento Técnico de Seguridad de Presas y Embalses, debiendo resolver la Dirección General en un plazo máximo de un año.

El Reglamento Técnico citado establece en su punto 3.2. una clasificación en función del riesgo potencial idéntico al establecido en la Directriz.

Asimismo la antes citada Orden Ministerial establece en su artículo segundo la aplicación obligatoria del Reglamento Técnico sobre Seguridad de Presas y, por tanto, de la clasificación en función del riesgo potencial en él establecida para todas las presas y embalses cuyo titular sea el Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente (hoy el Ministerio de Medio Ambiente) o los organismos autónomos de él dependientes así como aquellas otras que sean objeto de concesión administrativa.

Como consecuencia de la entrada en vigor de los citados Directriz y Reglamento Técnico, los titulares de todas las presas en servicio, proyecto o construcción actualmente y todas las posibles futuras deberán presentar ante la Dirección General de Obras Hidráulicas y Calidad de las Aguas una propuesta para la clasificación razonada en función de un riesgo potencial.

Sobre la base de lo anteriormente expuesto, la Dirección General de Obras Hidráulicas y Calidad de las Aguas del Ministerio de Medio Ambiente ha considerado conveniente redactar la presente Guía Técnica que tiene por objeto desarrollar los criterios de clasificación de presas establecidos en la Directriz y en el Reglamento Técnico y plantear con carácter orientativo una metodología general de aplicación y el contenido mínimo de la información que ha de acompañar a las propuestas de clasificación, todo ello con la finalidad de que las Resoluciones de clasificación de presas competencia de dicha Dirección General se preparen y se dicten de manera homogénea y coordinada.

## 2. **AMBITO DE APLICACION**

Los criterios y recomendaciones establecidos en el presente documento servirán de guía para la preparación de las Resoluciones de clasificación que dicte la Dirección General de Obras Hidráulicas y Calidad de las Aguas del Ministerio de Medio Ambiente.

Asimismo serán utilizadas por las Confederaciones Hidrográficas dependientes del citado Ministerio, para preparar las propuestas de clasificación de las presas que, siendo de titularidad estatal, sean explotadas por dichas Confederaciones Hidrográficas, y para informar las propuestas que a dichas Confederaciones envíen los titulares de presas objeto de concesión situadas en las correspondientes cuencas hidrográficas. Igualmente podrán servir de orientación a dichos titulares para elaborar sus propuestas.

El contenido del presente documento se refiere exclusivamente a la clasificación de presas en función del riesgo potencial, sin que pueda extrapolarse a cuestiones referentes a los Planes de Emergencia, que deberán ser objeto de otro tratamiento.

## **CAPITULO II**

### **CRITERIOS**

## 1. PRESAS A CLASIFICAR

Dentro de las competencias de la Administración Hidráulica y a los efectos de la clasificación de presas prevista en la Directriz y en Reglamento Técnico, se entenderá como presa aquella construcción artificial establecida en un cauce natural o fuera de él, capaz de retener agua u otros líquidos o semilíquidos y cuya rotura puede provocar daños a elementos distintos de la propia estructura tales que la aplicación a ella de "la Directriz" y de los criterios contenidos con el presente documento puedan conducir a su clasificación en las categorías A o B.

El ámbito de aplicación para la clasificación de las presas se entenderá que es el siguiente:

1. Grandes Presas, que, según la aun vigente en determinados casos "Instrucción para el proyecto, construcción y explotación de grandes presas" española, vienen definidas por las características siguientes:

- Tener más de 15 m de altura, medida desde la cota de coronación hasta la superficie de su cimiento.
- Tener una altura entre 10 y 15 m y originar un embalse de capacidad superior a 100.000 m<sup>3</sup>, o características excepcionales o cualquier otra circunstancia que permita calificar la obra como importante para la seguridad o la economía pública.

2. Además deberá aplicarse a las que no siendo Grandes Presas según la definición anterior tengan una altura comprendida entre 10 y 15 m (desde coronación a cimiento) y, bien, una longitud de coronación superior a 500 m, bien, una capacidad de desagüe superior a 2.000 m<sup>3</sup>/seg. Estos casos se incluyen como consecuencia de tomar en consideración la nueva definición de Grandes Presas que introduce el actual Reglamento Técnico sobre Seguridad de Presas y Embalses.

3. También deberá aplicarse a todas aquellas que, aun no siendo Grandes Presas según las definiciones anteriores, puedan dar lugar a apreciables riesgos potenciales agua abajo. Se incluyen estos casos en función de que ni la Directriz ni el Reglamento Técnico establecen límite inferior alguno a su aplicabilidad y este último prevé su propia aplicación a las presas no clasificadas como "gran presa" y que se encuentren clasificadas en las categorías A y B en función de su riesgo potencial.

Respecto a la consideración anterior cabe señalar que existen algunas pequeñas presas respecto de las cuales puede establecerse a priori la no existencia de daños posibles, en el sentido dado por "la Directriz", como son, a la luz de lo establecido en el vigente Reglamento del Dominio Público Hidráulico (R. D. 849/ 1986 de 11 de abril), aquellas que en planta y alzado ocupan únicamente terrenos cubiertos por las aguas en las máximas crecidas ordinarias (Art. 4.1), considerando como caudal de la máxima crecida ordinaria la media de los máximos caudales anuales, en su régimen natural, producidos durante diez años consecutivos, que sean representativos del comportamiento hidráulico de la corriente (Art. 4.2.).

En cualquier caso, la Administración Hidráulica podrá requerir del titular de cualquier presa que, en función de las características de ésta, presente la correspondiente propuesta de clasificación.

## **2. CRITERIOS PARA LA DEFINICION DE CATEGORIAS**

Los criterios para la definición de las categorías que se incluyen en la presente Guía Técnica son un mero desarrollo de lo establecido en el apartado 3.5.1.3. de la Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo de Inundaciones y en el artículo 3.2. del Reglamento Técnico sobre Seguridad de Presas y Embalses.

Los citados artículos, coincidentes, establecen que las presas se clasificarán respecto al riesgo potencial en tres categorías, definidas textualmente del siguiente modo:

"Categoría A: Corresponde a las 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: Corresponde a las presas cuya rotura o funcionamiento incorrecto puede ocasionar daños materiales o medioambientales importantes o afectar a un reducido número de viviendas.

"Categoría C: Corresponde a las 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.

Del análisis del texto anterior y de los objetivos de la Directriz se desprenden las siguientes consideraciones y criterios básicos:

- 1) El elemento esencial para la clasificación es el relativo a la población y a las vidas humanas con riesgo potencial de afección por la hipotética rotura de la presa. Para ello, la Directriz define esta población con 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.



- 2) Se trata de una clasificación que debe considerarse de tipo cualitativo y completa. Desde cualquier punto de vista debe haber dos valores frontera que deben permitir la clasificación en tres tramos. El límite inferior de una categoría debe corresponder al límite superior de la categoría siguiente.
- 3) Presenta un listado de efectos agua abajo que no puede considerarse exhaustivo, aunque sí considera los aspectos más significativos. El listado establece los criterios genéricos a partir de los cuales las presas pueden clasificarse.
- 4) Hay algunas afecciones potenciales que aparecen en los criterios que definen cada una de las categorías (daños materiales), mientras que otras solo lo hacen en algunos (servicios esenciales).
- 5) Utiliza sistemáticamente las conjunciones disyuntivas ("o") sin aparecer las conjunciones copulativas ("y") nada más que en la definición de la categoría C. No se refiere por tanto a la evaluación de un efecto global, obtenido por ponderación de los efectos medidos desde distintos puntos de vista sino que, por contra, establece umbrales para distintos aspectos cuya simple superación conduce a una clasificación determinada, independientemente de los efectos desde otros puntos de vista.
- 6) Sistemáticamente utiliza el condicional ("puede") por lo que no se refiere a estimaciones de daños sino de posibilidad de estos. No plantea la necesidad de evaluar la conversión desde posibilidad de daños hacia daños estimados.

Como consecuencia de lo previsto en la Directriz y en el Reglamento Técnico y de las consideraciones anteriores, se establece que la clasificación de las presas se basará en una evolución progresiva de los daños potenciales, desde la categoría C hacia la A. Se entiende por análisis de la evolución progresiva el proceso según el cual en primer lugar se evalúa la posibilidad de incluir el aspecto considerado en la Categoría C, según su definición estricta. Caso de no responder a los criterios que definen la Categoría C, se establece que la presa debe incluirse en las Categorías B o A, repitiendo el proceso según los criterios definatorios de la Categoría B. Los criterios generales de clasificación son los siguientes:

- a) Categoría C: Puede producir solo incidentalmente pérdida de vidas humanas. No puede afectar a vivienda alguna y solo de manera no grave a algún servicio esencial. Los daños medioambientales que puede producir deben ser poco importantes o moderados. Únicamente puede producir daños económicos moderados.
- b) Categoría B: Puede afectar a un número de viviendas inferior al que se considere mínimo para constituir una afección grave a un núcleo urbano o a un número de vidas equivalente, o producir daños económicos o medioambientales importantes. Puede afectar solo de manera no grave a alguno de los servicios esenciales de la comunidad.
- c) Categoría A: Supera la categoría anterior, pudiendo afectar gravemente, al menos, a un núcleo urbano o número de viviendas equivalente, con lo que pudiera poner en situación de riesgo a un número de vidas humanas semejante al que ocupa el número de viviendas considerado como límite máximo para la categoría B, o afectar gravemente a alguno de los servicios esenciales de la comunidad o producir daños económicos o medioambientales muy importantes.

Los aspectos a analizar son, por tanto:

- Riesgo potencial a vidas humanas. Población en riesgo.
- Afecciones a servicios esenciales.
- Daños materiales.
- Daños medioambientales.

El análisis se realizará por evaluación de la categoría asociada a cada uno de los tipos de daño potencial, correspondiendo la categoría global a la categoría máxima asignada para cada uno de los aspectos individuales, sin estudiar posibles combinaciones de ellos.

### **3. RIESGO DE DAÑO EN RELACION A DAÑO ESPERADO**

Se considerará exclusivamente el riesgo potencial de daño en contraposición al concepto de daño esperado o estimado.

No se trata de evaluar el valor esperado de los daños o afecciones, determinado como la suma de los productos daño potencial por su probabilidad de presentación, sino de tan solo expresar el término de daño potencial, entendiendo como tal los daños que podrían producirse caso de rotura, al margen de razonamientos que podrían permitir evaluar el valor esperado de los daños.

### **4. CRITERIOS BASICOS DE VALORACION DE AFECCIONES**

#### **4.1. RIESGOS POTENCIALES PARA VIDAS HUMANAS. POBLACION EN RIESGO**

##### **4.1.1. Afecciones graves a núcleos urbanos**

De acuerdo con la definición del Instituto Nacional de Estadística, se entiende como "Núcleo Urbano" el conjunto de al menos diez edificaciones, que estén formando calles, plazas y otras vías urbanas. Por excepción, el número de edificaciones podrá ser inferior a 10, siempre que la población de derecho que habita las mismas supere los 50 habitantes. Se incluyen en el núcleo aquellas edificaciones que, estando aisladas, distan menos de 200 metros de los límites exteriores del mencionado conjunto, si bien en la determinación de dicha distancia han de excluirse los terrenos ocupados por instalaciones industriales o comerciales, parques, jardines, zonas deportivas, cementerios, aparcamientos y otros, así como los canales o ríos que puedan ser cruzados por puentes.

Se entenderá como afección grave a un núcleo urbano aquella que afecte a más de cinco (5) viviendas habitadas y represente riesgo para las vidas de los habitantes, en función del calado y la velocidad de la onda.

#### **4.1.2. Número reducido de viviendas**

Se considerará número reducido de viviendas el comprendido entre uno (1) y cinco (5) viviendas habitadas.

#### **4.1.3. Pérdida incidental de vidas humanas**

El calificativo de incidental no debe aplicarse a la concreción de un riesgo cierto de pérdida de vida, es decir, no tiene relación con la probabilidad de muerte de una persona situada habitualmente en el área ocupada por la onda de inundación, sino, por el contrario, con la presencia ocasional y no previsible, en el tiempo, de la misma persona en la llanura de inundación.

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 aglomeraciones de personas por cualquier tipo de motivo, etc.

### **4.2. SERVICIOS ESENCIALES**

Se entiende como servicios esenciales aquellos que son indispensables para el desarrollo de las actividades humanas y económicas normales del conjunto de la población.

Se considerará servicio esencial aquel del que dependan, al menos, del orden de 10.000 habitantes.

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

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

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

#### **4.3. DAÑOS MATERIALES**

Se entiende como daños materiales aquellos, soportados por terceros, cuantificables directamente en términos económicos, sean directos (destrucción de elementos) o indirectos (reducción de la producción, por ejemplo). No se incluyen aquí, por tanto, el riesgo para vidas humanas, el fallo de servicios esenciales o los daños medioambientales.

Los daños materiales se evaluarán en función de las siguientes categorías:

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

La evaluación de los daños materiales potenciales a efectos de clasificación estará en la práctica, en la mayor parte de las ocasiones, asociada a los restantes aspectos. Solamente en casos muy concretos y dudosos puede tener cierta relevancia para la clasificación.

Para abordar estos casos, se presentan en el cuadro II-1 criterios orientativos de clasificación de los daños materiales, criterios que, en todo caso, han de ser consideradas conjuntamente con los valores de calados y velocidades asociados a la onda de rotura.

**CUADRO II-1**  
**CLASIFICACION DE LOS DAÑOS MATERIALES**

ELEMENTO	DAÑOS POTENCIALES		
	MODERADOS	IMPORANTES	MUY IMPORTANTES
Industrias y polígonos industriales y propiedades rústicas <sup>1</sup>	nº de instalaciones < 10	10 < nº de instalaciones < 50	nº 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

1 Los límites deberán reducirse en caso de instalaciones de singular importancia.

#### **4.4. DAÑOS MEDIOAMBIENTALES**

Se incluyen en este apartado las afecciones negativas tanto sobre los parámetros puramente medioambientales como sobre las referencias histórico-artísticas y culturales.

Se considerarán como elementos susceptibles de sufrir daño medioambiental únicamente aquellos elementos o territorios que gocen de alguna figura legal de protección a nivel estatal o autonómico (bien de interés cultural, parque nacional, parque natural, etc.).

Dado que en algunas comunidades autónomas no está aún completo el desarrollo de la Ley de Conservación de Espacios Naturales, en estas deberán considerarse no tan solo los ya declarados sino también aquellos para los que ya existe algún procedimiento administrativo iniciado.

A efectos de evaluación de la importancia de los daños se diferenciará entre elementos integrados en el patrimonio histórico-artístico y los puramente medioambientales.

La importancia de los daños a los bienes de interés cultural se establecerán en función de las características hidráulicas de la inundación (calado y velocidad) en relación con la posibilidad de destrucción o daño irreversible y siempre referido a bienes de interés cultural, definidos de acuerdo con lo establecido en la Ley 16/85 de 25 de junio del Patrimonio Histórico Español.

Únicamente se considerarán como daños medioambientales aquellos que sean sensiblemente distintos de los asociados al régimen hidráulico natural, estableciendo como daños muy importantes aquellos que tengan la consideración de irreversibles y críticos, mientras que se considerarán importantes aquellos severos que tengan asimismo el carácter de irreversibles, según la terminología utilizada en el R.D. 1131/88 de 30 de septiembre por el que se aprueba el Reglamento para la ejecución del R.D. Legislativo 1302/1986 de 28 de junio de Evaluación de Impacto Ambiental.

#### **4.5. OTRAS AFECCIONES**

Aún cuando no están citadas expresamente en la definición de categorías, deben incluirse en los criterios de clasificación algunos elementos singulares cuya afección puede potenciar y agravar los efectos de la rotura de la propia presa, originando un efecto en cadena.

El caso más típico es el que se origina por la existencia agua abajo de la presa analizada de otras que pueden romper como consecuencia de la rotura de la primera. Este caso se trata específicamente en el punto 5.2.2. En cualquier caso se considerará que la presa situada agua abajo rompe como consecuencia de la rotura de la situada agua arriba si la onda que esta produce provoca en la primera el vertido sobre coronación.

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

## **5. CRITERIOS BASICOS PARA EL ANALISIS DE LAS ROTURAS POTENCIALES**

### **5.1. ROTURA VERSUS FUNCIONAMIENTO INCORRECTO**

A los efectos de clasificación, únicamente se analizarán los efectos de una rotura potencial, sin considerar otros posibles fallos de funcionamiento, por ser aquellos, en cualquier caso, los más desfavorables.

### **5.2. ESCENARIOS DE ROTURA**

#### **5.2.1. Rotura individual de presas**

Para la clasificación de las presas, consideradas estas individualmente, esto es, sin relación con otras posibles ubicadas agua arriba o abajo, es necesario considerar distintos escenarios de posibles roturas, identificando en cada caso los daños potenciales. La clasificación a asignar a la presa debe corresponder al escenario más desfavorable.

Estos escenarios vienen definidos 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.



En general será suficiente considerar dos escenarios extremos, de los cuales el primero corresponde al caso de rotura no coincidente con avenidas mientras que en el segundo se superpone la rotura a una situación de avenida. La situación de avenida considerada corresponde a la avenida de proyecto de la presa, o, en su caso, la avenida extrema. En la actualidad, la avenida de proyecto es, en la mayor parte de los casos, la correspondiente a un período de retorno de 500 años.

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

Como resumen, los escenarios extremos planteados son los siguientes:

- Rotura sin avenida: no coincidencia con avenida y embalse en su máximo nivel normal de explotación.
- Rotura en situación de avenida: presa desagando la avenida de proyecto (en su caso, la avenida extrema) y nivel del embalse en la coronación.

En el escenario correspondiente a rotura en situación de avenida únicamente deben considerarse los daños incrementales debidos a la rotura, es decir, el exceso de daños que se producirían por efecto de la onda de rotura respecto a los que ya se hubieran producido debido al desagüe de la avenida considerada.

Aun cuando cabe pensar en la posibilidad de que escenarios intermedios (coincidencia de la rotura con avenidas inferiores a la avenida considerada) produzcan daños potenciales (incremento en el caso de coincidencia con alguna avenida) algo superiores a los que corresponden a los dos escenarios extremos, esta situación, en la realidad, únicamente puede presentarse en un número reducido de casos y, por otra parte, resulta inviable prácticamente abordar en general la consideración de todos los escenarios posibles. Por estas razones, a efectos de clasificación únicamente se considerarán los dos escenarios extremos antes expuestos.

### **5.2.2. Rotura encadenada de presas (efecto dominó)**

Un escenario específico adicional a considerar se presenta en el caso en el que existan una sucesión de presas en el mismo río, en el que hipotéticamente se puede producir una rotura encadenada de presas (efecto dominó), en el que la rotura de una de las presas puede provocar las roturas de las presas de aguas abajo. La situación que se crea es compleja y existe una interdependencia mutua en las relaciones entre las presas de aguas arriba y aguas abajo y los posibles daños potenciales, por lo que es necesario contemplar de manera conjunta y coordinada la propagación y efectos de la onda de avenida o de las diversas ondas de avenida de las diferentes roturas. Esta necesaria coordinación e información tiene un papel más destacado en la futura elaboración de los planes de emergencia.

Para la clasificación de las diferentes presas en un mismo río puede seguirse el siguiente esquema referido a dos presas, que evidentemente es ampliable a cualquier número de presas de forma secuencial. Para la rotura de la presa de aguas arriba se suponen los dos escenarios de rotura tradicionales (rotura con embalse a nivel normal y rotura en situación de avenida) calculándose las ondas de rotura y su propagación hasta el embalse de aguas abajo. Los efectos sobre la presa de aguas abajo pueden agruparse en dos situaciones:

- 1.- El embalse de aguas abajo puede absorber la onda de rotura en condiciones similares para las que fue diseñada para la avenida de proyecto, y aún hasta la proximidad de la coronación si no es probable que se presenten avenidas de manera simultánea en ambas presas. En este caso no se produciría la rotura encadenada de la presa de aguas abajo, y cada presa se clasificaría atendiendo únicamente a sus propias afecciones potenciales de forma independiente.
- 2.- El embalse de aguas abajo no puede absorber la onda de rotura que le llega de la presa de aguas arriba, vertiendo sobre su coronación, por lo que se debe considerar que se produce la rotura simultánea con el desagüe de la onda de llegada al embalse. Ello da lugar al planteamiento de un nuevo escenario que es el correspondiente a la rotura con nivel de embalse en coronación pero con la concomitancia de la presentación de la onda de rotura de la presa de aguas arriba.

Así, en este caso, además de contemplarse los dos escenarios usuales y de manera independiente de la presencia de las otras presas, la clasificación debe de realizarse con una visión conjunta y contemplando este nuevo escenario de rotura encadenada.

Las diferentes situaciones posibles son muy numerosas y deben de analizarse caso a caso en función de las diversas situaciones descritas analizando las afecciones potenciales en cada tramo, y adoptando siempre criterios de tipo conservador. En general si la rotura de una presa situada aguas arriba puede provocar la rotura de otras aguas abajo, la categoría de la presa de aguas arriba será como mínimo la misma que la mayor de las categorías de las presas de aguas abajo.

Este escenario de rotura encadenada supone una evaluación conjunta de las presas de un tramo por lo que, en la práctica, implica una coordinación e información entre los diversos propietarios o explotadores de las distintas presas. Sin embargo, inicialmente y para un primera evaluación orientativa, pueden realizarse los análisis de clasificación como si se tratara de presas independientes.

Por otro lado, 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, clasificándose las presas de manera independiente.

### 5.3. FORMA Y DIMENSIONES DE LA BRECHA. TIEMPOS DE ROTURA

El modo de rotura y la forma y evolución de la brecha dependen del tipo de presa, siendo la hipótesis más común que en las presas de hormigón o mampostería la rotura es prácticamente instantánea, y total o parcial. Usualmente total en las presas bóvedas 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 con evolución desde formas geométricas iniciales hasta la práctica totalidad de la presa.

En la actualidad existen diversos modelos que simulan el fenómeno de formación y progresión de la brecha, siendo el más empleado el modelo de la progresión lineal, en el que se contemplan diversos parámetros geométricos y temporales, recomendándose que en principio se adopten los siguientes modos de rotura y parámetros:

- a) Presas bóveda
  - Tiempo de rotura: 5 a 10 minutos (instantánea).
  - Forma de rotura: Completa, siguiendo la forma de la cerrada, admitiéndose la geometrización a trapecial.
  
- b) Presas de gravedad y contrafuertes
  - Tiempo de rotura: 10 a 15 minutos (instantánea).
  - Forma de rotura: Rectangular.
    - 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.
  
- c) Presas de materiales sueltos ( $V$  = volumen de embalse,  $h$  = altura de presa)
 

Tiempo de rotura:

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

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

Forma de rotura: Trapecial.

- Profundidad de la brecha: hasta el contacto con el cauce en el pie.
- Ancho medio de la brecha:  $b \text{ (m)} = 20 \text{ (V (Hm}^3) - h \text{ (m)})}^{0,25}$
- Taludes: 1:1 (H:V).

Sin embargo, en los casos en que existan dudas sobre la clasificación final puede ser conveniente realizar un análisis de sensibilidad de los parámetros señalados, siendo el juicio ingenieril el que adopte la formulación más adecuada. 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.

#### **5.4. DATOS BASICOS PARA EL ESTUDIO DE LA PROPAGACION DE LA ONDA DE AVENIDA**

##### **5.4.1. Características geométricas del cauce agua abajo**

En general, la geometría del valle agua abajo de la presa se obtendrá de la topografía existente, realizándose únicamente reconocimientos topográficos en los casos en que sea estrictamente necesario, obteniéndose secciones transversales en los sitios más relevantes para el estudio de la propagación de la onda y para la evaluación de los daños potenciales.

Las características geométricas del cauce se establecerán a partir de su topografía, viniendo ésta caracterizada por su escala y equidistancia entre curvas de nivel.

Desde el punto de vista hidráulico, de avance de la onda, se considerará que la morfología general del cauce es sensiblemente constante en el tiempo, por lo que a este respecto serán válidas las topografías existentes independientemente de su fecha de realización. No ocurre obviamente lo mismo desde los puntos de vista de la evaluación de daños y de características de elementos singulares (puentes y azudes, por ejemplo).

La topografía, existente u obtenida expresamente para la clasificación, estará realizada por restitución con apoyo de campo a partir de fotografía aérea. En ningún caso se considerarán válidas las restituciones expeditas (sin apoyo de campo). Por contra sí se considerará válida la definición geométrica mediante la obtención de perfiles (longitudinal y transversales) por topografía clásica siempre y cuando se hayan seguido para su realización las normas establecidas por el Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente.

El criterio orientativo de validez que se adopta se basa en exigir que todos los perfiles utilizados en el análisis vengan definidos por un mínimo de tres curvas de nivel (2 equidistancias), lo que se traduce en los valores reflejados en el cuadro II-2.

## CUADRO II-2

### ESCALA MINIMA DE TRABAJO

CALADO MINIMO DE ANALISIS (m)	EQUIDISTANCIA MAXIMA (m)	ESCALA ASOCIADA
1	0,5	1:500
2	1,0	1:1.000
4	2,0	1:2.000
10	5,0	1:5.000
20	10,0	1:10.000 (1:25.000)
40	20,0	(1:50.000)

(Los valores entre paréntesis se refieren a la cartografía oficial del Instituto Geográfico Nacional o del Servicio Geográfico del Ejército)

#### 5.4.2. Rugosidad

El coeficiente de rugosidad se obtendrá generalmente de forma empírica con base en los datos bibliográficos y con inspección visual de los tramos, como por ejemplo el método propuesto por el U.S.S.C.S. o los valores proporcionados por Ven Te Chow. Si existen datos de propagación reales de avenidas podrá realizarse una calibración, aunque hay que tener en cuenta la variación de la rugosidad con niveles mayores de inundación.

También será conveniente el conocimiento de los valores adoptados en otros casos de simulación de roturas. En general se recomienda adoptar posiciones conservadoras aumentando los valores empleados tradicionalmente en la propagación de avenidas naturales.

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

A partir del análisis de la geometría del valle y de la visita del terreno se localizarán las obras singulares que por su importancia pudieran producir obstrucciones significativas en el cauce o dar lugar a fenómenos hidráulicos de naturaleza local que pudieran incidir de manera muy importante en la propagación de la onda. Tal es el caso de terraplenes de infraestructuras viarias 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 % .

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

## **5.5. ESTIMACION DE RIESGOS AGUAS ABAJO**

La cartografía de las zonas de inundación potencial debe reflejar el estado actual de ocupación, principalmente en lo referente a viviendas, estructuras habitadas y servicios esenciales. En los casos en que estén aprobados planes de urbanismo u otras figuras de planeamiento debe tenerse en cuenta su existencia a efectos de prever el estado futuro de ocupación. Las afecciones y daños potenciales serán función de las variables hidráulicas obtenidas con la modelación hidráulica de la propagación de la onda de rotura teniendo que evaluar, en general, los efectos del calado y la velocidad. Para ello se emplearán como ayuda al juicio ingenieril relaciones empíricas entre productos del calado y la velocidad y afecciones, o curvas como las mostradas en las Fig. II.1 y II.2 en las que se indican los límites de afección a vidas, en núcleos urbanos y viviendas o en campo abierto, según los valores de los calados y velocidades.

En estas figuras se divide el plano calado-velocidad, entendida esta como velocidad media, en tres zonas que corresponden a las situaciones de no afección, afección y a un área intermedia de indefinición, en la que la valoración de la afección es función del caso concreto, a evaluar por aplicación del juicio ingenieril.

## **5.6. TIEMPO DE PREAVISO**

A los efectos de clasificación de las presas para la aplicación de la Directriz y para la evaluación de daños potenciales no se considera la incidencia que en estos tiene la existencia de un tiempo de preaviso y la puesta en marcha de medidas de emergencia.

## **6. CLASIFICACION DE LAS PRESAS**

### **6.1. PRESAS EXISTENTES**

Con base en los criterios expuestos en este Capítulo II y con los métodos expuestos en el Capítulo III, el titular de la presa dispone de suficientes herramientas para cumplir con lo indicado en la Directriz para hacer una propuesta de clasificación.



RIESGO PARA VIDAS HUMANAS EN FUNCION  
DEL CALADO Y LA VELOCIDAD  
A) EN AREAS DE VIVIENDAS/NUCLEOS URBANOS

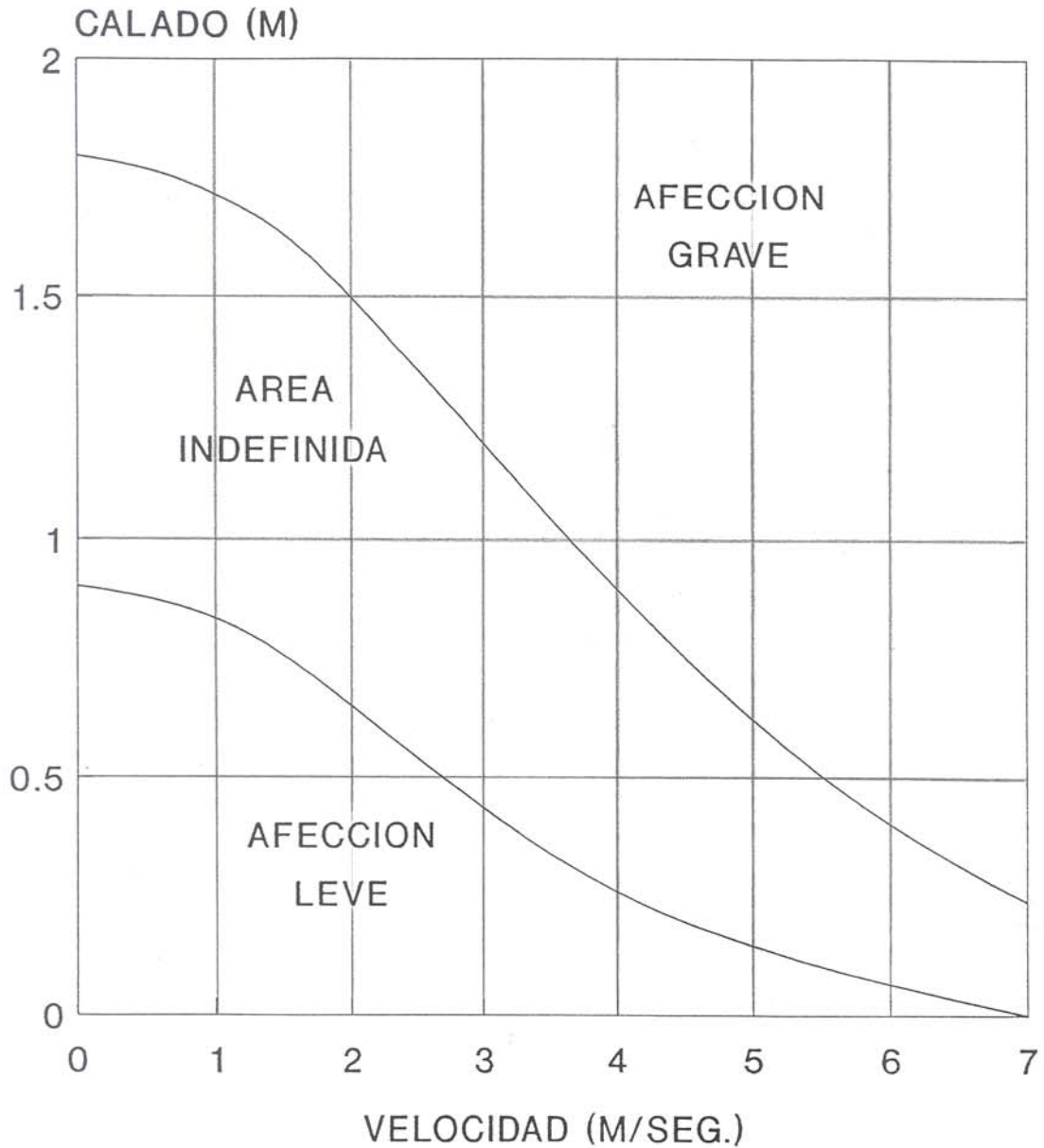


FIGURA II-1

RIESGO PARA VIDAS EN FUNCION DEL CALADO Y LA VELOCIDAD  
Y LA VELOCIDAD  
B) EN CAMPO ABIERTO

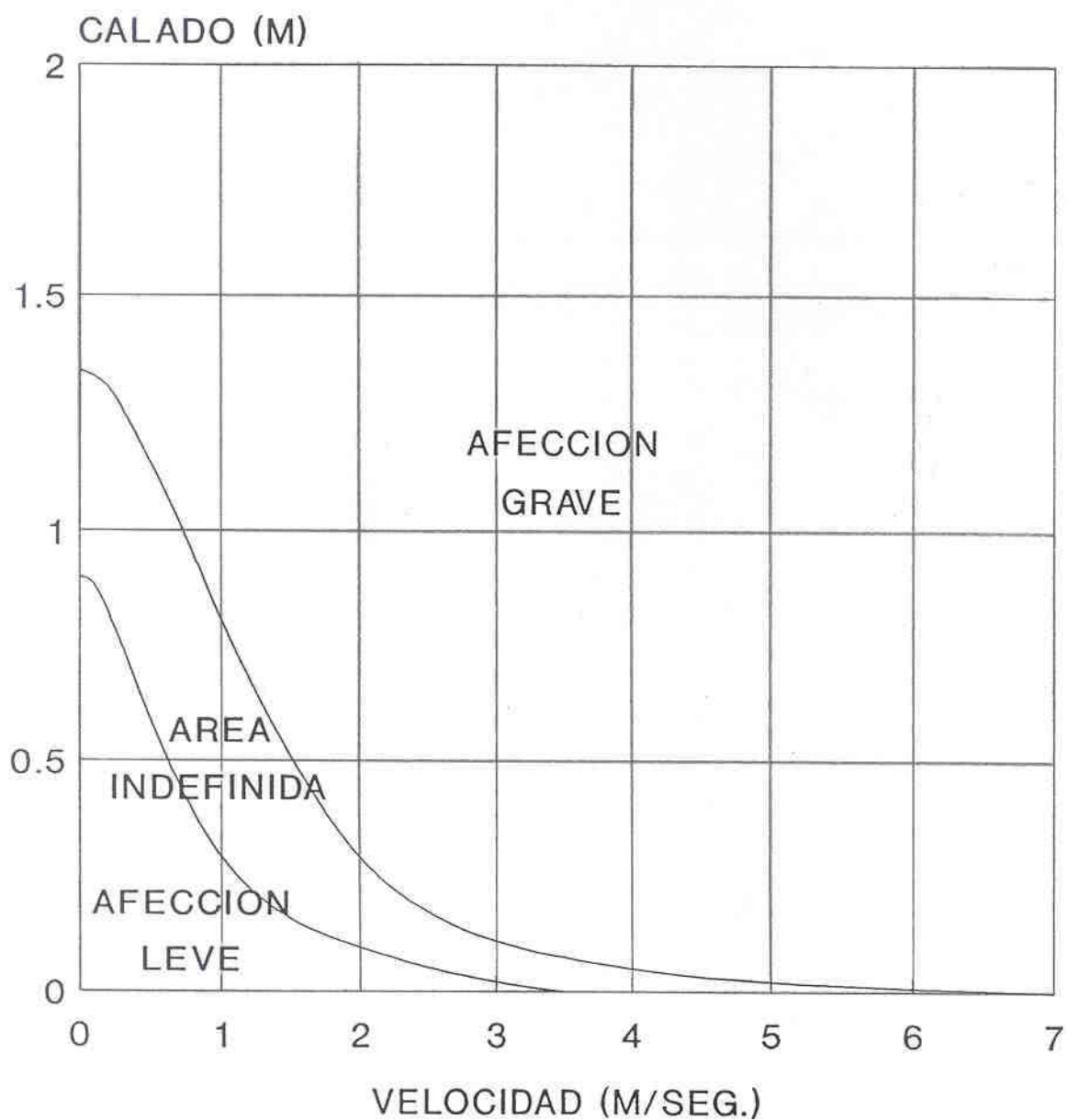


FIGURA II-2

Además estas propuestas serán, con los desarrollos y recomendaciones indicadas, lo más objetivas y consistentes posibles, lo que facilitará a la Dirección General de Obras Hidráulicas el seguimiento y aprobación de las clasificaciones, tal y como indica la Directriz en su Artículo 3.5.1.3. y en el Reglamento Técnico en su Artículo 3.2.

Sin embargo hay que señalar que en ciertos casos de presas importantes, su clasificación en la categoría A, de acuerdo con los criterios señalados, será obvia, e, inmediatamente, el juicio ingenieril dispondrá de elementos suficientes para formular una propuesta de clasificación basada solamente en planos topográficos existentes y en una visita al campo. Esto ocurre por ejemplo cuando en la zona de inundación, en las proximidades de aguas abajo de la presa, existe un núcleo urbano que claramente resultaría afectado gravemente en el caso de una posible rotura de la presa.

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 otra categoría mayor, deberán realizarse estudios de rotura, aún cuando las estimaciones de parámetros y la metodología a emplear puedan ser simplificadas. Con ello se comprobará la certeza de la afección en las de categoría A o la nula afección en las de categoría C. En cualquier caso siempre se documentará y justificará la propuesta que se realice.

## **6.2. PRESAS DE NUEVA CONSTRUCCION**

El titular de una presa de nueva construcción deberá abordar el análisis que permita su clasificación según los criterios expuestos hasta ahora en el presente documento, lo que implica, si es el caso, tomar en consideración los efectos que induce en las presas existentes agua abajo.

Adicionalmente deberá estudiar la clasificación de todas las presas existentes agua arriba de su emplazamiento en la nueva situación planteada por la construcción propuesta. Caso de que del estudio se concluyera la necesidad de modificar la clasificación de alguna de ellas, será su responsabilidad la presentación a la autoridad competente de la documentación instando a dicho cambio de clasificación.

## **CAPITULO III**

### **METODOLOGÍA**

## 1. INTRODUCCION

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.

Para el análisis de las roturas de presas existen gran variedad de métodos, algunos de ellos todavía en proceso de investigación y desarrollo. En el reciente estudio de la ICOLD sobre "Dam Break Flood Analysis" realizado por el Subcomité de "Analysis of dam break flooding and related parameters normally assumed" se presenta una descripción de los diferentes métodos y se describen 27 modelos existentes, de los que solo unos pocos están normalmente extendidos en la práctica.

En la presente Guía Técnica se recomienda, en general, el empleo de métodos hidráulicos de tipo completo, es decir, de métodos que se basan en las ecuaciones dinámicas del movimiento. Sin embargo hay que señalar que en casos de clasificaciones obvias, en los que el juicio ingenieril dispone de elementos suficientes para formular una propuesta de clasificación, podrá ser suficiente el empleo de aproximaciones alternativas, como por ejemplo los métodos simplificados que se presentan y que adicionalmente sirven para comprobar analíticamente la clasificación prevista y dotan de objetividad y consistencia a apreciaciones que pudieran ser subjetivas.

En cualquier caso, la metodología aquí expuesta no puede tener la consideración de obligatoria, sino que se trata de recomendaciones, siendo válidas metodologías distintas que, respetando los textos legales que originan la presente Guía Técnica y los criterios que los desarrollan establecidos en el Capítulo II, garanticen una clasificación correcta, si bien, en este caso, deberá justificarse la validez de la metodología empleada.

## 2. **LIMITE DEL ESTUDIO HACIA AGUA ABAJO**

El límite agua 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 agua 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 Categoría A.
- Desembocadura del cauce en el mar.
- Entrada en un embalse capaz de recibir la onda total de rotura sin provocar vertidos.
- No ocupación agua abajo del punto por viviendas, servicios, bienes económicos o aspectos medioambientales.
- Alcanzar un caudal máximo inferior a la capacidad del cauce, sin producir inundaciones ni en las márgenes ni agua abajo.

## 3. **ORDEN DE ANALISIS POR TIPO DE DAÑO**

Se recomienda el siguiente orden de evaluación:

- 1º. Afecciones a núcleos urbanos, viviendas y vidas humanas.
- 2º. Afecciones a servicios esenciales.
- 3º. Daños materiales.
- 4º. Daños medioambientales.

#### 4. **ESCENARIOS DE ROTURA. METODOLOGIA GENERAL**

Como se ha expuesto en el Capítulo II, 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 máximo nivel de normal explotación, y, el segundo, al caso de rotura coincidente con avenidas. En este último caso los riesgos potenciales atribuibles a la rotura se evalúan como el incremento de daños potenciales que se presentan en dicho escenario respecto a los que ya se hubieran producido con el desagüe de la avenida considerada, en el supuesto de no rotura de la presa. La clasificación a asignar a la presa corresponde obviamente al escenario más desfavorable.

En términos generales, la metodología se basa en el análisis de los efectos agua abajo de tres situaciones o supuestos distintos:

1. Rotura de la presa, sin coincidencia con ninguna avenida (rotura sin avenida y con el embalse en su máximo nivel normal de explotación).
2. Rotura de la presa coincidente con la avenida máxima considerada (rotura en situación de avenida y con el nivel de embalse en coronación).
3. Avenida máxima considerada, supuesta la no rotura de la presa (solo avenida y desaguando en las condiciones de proyecto).

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 de rotura sin avenida (si se prevén daños altos), bien con el caso correspondiente al supuesto de rotura en situación de avenida (si se prevén daños reducidos).

Caso 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, caso de haber iniciado el trabajo a partir del supuesto en situación de avenida, si la categoría que le corresponde, sin deducción de los daños atribuibles a la avenida, 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 III-1.

Como se desprende de dicha figura, el proceso se inicia con el análisis del escenario de rotura sin avenida. Si en este escenario la categoría en la que queda clasificada la presa es la A, esta será la categoría asignada. Si, por contra, resulta una clasificación inferior, es necesario realizar el análisis en el escenario de rotura en situación de avenida y comparar la clasificación que se deriva con la correspondiente al escenario de rotura 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 sin rotura de la presa. Por comparación entre los dos supuestos de rotura en situación de avenida y presa sin rotura desaguando la avenida considerada, se pueden evaluar los efectos incrementales de la rotura y, por tanto, clasificar la presa. La clasificación final de la presa corresponderá a la mayor entre la asignada en el escenario de rotura sin avenida y la correspondiente a los efectos incrementales del escenario de rotura en situación de avenida respecto al supuesto de avenida sin rotura.

En el caso de rotura encadenada de presas deben analizarse los escenarios expuestos en el punto 5.2.1. del capítulo II (escenarios sin avenida y en situación de avenida), añadiendo a los escenarios tradicionales el escenario de rotura encadenada de presas y las avenidas concomitantes si existen afluentes de entidad entre las presas.

El proceso conjunto comenzará con una primera evaluación de las presas considerando las hipotéticas roturas como si las presas fueran independientes. Si las presas se catalogaran como de categoría A, esto sería suficiente para el objetivo de su clasificación (no para el desarrollo de los mapas de inundación necesarios para los planes de emergencia pero no indispensable a efectos de clasificación).



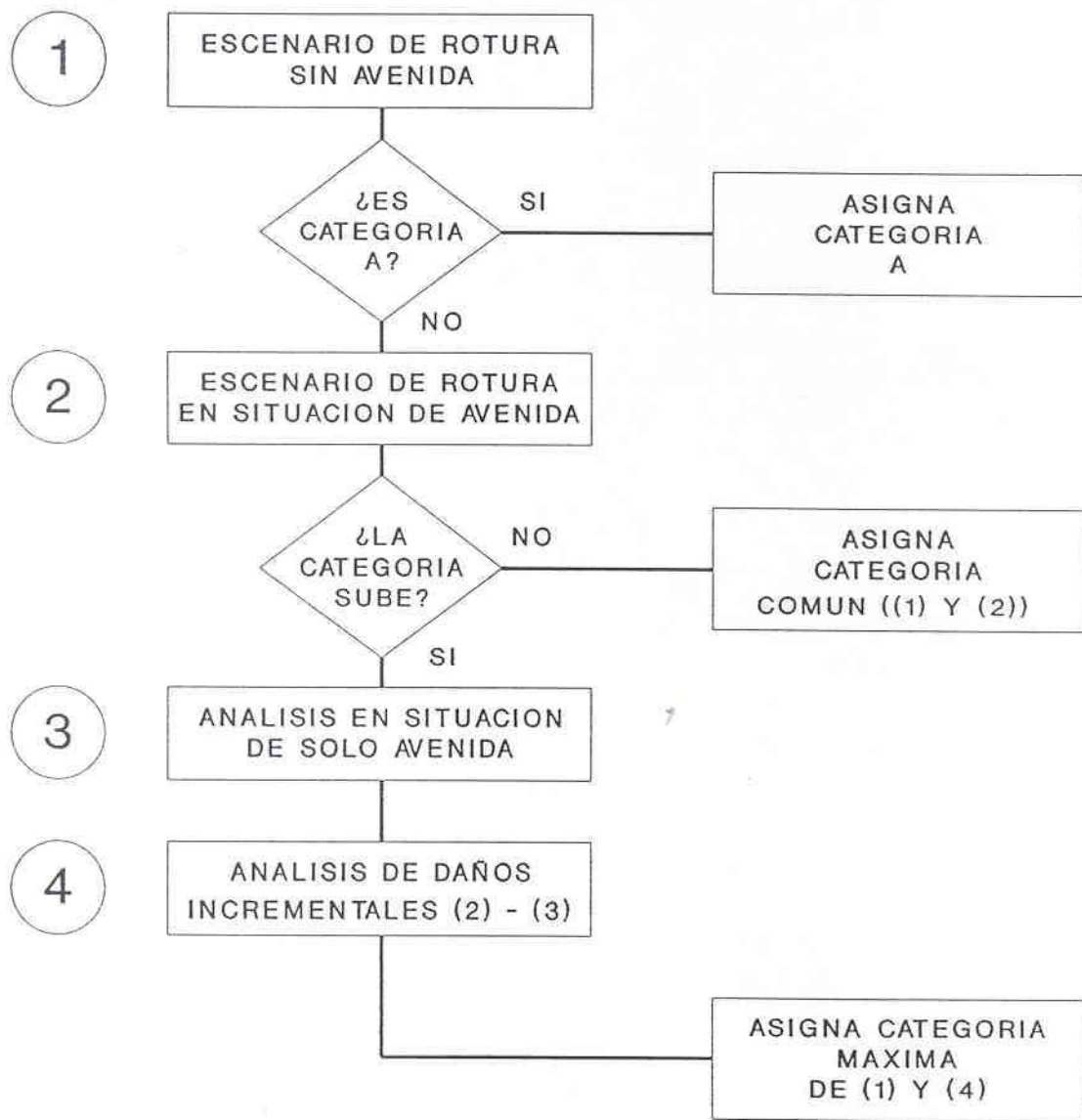


FIG. III-1. PROCESO DE CLASIFICACION

Si no es este el caso, deberán realizarse los análisis para el conjunto de las presas, considerando, desde agua arriba, las ondas de rotura que se van propagando y afectando a las presas sucesivamente. Este análisis se iniciará con situaciones de escenarios de embalses en niveles máximos normales de explotación y, si es necesario, se continuará con los escenarios en situaciones de avenida. En este último caso, las evaluaciones de daños se refieren, como en el caso de rotura individual, a su aspecto incremental sobre los efectos de la propagación de las avenidas consideradas.

## **5. METODOS PARA EL ESTUDIO DE LA INUNDACION CONSECUENCIA DE LA ROTURA DE UNA PRESA**

Existen diversos métodos para el estudio de la formación y propagación de las ondas de rotura de presas, de las que en este documento se presentan cuatro tipos que, ordenados de mayor a menor complejidad, son los siguientes:

- método completo (modelos hidráulicos completos)
- método simplificado de modelización
- método mixto hidrológico-hidráulico
- método simplificado de las curvas envolventes

El método completo es el más preciso y el único que considera las características reales del movimiento en régimen variable de la propagación de la onda de rotura, así como los posibles efectos de las secciones hidráulicas agua abajo en la propagación agua arriba del movimiento. Por ello, en general, es el método recomendable para el análisis de la clasificación de las presas. Sin embargo, en el caso de clasificaciones obvias y para sustentar el juicio ingenieril y dotarle de consistencia y objetividad, se recomienda el empleo de métodos y modelos simplificados. Sólo se admitirán propuestas de clasificación sin el empleo de ningún tipo de método de cálculo de la onda de rotura en casos de presas que resulten clasificadas en la categoría A, por tener agua abajo núcleos urbanos que claramente resulten afectados gravemente por una posible rotura de presa, sin que exista ningún tipo de duda sobre dicha afección. Incluso en este caso, la propuesta de clasificación debe estar documentada y justificada.

### **5.1. METODO COMPLETO (MODELOS HIDRAULICOS COMPLETOS)**

De entre los numerosos modelos existentes, se recomienda el empleo del modelo DAMBRK o de posibles versiones posteriores actualizadas, del National Weather Service (NWS) USA, por ser el modelo actualmente más versátil, experimentado, práctico y, también, el recomendado en normativas de otros países. Adicionalmente, estos modelos tienen la consideración de públicos.

Este método utiliza métodos paramétricos para el establecimiento y progresión de la brecha de rotura y métodos hidráulicos de análisis de régimen variable para el estudio del avance de la onda de rotura y la determinación de las áreas de inundación.

Proporciona directamente resultados en términos de cota máxima de lámina alcanzada y velocidad del agua, por lo que la determinación del área inundada y de las características de la inundación es directa.

Alternativamente, es preciso señalar que existen otros programas o procedimientos en el mercado con prestaciones al menos semejantes y cuya validez, por tanto, es obvia, si bien en estos casos será preciso documentar en la propia propuesta la justificación de la validez.

Los modelos antes citados son unidimensionales, por lo que en algunos casos extremos, caracterizados por secciones altamente irregulares, valles muy sinuosos y con cambios muy bruscos en las secciones o llanuras de inundación, 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.

## 5.2. METODO SIMPLIFICADO DE MODELIZACIÓN

El método simplificado que se propone, en consonancia con el método completo, es el SIMPDBK del NWS.

El modelo SMPDBK es un modelo sencillo para la evaluación de las características del pico de la onda producida por una rotura de presa. Permite, con una mínima potencia computacional (calculadora de bolsillo), determinar el caudal punta de la onda, el calado y el tiempo de presentación en puntos seleccionados agua abajo de la presa cuya rotura se analiza. Este modelo calcula en primer lugar el caudal punta desaguado en la presa en función del volumen de embalse y de la descripción geométrica y temporal de la brecha. Una vez establecido el hidrograma de salida, analiza su laminación a lo largo del cauce en función de curvas de amortiguación que incorpora el propio modelo. El calado se determina, en función de la geometría del cauce, de su pendiente y de su rugosidad, como correspondiente al caudal punta laminado.

Mientras que la gran ventaja de este método radica en su sencillez y en la no necesidad de utilización de potentes equipos informáticos, sus inconvenientes se centran en su limitada exactitud ya que, fundamentalmente, por una parte, ignora los efectos hacia agua arriba que inducen las condiciones agua abajo, y, por otra, utiliza unas curvas de amortiguamiento "tipificadas" a partir de numerosas pasadas del modelo más general DAMBRK y, por tanto, solo aproximadas al caso concreto.

### 5.3. METODO SIMPLIFICADO DE LAS CURVAS ENVOLVENTES

El método de las curvas envolventes, propuesto como alternativa más sencilla, consiste en la aplicación directa de las familias de curvas que se acompañan como figuras III-2 a III-9 y que se han establecido a partir de múltiples pasadas del programa DAMBRK. En general esta metodología corresponde al escenario de rotura sin avenida y sólo puede ser usada como comprobación de las clasificaciones de las presas en las que sus características y las de los cauces agua abajo hagan prever una clasificación A o, más relativamente, C. En otros casos puede servir, dada su simplicidad, como referencia y encaje inicial de la problemática.

El núcleo central del método lo constituyen las curvas que se recogen en las figuras III-2 a III-9 y que se agrupan en dos familias de cuatro gráficos cada una: curvas envolventes de mínimos (figuras III-2 a III-5) y curvas envolventes de máximos (figuras III-6 a III-9). En cada una de las figuras de envolventes de mínimos aparece una familia de curvas, cada una de las cuales corresponde a un valor determinado de uno de los parámetros considerados. Cada una de estas curvas representa la envolvente superior de las relaciones entre el calado y el parámetro característico de la altura de la presa que corresponden a todos los casos posibles, dentro del rango de variación de los restantes parámetros indicados en la propia figura. Del mismo modo, las figuras correspondientes a envolventes de máximos tienen una estructura semejante, referida a valores máximos.

La gran ventaja que presenta este método es su sencillez, ya que su aplicación, que no necesita ningún apoyo informático, únicamente requiere las siguientes etapas:

- 1) Estimación de los parámetros siguientes:
  - $H$  = Calado de agua en el paramento agua arriba de la presa en el momento de la rotura (m).
  - $V$  = Volumen de embalse en la situación anterior ( $Hm^3$ ).

- $X$  = Distancia entre el pie de presa y el punto en el que se analizan las afecciones (m).
- $S$  = Pendiente media del cauce en el tramo anterior (tanto por uno), esto es, cociente entre la diferencia de cotas entre el pie de la presa y el cauce en la sección estudiada (m) y la distancia  $X$  (m).
- $n$  = Coeficiente de rugosidad de Manning medio en el mismo tramo anterior.
- $F$  = Forma media del valle inundado en el mismo tramo anterior (adimensional), expresado como relación entre la anchura del valle y el calado de agua que le corresponde. Se evalúa como media del tramo para calados del entorno de los correspondientes a la rotura y se clasifica en tres tipos:
  - angosto:  $2 < F < 6$
  - medio:  $6 < F < 20$
  - abierto:  $20 < F < 50$
- $Tr$  = Tiempo de rotura de la presa (horas).

2) A partir de los parámetros anteriores se determinan los parámetros adimensionales complementarios siguientes:

$$D = X * S/H \quad (\text{factor de distancia})$$

$$K = V/(H^3/(6.000.000 * S)) \quad (\text{factor de volumen})$$

$$E = K/F \quad (\text{factor de forma del embalse})$$

3) Con los valores obtenidos en los apartados anteriores se entra ya en los gráficos. Estos tienen un rango de aplicación en función de siete parámetros. En caso de que alguno de los valores de los parámetros no estuvieran dentro del rango señalado en el propio gráfico, este no sería de aplicación al caso considerado.

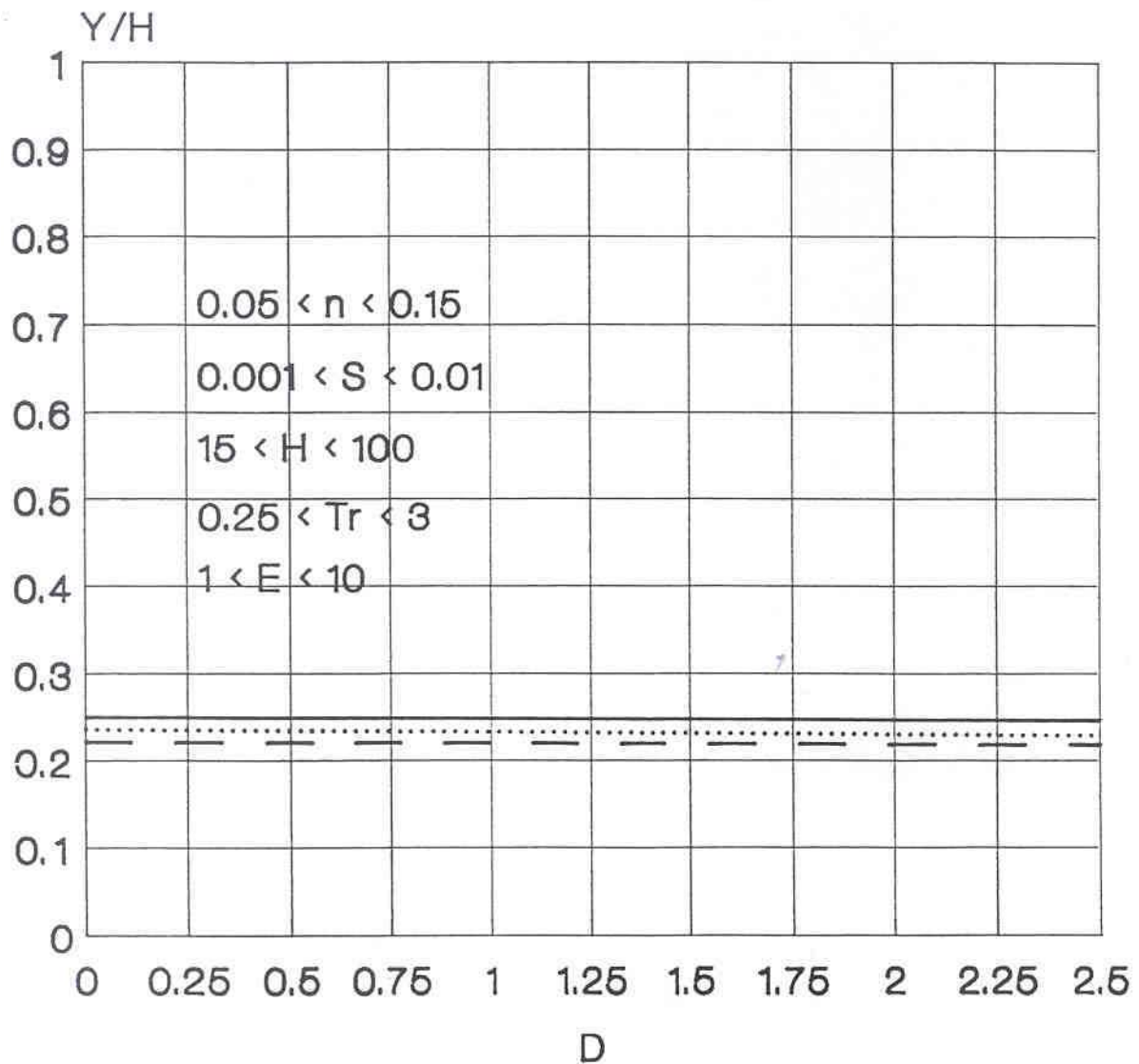
Entrando en abcisas con el valor  $D$  se obtiene en ordenadas en cada gráfico un valor de  $Y/H$ , donde  $Y$  es, bien, el mínimo calado esperable en el caso de curvas envolventes de mínimos (figuras III-2 a III-5), bien el máximo calado esperable, en el caso de curvas envolventes de máximos (figuras III-6 a III-9).

Dado que este método puede utilizarse para presas que previsiblemente vayan a ser clasificadas en categorías A o C, cabe contemplar dos casos fundamentales y un tercero de carácter general. Estos casos son los siguientes:

- a) En el caso de una presa para la que se prevea categoría A, se utilizarán los cuatro gráficos de envolventes de mínimos (figuras III-2 a III-5), cada uno de los cuales tiene su rango de aplicación definido en el propio gráfico y tres o cuatro curvas que, en cada caso, son función de la forma del cauce (III-2), de la pendiente media (III-3), de la rugosidad media (III-4) y del volumen de embalse (III-5).

De esta forma, caso de estar dentro del rango de aplicación de los cuatro gráficos, se obtienen cuatro valores de  $Y/H$  de los que se deducen cuatro valores de  $Y$ , esto es, del calado que, como mínimo, se producirá en el punto en el que se estudia la afección. El agua alcanza necesariamente el mayor valor de estos calados, por lo que este valor define la cota de afección segura. Lo que está por debajo será necesariamente afectado mientras que la afección de lo situado por encima queda, en principio, indeterminada.

# ENVOLVENTE DE CALADOS MINIMOS EN FUNCION DE LA FORMA DEL CAUCE



FORMA DEL CAUCE (F)

—— ANGOSTO
..... MEDIO
—— ABIERTO

FIG. III-2



# ENVOLVENTE DE CALADOS MINIMOS EN FUNCION DE LA PENDIENTE MEDIA

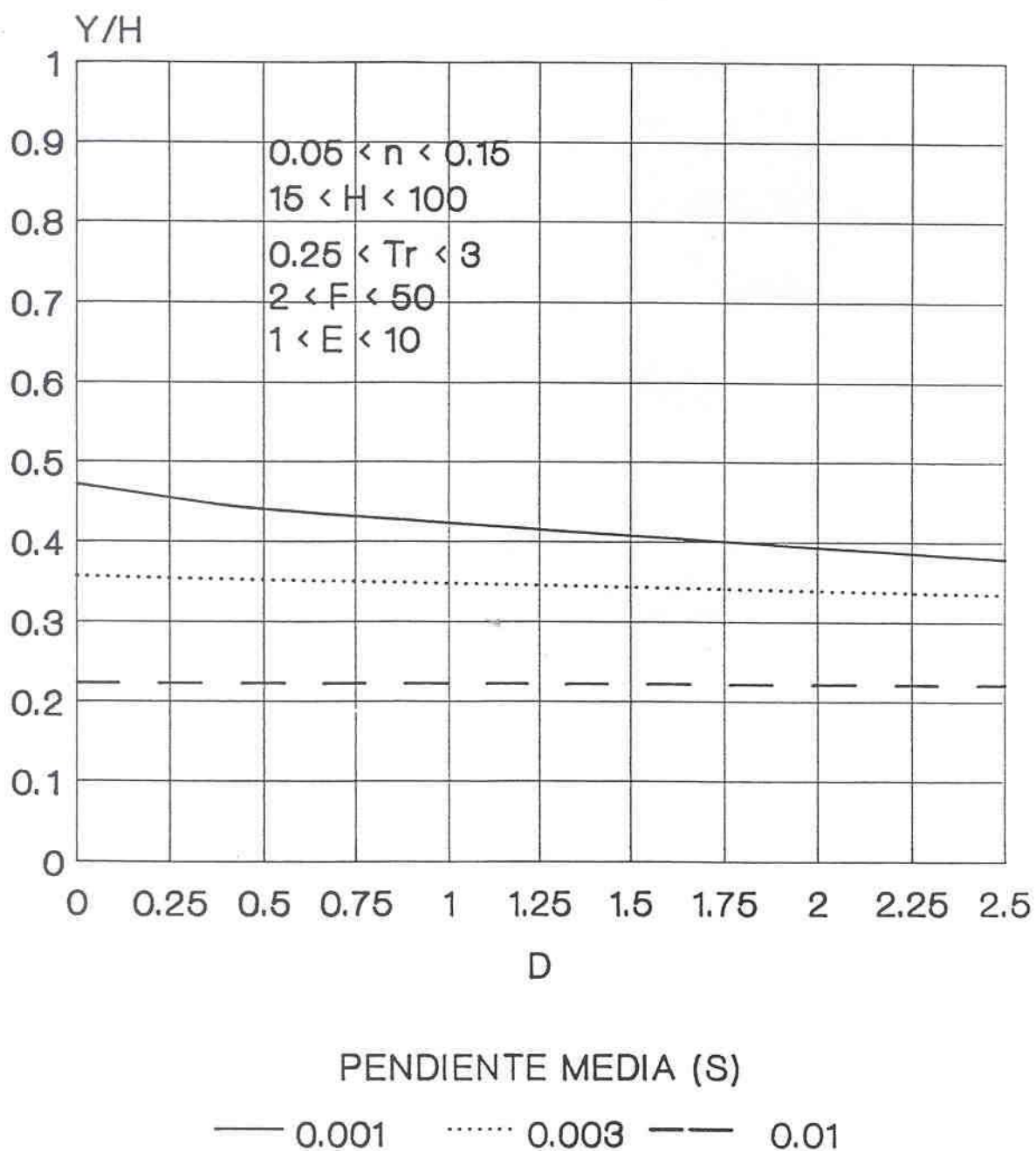


FIG. III-3

# ENVOLVENTE DE CALADOS MINIMOS EN FUNCION DE LA RUGOSIDAD

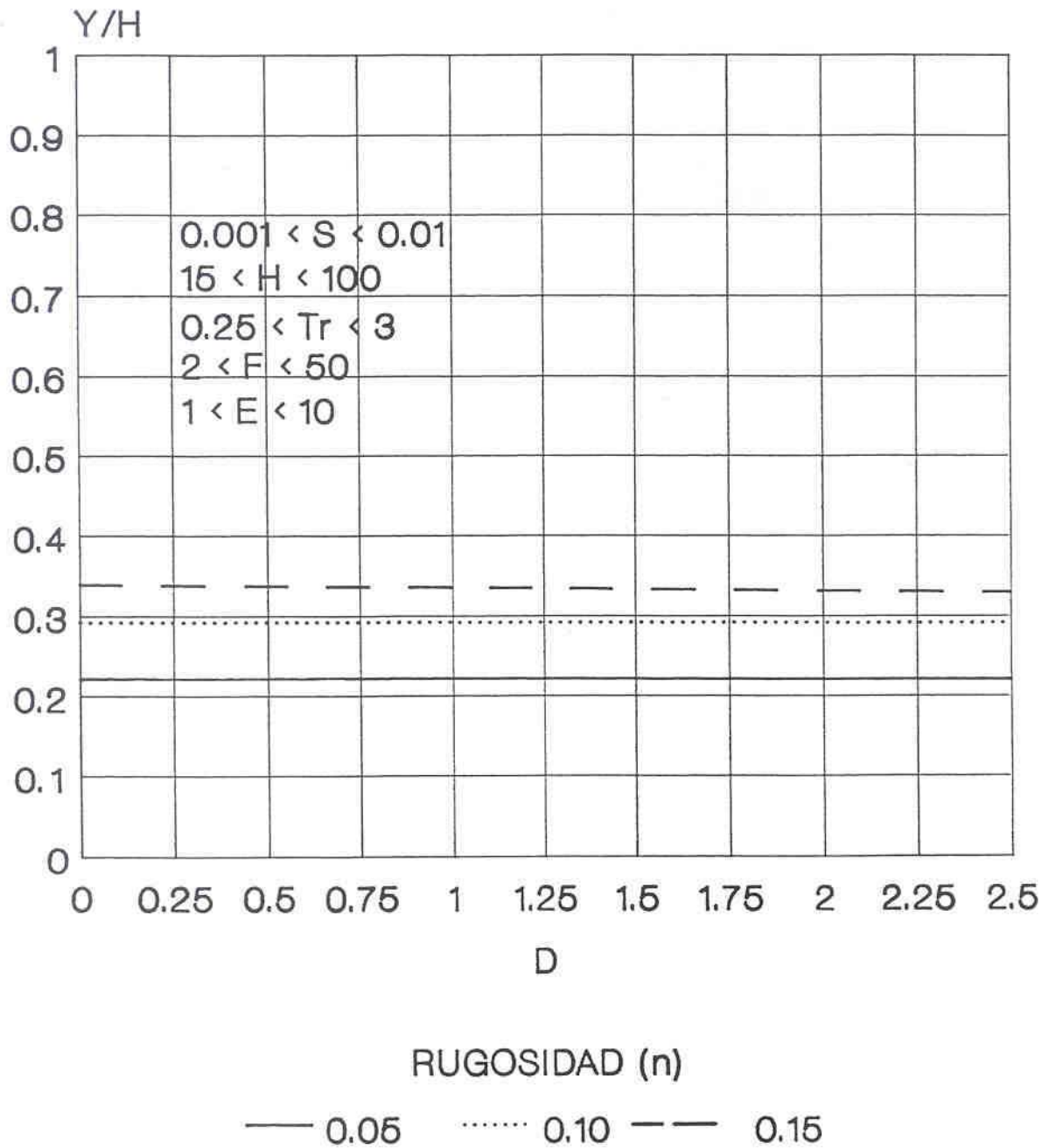


FIG. III-4

# ENVOLVENTE DE CALADOS MINIMOS EN FUNCION DEL VOLUMEN DE EMBALSE

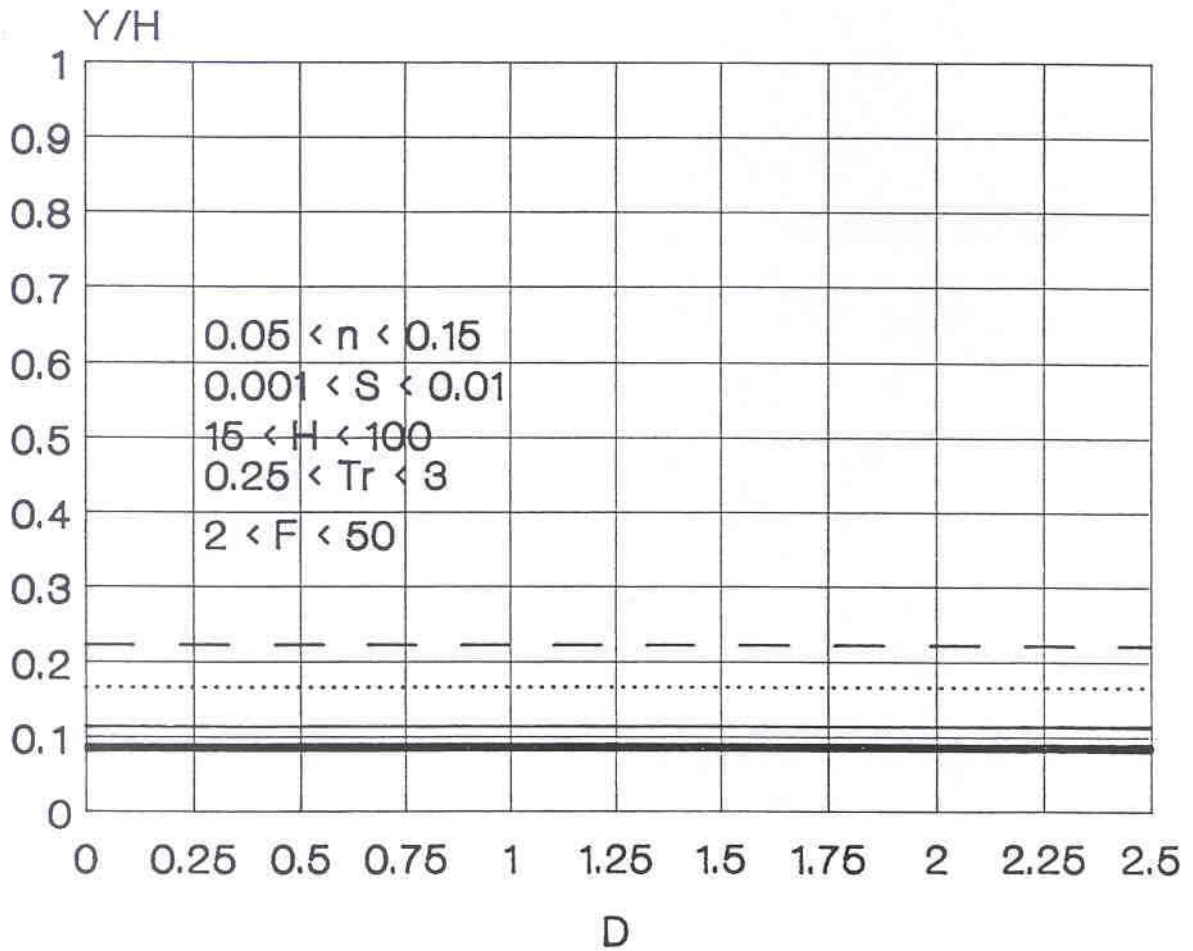


FIG. III-5

- b) De forma similar a la expuesta en el apartado anterior, para comprobar si a una presa le corresponde la categoría C se utilizarán los cuatro gráficos de envolventes de máximos (figuras III-6 a III-9), que también tienen su rango de aplicación definido en el propio gráfico y tres o cuatro curvas que, en cada caso son también función de la forma del cauce (III-6), de la pendiente media (III-7), de la rugosidad (III-8) y del volumen de embalse (III-9).

Igualmente se obtendrían cuatro valores de  $Y/H$  de los que se deducen cuatro valores de  $Y$ , que, en este caso, representan el calado que, como máximo, alcanzará el agua en el punto en que se estudia la afección. El agua nunca alcanzará un calado superior al menor valor de todos ellos, por lo que este valor define la cota por encima de la cual no se produce afección. Por debajo de esa cota no puede asegurarse si se produce o no afección (zona indeterminada).

En este caso de utilización de los gráficos para comprobar una clasificación prevista en categoría C es preciso plantear una serie de consideraciones adicionales:

- Así como en el caso de previsión de categoría A basta comprobar que se producen determinadas afecciones en un único punto, en el caso de previsión de categoría C es necesario comprobar la no existencia de afecciones significativas en todos los puntos en que ello es posible.

# ENVOLVENTE DE CALADOS MAXIMOS EN FUNCION DE LA FORMA DEL CAUCE

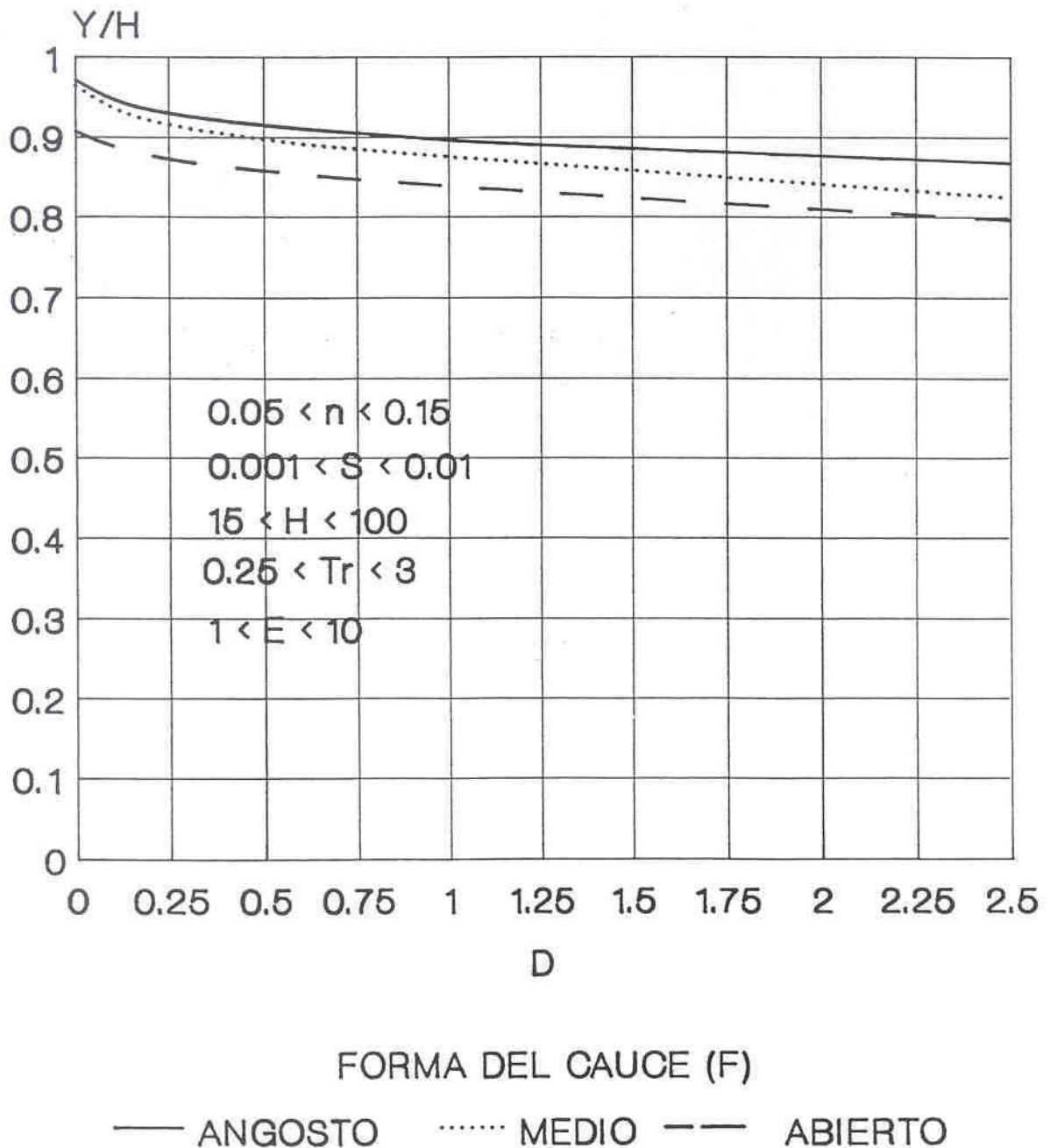
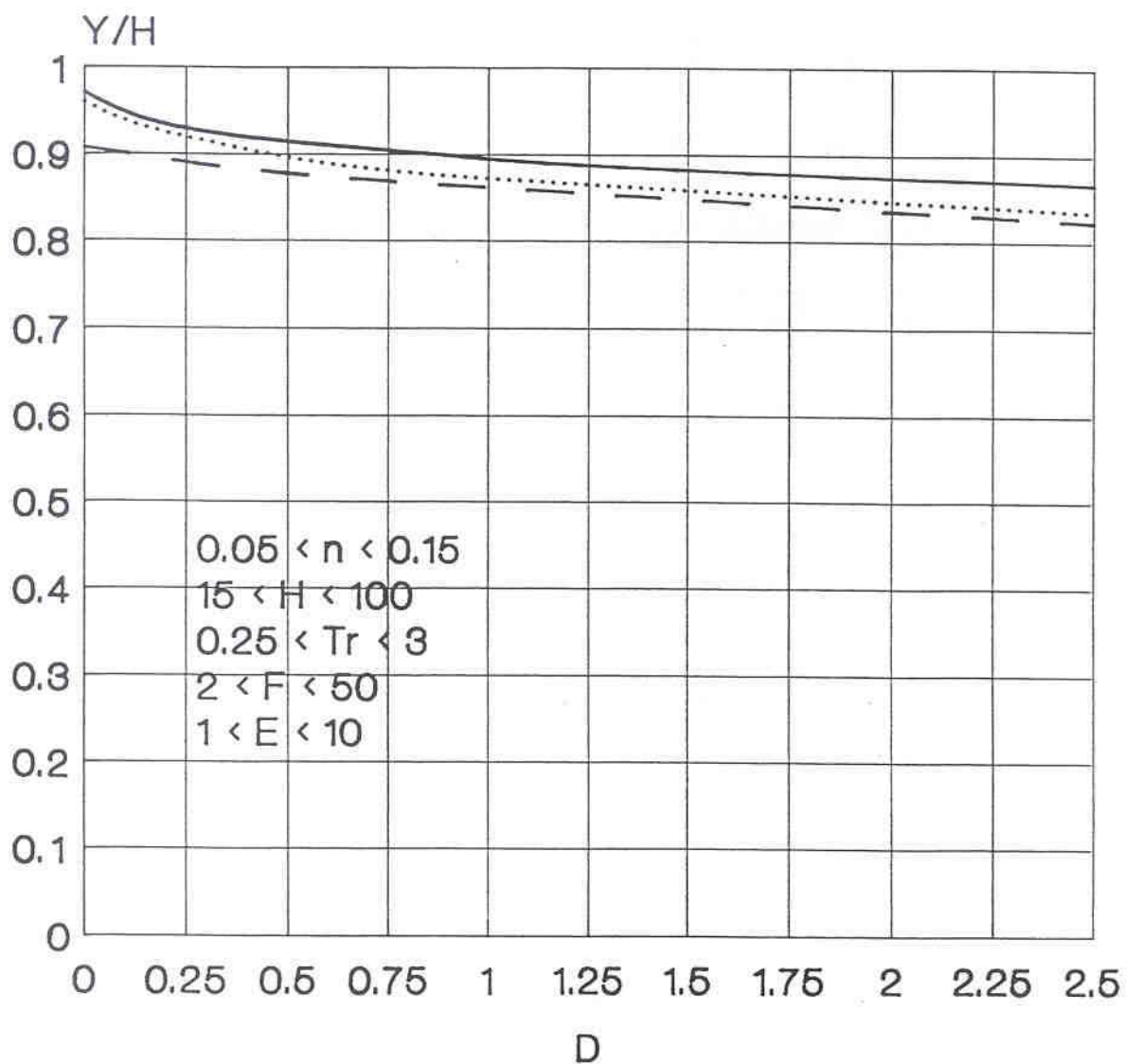


FIG. III-6

# ENVOLVENTE DE CALADOS MAXIMOS EN FUNCION DE LA PENDIENTE MEDIA



PENDIENTE MEDIA (S)

— 0.001    ..... 0.003    - - - 0.01

FIG. III-7

# ENVOLVENTE DE CALADOS MAXIMOS EN FUNCION DE LA RUGOSIDAD

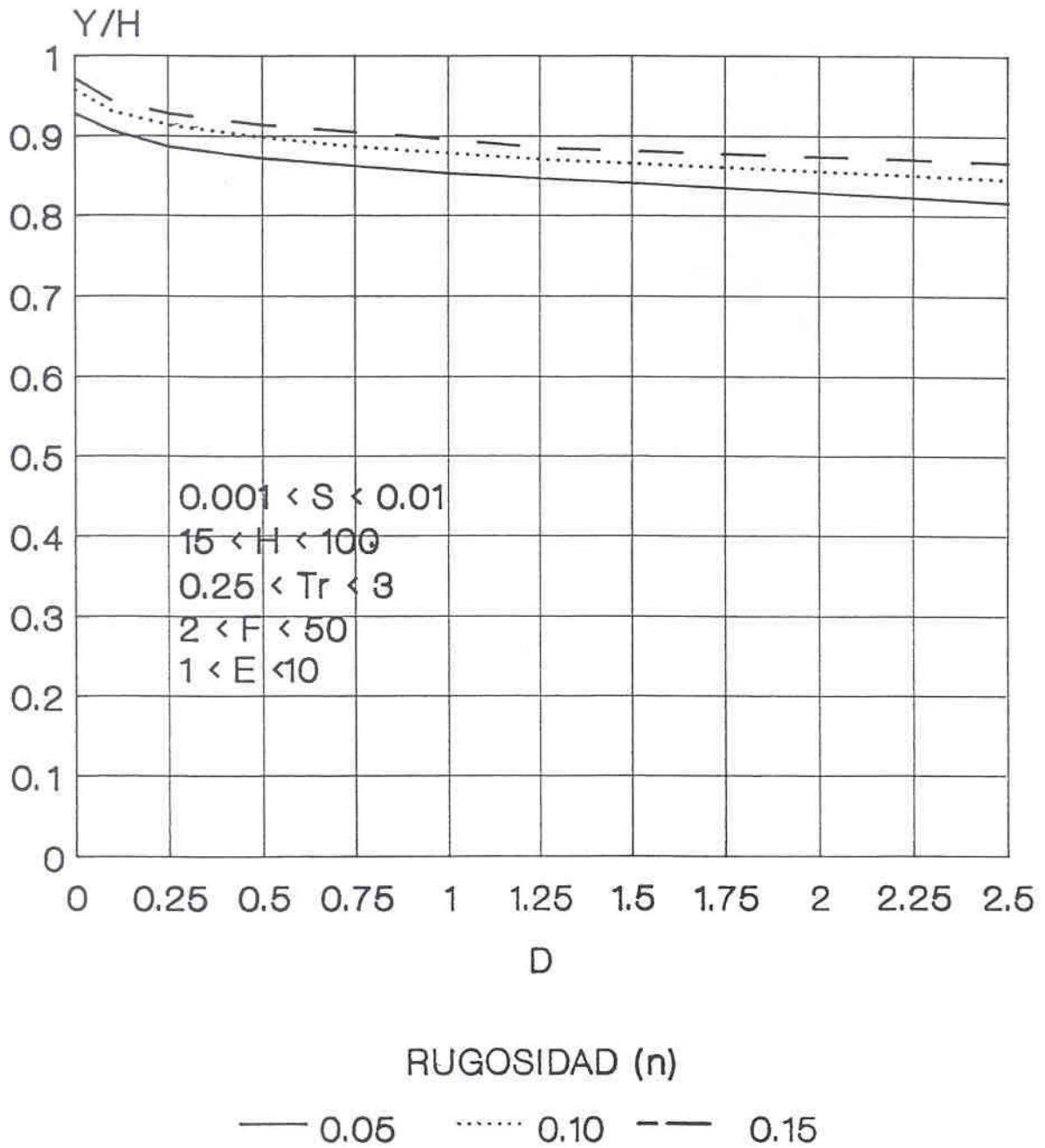
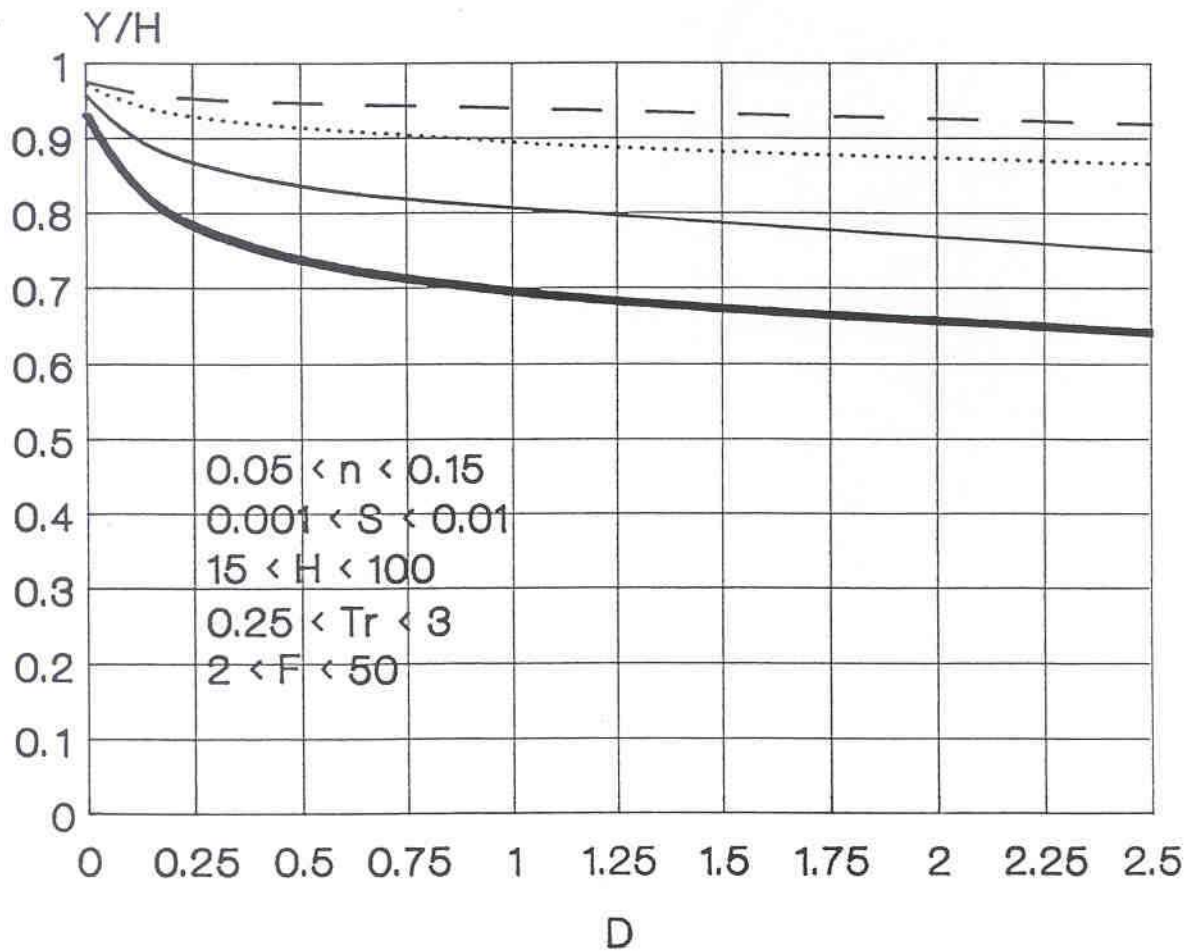


FIG. III-8

# ENVOLVENTE DE CALADOS MAXIMOS EN FUNCION DEL VOLUMEN DE EMBALSE



VOLUMEN DE EMBALSE

— K = 1

— K = 3

..... K = 10

- - - K = 25

FIG. III-9



- Como consecuencia de lo anterior, el rango de aplicabilidad referido a la distancia ( $D = X * S/H < 2,5$ ) puede ser suficiente en muchos casos en presas de categoría A, pero demasiado reducido en el caso de presas previstas como de categoría C. Sería necesario garantizar, por otros procedimientos, que no se producen afecciones significativas más allá de una distancia  $X = 2,5 * H/S$ , que, en el caso de presas pequeñas, puede ser reducida.
  
  - Así como la comprobación de la afección mínima (presas de categoría A) se debe realizar en el escenario de rotura sin avenida, al que corresponden los gráficos, la comprobación de la afección máxima (presas de categoría C) debe realizarse en el escenario de rotura en situación de avenida, al que no corresponden los gráficos, por lo que para dicha comprobación será necesario recurrir, complementariamente, a la aplicación de otros métodos, simplificados o completos.
- c) Con carácter general, en un mismo caso pueden ser aplicadas las dos familias de gráficos, de envolventes de mínimos y de máximos, y obtener para cada una de las secciones en que se quiera analizar las afecciones dos calados límites que darán lugar a delimitar tres zonas: zona de afección segura, zona de no afección y zona indeterminada. Esto únicamente podría ser válido como primera aproximación al problema.

Finalmente, debe señalarse que en los gráficos presentados son posibles las interpolaciones que sean necesarias, pero, en ningún caso se pueden plantear extrapolaciones.

#### 5.4. METODO MIXTO HIDROLOGICO-HIDRAULICO

Es este un método simplificado que se basa en la aplicación sucesiva de tres fases: determinación de la onda de rotura, estudio de su propagación y determinación de los niveles de agua correspondientes.

El caudal punta de la onda de rotura se determinará en función del volumen de embalse y de la altura de la presa sobre cimientos, para lo cual puede utilizarse la expresión de Hagen, que en unidades métricas es:

$$Q = K (V \cdot H)^{0,5}$$

donde:            Q = caudal punta de rotura (m<sup>3</sup>/seg)  
                      K = constante (780 para presas bóveda y 550 para los restantes casos)  
                      V = volumen de embalse (Hm<sup>3</sup>)  
                      H = altura de presa sobre cimientos (m)

Dada la sola relativa fiabilidad de la expresión anterior aplicada a casos concretos, deberá analizarse la sensibilidad de la clasificación resultante a la variabilidad de este parámetro, llegando a contemplar valores hasta un 50 % superiores, y contrastando, si fuera posible, los valores del caudal punta con los datos estadísticos de roturas históricas.

Se admitirá una forma triangular para el hidrograma. La base del triángulo será tal que el volumen del hidrograma coincida con el volumen total de embalse y la punta se situará centrada en el tiempo.

Alternativamente al procedimiento anterior, podrán utilizarse procedimientos paramétricos que determinen la onda de rotura a partir de las fórmulas hidráulicas de desagüe sobre un aliviadero en pared gruesa en un procedimiento incremental en el tiempo, como puede ser la subrutina incorporada al efecto al programa HEC-1, desarrollado por el U.S. Hydrologic Engineering Center.

La propagación de la onda de rotura a lo largo del cauce se estudiará por métodos hidrológicos (Muskingum, Puls u onda cinemática), teniendo presente que únicamente se dará como válido el resultado obtenido si variaciones importantes de los parámetros no inducen modificaciones en la categoría a asignar a la presa analizada.

Por fin, la determinación de niveles de agua y velocidades se realizará directamente por métodos hidráulicos suponiendo régimen permanente (situación estable en el tiempo) y suponiendo un caudal igual al máximo obtenido en la etapa anterior.

En general, la aplicación de este método debe realizarse con precaución y adoptando valores conservadores. Si existiesen dudas en la clasificación deberán utilizarse los métodos completos.

## **CAPITULO IV**

### **DOCUMENTOS QUE CONSTITUYEN LA PROPUESTA DE CLASIFICACION**

## 1. **DOCUMENTOS A INCLUIR EN LA PROPUESTA DE CLASIFICACION**

En la propuesta de clasificación se incluirá la siguiente información:

### 1. PROPUESTA DE CLASIFICACIÓN.

Se incluirá la clasificación propuesta, que deberá consistir en una y solo una de las categorías establecidas en la Directriz.

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

### 2. CARACTERÍSTICAS DE LA PRESA Y DEL EMBALSE.

#### a) Identificación de la presa y del titular.

- Denominación de la presa y del embalse.
- Titular.
- Datos del titular (domicilio, etc.).
- Datos de concesión (fechas de tramitación y finalidad).

#### b) Situación de la presa.

- Cauce y cuenca hidrográfica.
- Provincia y Comunidad Autónoma.
- Situación por coordenadas UTM.
- 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 y de coronación.
- Altura de la presa.
- Longitud de coronación.
- Cotas de máximo embalse normal y extraordinario.
- Órganos de desagüe.
- Caudales de desagüe de proyecto del aliviadero y otros órganos e desagüe.

- d) Características del embalse.
  - Longitud del embalse.
  - Volúmenes de embalse a cotas de vertedero, de coronación y correspondientes a MEN y MEE.
  - Aspectos singulares de explotación (¿embalse permanentemente vacío o lleno?).
- e) Características hidrológicas.
  - Avenidas, de entrada al embalse y laminadas, de proyecto y extrema, si ésta es conocida. Se presentarán los caudales punta, aportaciones y formas de los hidrogramas.

### 3. CARACTERÍSTICAS DEL CAUCE AGUA ABAJO

Se incluirá una referencia a las zonas sensibles situadas agua abajo, entendiendo como tales aquellas cuya afección por la rotura pudiera conducir a la clasificación de la presa en las categorías A o B.

- Situación a escala 1:50.000.
- Topografía utilizada para la clasificación.
- Tipología de la zona (núcleos urbanos, viviendas, zonas industriales y agrícolas, importancia medioambiental, etc.).
- Descripción cualitativa de la zona.

### 4. METODOLOGÍA Y DATOS BÁSICOS DEL ANÁLISIS.

- a) Metodología general de análisis aplicada.
  - ¿Se sigue la establecida en el presente documento?.
  - Caso afirmativo
    - Método o métodos utilizados.

- Caso negativo.
  - Descripción de la metodología aplicada.
  - Justificación documentada de la validez de la metodología en relación con los mínimos establecidos en estas recomendaciones.

b) Características básicas del análisis.

- Dimensiones de la brecha y justificación.
- Tiempo de desarrollo de la brecha y justificación.
- Longitud de cauce analizada y justificación.
- Escalas de trabajo y equidistancias y justificación.
- Características hidráulicas del cauce y justificación.

## 5. RESULTADOS DEL ANÁLISIS.

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

En el caso de aplicación del método descrito en el presente documento se incluirá la información que se indica. En caso contrario se incluirá la información equivalente, coherente con la metodología aplicada, descrita y justificada en el apartado (4. a.) . 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 de desarrollarse, en la medida que sean necesarios, los siguientes escenarios, empleando la metodología descrita en estas recomendaciones:

- 1) Escenario de rotura con nivel de embalse al máximo nivel de explotación normal. Categoría asignada y justificación.
- 2) Escenario de rotura en situación de avenida. Análisis de los supuestos de rotura con la avenida de proyecto, y no rotura con la avenida de proyecto. Afecciones incrementales. Categoría asignada y justificación.
- 3) 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 y su justificación.

La justificación de las categorías anteriores incluirán, 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.