

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](#)



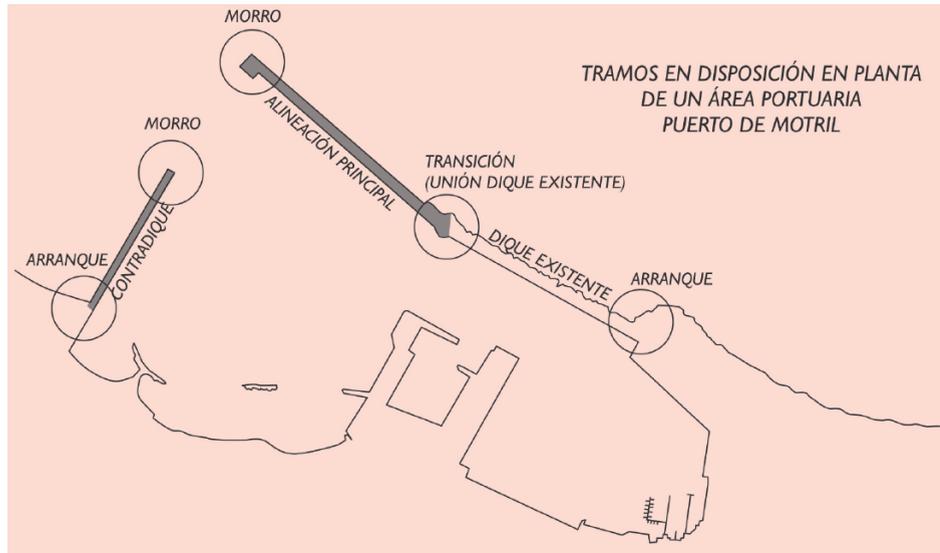
[página 5 de 23](#)

[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](#)

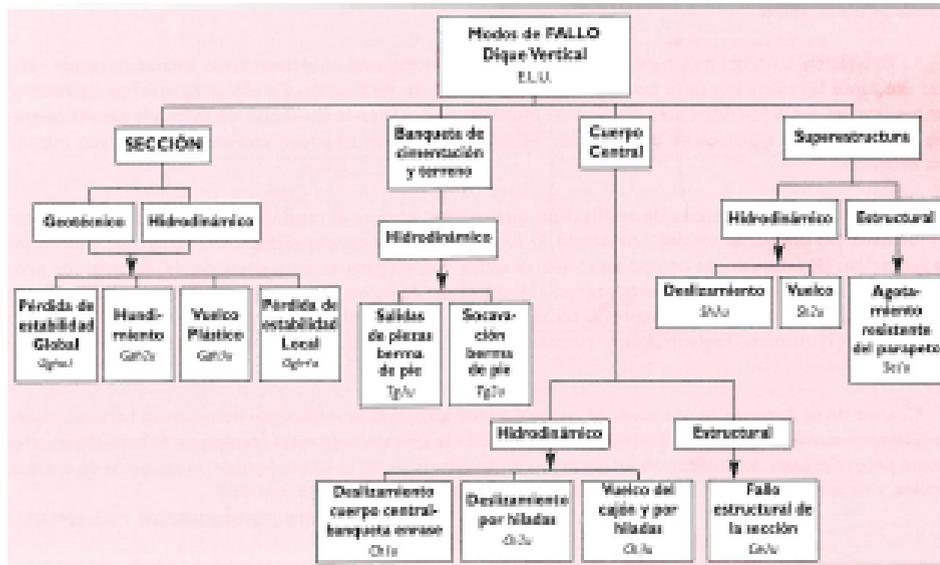


página 8 de 23

[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](#)



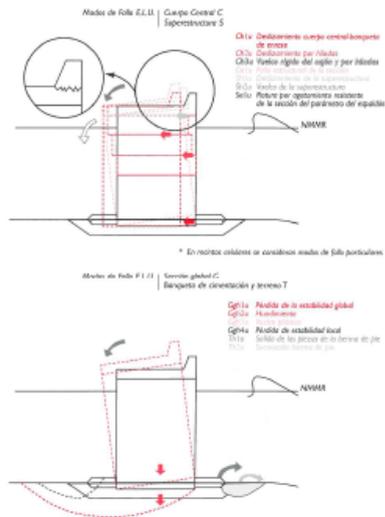
página 10 de 23

[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.

www

inicio



página 15 de 23

fullscreen

salir



Nota 6.

Cuando 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