

# Grado de Ingeniería Civil

## Proyecto y Construcción de Obras Marítimas

**Bases de Cálculo para Diques de Abrigo. Descripción de Modos de Fallo y Parada**

AMF, RBM , MOS

Dpto. Mecánica de Estructuras e Ingeniería Hidráulica  
Universidad de Granada

Granada, 1/04/2016

[www](#)

[inicio](#)



página 1 de 23

[fullscreen](#)

[salir](#)

# Planteamiento

- Dimensionamiento de obras de abrigo → interacción en planta y alzado con los agentes de proyecto: medio físico, terreno, uso y explotación, materiales y procesos constructivos.
- Interacción de la obra con los agentes → modos de fallo.
- Estudio de comportamiento de la obra → clasificación de mecanismos que conducen al fallo o parada en función de agentes de proyecto predominantes.

www

inicio



página 2 de 23

fullscreen

salir

- Verificación de modos de fallo → cumplimiento de requisitos de proyecto en términos de fiabilidad, funcionalidad y operatividad.
- Ecuación de verificación → informa sobre si el fallo ocurre o no, pero no indica la magnitud del mismo.

### Nota 1.

Verificación de cada modo de fallo frente a requisitos de proyecto → Método de Estados Límite, **ROM 0.0 (2001)**: comportamiento resistente —ELU—, comportamiento formal —ELS—, comportamiento operativo —ELO—.

www

inicio



página 3 de 23

fullscreen

salir



### Nota 2.

- ELU: los modos de fallo ocurren de manera definitiva debido a estados excepcionales o manifestaciones extremos de los agentes, cuya magnitud viene dada a través de sus descriptores → Será necesaria la reparación para recuperar requisitos de proyecto.
- ELS: los descriptores de los agentes superan un cierto umbral, pero no llegan a alcanzar manifestaciones extremas → La obra pierde propiedades estructurales y formales, y en consecuencia uso explotación, de manera que el análisis aporta información necesaria para tareas de conservación o reparación, con el objetivo de mantener o recuperar requisitos de proyecto.

www

inicio



página 4 de 23

fullscreen

salir

# Tramo de Obra

## Nota 3.

Se define el **tramo de obra** como el conjunto de secciones —una alineación— que cumplen una función específica y relevante de los requisitos de explotación de la obra. El conjunto de secciones del tramo se encuentran sometidas a los mismos niveles de acción de todos los agentes actuantes, formando parte de la misma tipología formal y estructural.

[www](#)

[inicio](#)



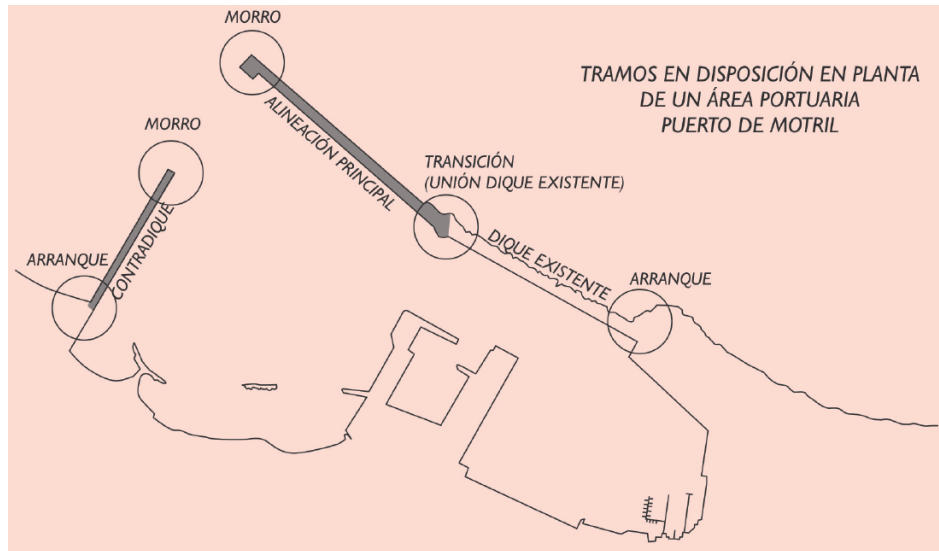
[página 5 de 23](#)

[fullscreen](#)

[salir](#)



- Ejemplo de tramo de obra: alineaciones principales y secundarias.



www

inicio



página 6 de 23

fullscreen

salir

# Descripción de Modos de Fallo y Parada

## Nota 4.

**Modo de fallo o parada:** manera, forma o mecanismo en que puede producirse el fallo o la parada operativa, describiéndose y caracterizándose en un estado límite.

[www](#)

[inicio](#)



[página 7 de 23](#)

[fullscreen](#)

[salir](#)

- Para cada tipología de dique de abrigo se considerarán, al menos, el conjunto de modos de fallo y parada operativa descritos en los diagramas de fallo correspondientes.
- Se debe procurar que dicho conjunto de modos de fallo sea completo y mutuamente excluyente → la ocurrencia de un modo excluye la ocurrencia de otro u otros y que con él, mediante las operaciones de unión, intersección, conjunto vacío y suceso complementario, se puede describir cualquier comportamiento del tramo.

[www](#)

[inicio](#)



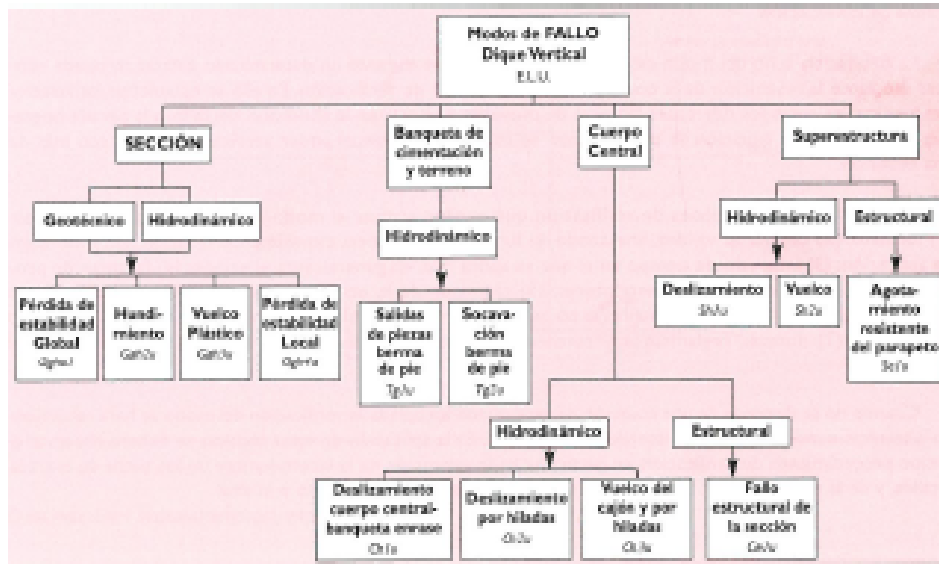
[página 8 de 23](#)

[fullscreen](#)

[salir](#)



- Ejemplo de diagrama de fallo para dique vertical, ROM 1.0 (2010):



www

inicio



página 9 de 23

fullscreen

salir

## Dominio Espacial

- Se describirá la zona en la que ocurre o a la que afecta el fallo o parada, distinguiéndose el conjunto de la sección y sus partes, elementos y subelementos, y el entorno, especificándose si afecta a la morfodinámica, litoral, a la calidad del agua o al ecosistema.
- Se considera que un modo se adjudica a una sección cuando afecta a dos o más de sus partes.
- Se considera que el modo se adjudica a una parte o a un elemento cuando afecta a dos o más elementos o subelementos respectivamente.

[www](#)

[inicio](#)



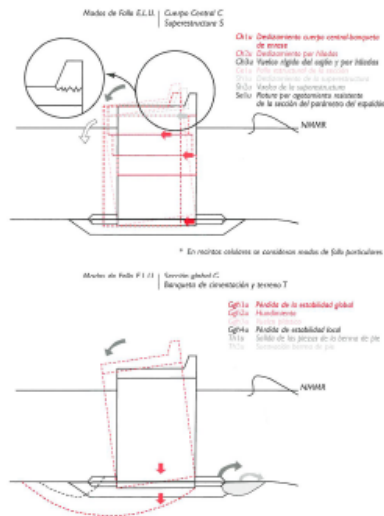
página 10 de 23

[fullscreen](#)

[salir](#)

# Mecanismo

- Se describirá el mecanismo o forma en que se produce el fallo o parada, evaluando su importancia y sus consecuencias para la seguridad, el servicio y el uso y la explotación.



www

inicio



página 11 de 23

fullscreen

salir

## Agentes Predominantes y Otros Agentes

- Se deben indicar los agentes predominantes y otros agentes que pueden participar en el desencadenamiento y evolución del modo de fallo, clasificándose por origen y analizándose su independencia.

[www](#)

[inicio](#)



[página 12 de 23](#)

[fullscreen](#)

[salir](#)

## Dominio Temporal

- Se incorporará la descripción del intervalo de tiempo en el cual puede producirse el modo de fallo. **Éste será en general el estado que por aplicación del método se considera un estado límite de proyecto.** Es importante definir en el estado los descriptores de los agentes —altura de ola significativa, periodo medio, dirección media y duración, etc. . . —.
- En cada caso se adscribirá la ocurrencia del modo de fallo a un estado límite, último, de servicio o de parada operativa, analizándose en qué condiciones de trabajo puede presentarse. Además se analizará su posible adscripción a más de un estado límite.

www

inicio



página 13 de 23

fullscreen

salir

## Forma de Verificación

### Nota 5.

La ocurrencia o no del modo de fallo o parada durante un estado se puede verificar mediante la ecuación de verificación.

**La ecuación de verificación establece las relaciones funcionales entre los diferentes factores de proyecto que definen la condición de fallo o parada operativa.** En general se trata de una ecuación de estado y es habitual poder verificar un modo de fallo con más de una ecuación.

www

inicio



página 14 de 23

fullscreen

salir

- Se analizarán las ecuaciones de verificación que pueden evaluar el modo de fallo o parada, detallando:
  - Formato.
  - Campo de validez, analizando su fundamento teórico, experimental o numérico, y su rango de aplicación.
  - Intervalo de tiempo en el que se aplica que, en general, es el estado.
  - Factores de proyecto y sus variables básicas y descriptores.
  - Términos de la ecuación, especificando si se consideran deterministas o aleatorios, permanentes o no permanentes, y favorables o desfavorables.
  - Criterio de fallo o parada.
  - Normas, reglamentos y recomendaciones a seguir en la verificación del modo.



**Nota 6.**

Quando no se disponga de una ecuación de verificación apropiada, la verificación del modo se hará recurriendo a técnicas numéricas o experimentales contrastadas, valorándose en particular la incertidumbre en los datos de entrada y salida, así como en la técnica misma aplicada.

www

inicio



página 16 de 23

fullscreen

salir



## Consideración como Modo Principal

### Nota 7.

Son los modos de fallo que contribuyen de forma significativa a la probabilidad conjunta de fallo del tramo de obra en su vida útil.

- Se analizará si el modo es o no principal, o las posibles actuaciones destinadas a reducir su contribución como modo principal a la probabilidad de ocurrencia.
- Dicho análisis se apoyará en la optimización económica de la obra, evaluándose las consecuencias en los costes de construcción, conservación y reparación, y se tenderá a favorecer la consideración del modo como no principal, siempre que se pueda alcanzar esa situación con ligeros incrementos en la geometría y las propiedades mecánicas del elemento o parte de la obra.

[www](#)

[inicio](#)



[página 17 de 23](#)

[fullscreen](#)

[salir](#)

## Observación y Seguimiento del Modo

- Se detallarán las posibles técnicas de observación y seguimiento del modo o de su ocurrencia, indicándose los umbrales de reparación. En caso de modos de parada se indicarán los umbrales de parada.

www

inicio



página 18 de 23

fullscreen

salir

## Dependencia e Independencia Estadística

- Se analizará si la ocurrencia de un modo excluye la ocurrencia de los restantes modos.
- En algunas tipologías podrá ser conveniente, además, analizar la posible evolución hacia un colapso progresivo.
- La interdependencia —exclusión y dependencia estadística— de los modos es una línea de investigación abierta en la que se debe trabajar para que las obras marítimas sean más fiables, funcionales y operativas bajo coste total óptimo.

[www](#)

[inicio](#)



página 19 de 23

[fullscreen](#)

[salir](#)

- Se puede realizar un análisis primario considerando los agentes comunes que intervienen en cada uno de los modos de fallo y estudiar, mediante sus respectivas ecuaciones de verificación, si cada uno de ellos falla con los mismos valores de los agentes. En ese caso podría considerarse que ambos modos ocurren simultáneamente y a los efectos de reparto de probabilidad de fallo podrían computarse como uno solo.
- Inconveniente: la respuesta de la obra frente a ese modo de fallo puede conducir o no al fallo una vez alcanzado el nivel de peligrosidad necesario.

#### Nota 8.

Un suceso no tiene por qué ocurrir estrictamente conforme a la secuencia: presentación de agentes —peligrosidad—, inducción del modo de fallo —vulnerabilidad—. En realidad los diversos factores no considerados en la formulación, las incertidumbres y la aleatoriedad intrínseca de muchos fenómenos pueden resultar en un “no fallo” de la obra.

[www](#)

[inicio](#)



[página 20 de 23](#)

[fullscreen](#)

[salir](#)

## Ejemplo

- Sea el caso del manto principal de un dique en talud con un peso de la pieza  $W_0$  que falla con la altura de ola  $H_0$ .
- La probabilidad de que se exceda la altura de ola en el intervalo de tiempo es la **peligrosidad**  $Pr[H \geq H_0]$ . La probabilidad de que se exceda el peso requerido condicionada a que se haya excedido la altura de ola es la **vulnerabilidad**  $Pr[W \geq W_0, H \geq H_0]$ . Entonces la probabilidad de ocurrencia del modo de fallo es la probabilidad de que ocurran ambos sucesos simultáneamente, es decir, la excedencia de la altura de ola y del peso, o probabilidad conjunta de  $W$  y  $H$ :

$$Pr[WH] = Pr[W \geq W_0, H \geq H_0]Pr[H \geq H_0] \quad (1)$$

www

inicio



página 21 de 23

fullscreen

salir



### Nota 9.

La probabilidad de fallo es igual al producto de la vulnerabilidad por la peligrosidad. Si el suceso  $H \geq H_0$  ha ocurrido, el valor de  $Pr[WH]$  depende del valor de la probabilidad condicionada  $Pr[W \geq W_0, H \geq H_0]$ . Si se supone que ésta es 1, es decir, que una vez ocurrido  $H \geq H_0$  se admite que el suceso  $W \geq W_0$  es cierto, entonces:

$$Pr[W \geq W_0, H \geq H_0] = 1 \quad (2)$$

y:

$$Pr[WH] = Pr[H \geq H_0] \quad (3)$$

En ese supuesto, la probabilidad de fallo es igual a la probabilidad de excedencia del agente.

www

inicio



página 22 de 23

fullscreen

salir

## Referencias

Losada M. A. (Ponente), 2001. *ROM 0.0 Procedimiento General y Bases de Cálculo en el Proyecto de Obras Marítimas y Portuarias. Parte I. Puertos del Estado*. 220 p.p. i.s.b.n. 84 – 88975 – 30 – 9.

Losada M. A. (Ponente), 2010. *ROM 1.0-09 Recomendaciones del Diseño y Ejecución de las Obras de Abrigo. Parte I. Bases y Factores para el Proyecto. Agentes Climáticos. Puertos del Estado*. 532 p.p. i.s.b.n. 978 – 84 – 88975 – 73 – 7.

www

inicio



página 23 de 23

fullscreen

salir