CAPITULO 2
Criterios generales en el proyecto

2 CRITERIOS GENERALES EN EL PROYECTO

2.1 Introducción

Toda obra marítima se construye para cumplir unas determinadas funciones, permitiendo o facilitando unas actividades económicas, repercutiendo socialmente e interfiriendo con el medio ambiente. Esta obra debe ser fiable, funcional y operativa durante el tiempo en que vaya a permanecer en servicio. A lo largo de su vida, la obra pasa por diferentes estados de proyecto[1] ,estructurales, formales y de uso y explotación dependiendo de la variabilidad temporal y espacial de los factores de proyecto.

Por diversas razones o causas, la obra puede perder, progresivamente o de manera súbita, de forma temporal o definitiva, parcial o totalmente sus propiedades resistentes o estructurales (seguridad), estructurales y formales (servicio) y de uso y explotación (explotación) por mecanismos descritos en modos de fallo y de parada operativa.

El objetivo de esta ROM 0.0 es establecer un procedimiento general y las bases de cálculo para que, definida una alternativa de proyecto, se verifique si es fiable frente a la seguridad, si es funcional frente al servicio y si está operativa frente al uso y la explotación. Este procedimiento y los criterios para la declaración dependen de los criterios generales de proyecto, que son el objeto de este capítulo.

(1) Alternativa y estado de proyecto se definen en los apartados 2.2.8 y 2.2.10, respectivamente.

2.1.1 Contenidos y organización del capítulo

La figura 2.1 es un esquema de los contenidos, alcance y ordenación de este capítulo. En primer lugar se definen los conceptos necesarios para el desarrollo de las siguientes secciones; a continuación, se formulan el objetivo y los criterios de Proyecto de una obra marítima y portuaria;se especifican el espacio y el tiempo, mediante el tramo de obra y los intervalos de tiempo, respectivamente;se define la temporalidad o eventualidad de la obra o tramo y la duración de las fases de proyecto, entre ellas,la vida útil.

La sección siguiente es una introducción a los condicionantes y las bases de cálculo que son el objeto del capítulo 3.Después, se definen los caracteres general y operativo del tramo y se propone un método para su determinación, en el caso en que el promotor de la obra no lo hiciere. Este método se desarrolla en un Anejo al capítulo. El procedimiento de cálculo es el objeto de la siguiente sección;contiene una breve introducción al método de los estados límite, las condiciones de trabajo y los tipos de combinación, cuyos contenidos se amplían en el capítulo 4; la sección finaliza con una presentación de los métodos de verificación que se aplican en estas Recomendaciones y se elaboran en los capítulos 5 y 6.

A continuación, se abordan los aspectos relacionados con los binomios, seguridad-fiabilidad, servicio-funcionalidad y uso y explotación-operatividad, presentando los métodos para calcular:

(1) la probabilidad de ocurrencia de un modo en un intervalo de tiempo unidad, (2) la probabilidad de ocurrencia de un modo en una fase de proyecto y (3) la probabilidad conjunta de fallo de un tramo frente a la seguridad, el servicio y el uso y la explotación del tramo durante una fase de proyecto. El capítulo concluye con los valores recomendados de la vida útil, la probabilidad conjunta de fallo y la operatividad en función de los caracteres general y operativo del tramo de obra.

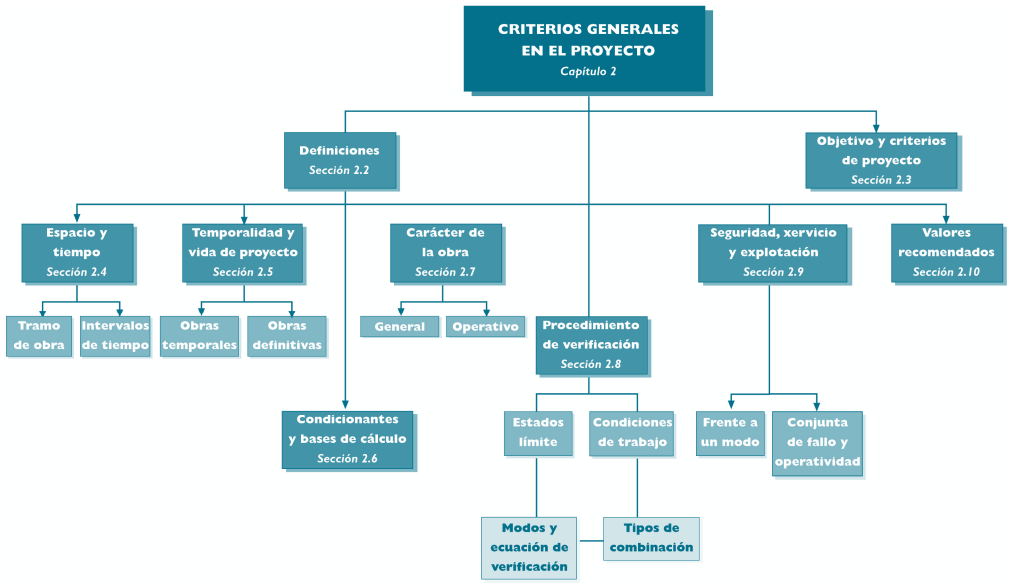

Figura 2.1: Organización y contenidos del capítulo 2.

2.2 Definiciones

Para establecer adecuadamente los criterios generales de proyecto, es necesario definir previamente los conceptos siguientes

2.2.1 Proyecto

En el ámbito de aplicación de los documentos ROM, se denomina Proyecto al conjunto de actividades que comprenden el estudio y redacción de proyecto, la construcción,la explotación, la conservación, reparación en su caso, y desmantelamiento de una obra marítima.

2.2.2 Parámetros

Conjunto de variables que caracterizan, en un determinado emplazamiento y en un determinado intervalo de tiempo, la geometría de la construcción y del terreno, las propiedades del medio físico, del terreno y de los materiales de construcción.

2.2.3 Agente

Es todo aquello que puede ejercer o producir en o sobre la obra y su entorno, efectos significativos para su seguridad y su servicio[2]. Aquellos agentes cuyo efecto sea predominante se denominan agentes predominantes.

(2) A diferencia de «paciente»,el agente es el que realiza la acción en vez de sufrirla.Los agentes ponen en acción (en actividad) la obra,los elementos de la obra y el entorno.

2.2.4 Acción

Es cualquier efecto que un agente puede producir en la obra y su entorno como resultado de su mutua interferencia. En el término acción, por tanto, se pueden incluir, la fuerza, la carga aplicada sobre la estructura,los movimientos impuestos,las deformaciones impuestas,etc. La relación entre agentes y acciones se establece por una función en la que pueden intervenir también parámetros de proyecto.

2.2.5 Factores de Proyecto

Conjunto de parámetros, agentes y acciones. La magnitud (y dirección,en su caso) de los factores de proyecto y en consecuencia, la operatividad y la respuesta estructural, en su conjunto, evolucionan o pueden evolucionar en el tiempo.

2.2.5.1 Factor predominante

Es aquel cuya presentación desencadena la ocurrencia de un modo de fallo o parada[3].

(3) Los modos de fallo y parada se definen en los apartados 2.2.13 y 2.2.14.

Comentario

Con carácter general, son parámetros los factores de proyecto que están predeterminados en el proceso de verificación.Pueden ser tratados como variables estadísticas, pero su función de distribución y sus valores representativos, una vez especificados, se consideran conocidos y determinados. Por el contrario, los agentes y las acciones son aquéllas que intervienen de manera directa en la definición de la obra, en su tipología y sus dimensiones.

Por ejemplo, en el caso de un dique de abrigo en talud construido con escollera,las propiedades resistentes del terreno pueden considerarse como parámetros de proyecto y ser definidas a priori. La altura y el periodo de la ola definen y caracterizan el agente oleaje y sus valores dependen, entre otros, del criterio de avería y de la probabilidad de fallo.

La acción, fuerza horizontal sobre un dique vertical rebasable, está producida por la interferencia del oleaje y la obra, en presencia de la gravedad. La altura y el periodo de la ola y la profundidad del agua definen y caracterizan los agentes del medio físico; las densidades del agua, del hormigón y del relleno y la aceleración de la gravedad pueden considerarse parámetros.

En el estudio de la difusión de la pluma de un eyector de un emisario submarino solicitado por los agentes oleaje, corrientes y gravedad,el factor de proyecto,densidad del agua,define y caracteriza el agente, al igual que la altura de la ola y la velocidad de la corriente.

2.2.6 Tramo de obra

Es el conjunto de partes de la obra que cumplen solidariamente una función específica y relevante de los objetivos y los requisitos de explotación de la obra, están sometidos a los mismos niveles de acción de los agentes actuantes y forman parte de la misma tipología formal y estructural.

2.2.7 Condicionantes de Proyecto

El proyecto de un tramo trata de responder a los condicionantes de proyecto, entre los que se incluyen,

- La ubicación espacial (emplazamiento) y temporal (fases de proyecto)

- Los requisitos de explotación
- La geometría del tramo y del terreno
- Las propiedades (parámetros) del medio físico y de los materiales
- Los agentes que pueden interferir con la obra y el entorno, y sus acciones

2.2.8 Alternativa de Proyecto

Conocidos los condicionantes de Proyecto las alternativas del tramo definen,

- La geometría del tramo y del terreno
- Los factores de proyecto: parámetros, agentes que pueden interferir con la obra y su entorno, y sus acciones

2.2.9 Intervalo de tiempo

Marco temporal en el que se describen, clasifican, seleccionan y determinan los parámetros de proyecto, los agentes y las acciones, y se verifica su seguridad, el servicio y explotación.

2.2.9.1 Unidad de intervalo de tiempo

Marco temporal en el que se dispone de información estadística para describir los factores de proyecto mediante modelos de probabilidad.

2.2.10 Estado

Intervalo de tiempo en el que puede admitirse que cualquier manifestación de los factores de proyecto es estacionaria en sentido estadístico.

Comentario

Es conveniente, para ayudar en su identificación, calificar el estado cuando se refiere, sólamente, a un factor o grupo de factores de proyecto;por ejemplo,el estado de mar, que tradicionalmente se utiliza para indicar las manifestaciones del oleaje, el estado de marea,el estado climatológico o del tiempo,etc. Cuando se trata de describir el conjunto de manifestaciones de los factores de proyecto y la repuesta estructural, formal y de explotación del tramo se denomina estado de proyecto.

Las secuencias temporales de las manifestaciones estructurales, formales y operativas que la obra y el entorno pueden tener a lo largo de su existencia, se ordenan en curvas de estados de proyecto. Durante la ocurrencia de cada uno de ellos, se admite que aquellas manifestaciones son estacionarias en sentido estadístico. La duración de un estado de proyecto depende de la variabilidad temporal de los factores de proyecto y de la respuesta de la obra.

Uno de los objetivos de proyecto es que el tramo de obra, frente a todos los estados de proyecto, sea fiable, funcional y operativo en el marco especificado por los requisitos de proyecto. El desconocimiento, a priori, de la secuencia real de estados de proyecto, obliga a que la verificación se realice para los estados peores posibles, o estados límite.

2.2.10.1 Estado de Proyecto

Conjunto de manifestaciones de los factores de proyecto y de la repuesta estructural, formal y de explotación del tramo, admitiendo que son estadísticamente estacionarias.

2.2.11 Fase de Proyecto

Secuencia temporal de estados de proyecto durante los cuales el tramo de obra mantiene una misma actividad principal, aunque pueda tener otras secundarias.Se podrán considerar las siguientes fases de proyecto: estudios y proyecto de construcción, construcción, servicio, conservación, reparación y desmantelamiento. La duración de la fase de servicio es la vida útil del tramo.

2.2.12 Estado límite

Estado de proyecto en el cual, la obra en su conjunto, o en alguno de sus tramos o elementos, queda fuera de uso o servicio por incumplimiento de los requisitos de seguridad,de servicio y de explotación especificados en el proyecto. Los estados límite se clasifican en últimos ELU, de servicio ELS,y operativos ELO.

Comentario

En general, las obras marítimas se construyen para defender unos bienes y servicios de las dinámicas marítima y atmosférica y poder realizar a su amparo diversas actividades. Por razones principalmente económicas, no es posible construir obras marítimas capaces de dar protección frente a todos los estados de estas dinámicas. Aunque la obra debe ser segura durante su vida útil, es de esperar que durante ésta,se produzcan paradas operativas por superar unos ciertos umbrales los agentes climáticos, marítimos o atmosféricos. Por esto, es conveniente definir los estados límite operativos que, a diferencia de los de servicio,permiten evaluar la pérdida temporal de la operatividad de las instalaciones portuarias por causa de las diferentes manifestaciones de los agentes del medio físico, sin fallo estructural de las mismas.

2.2.13 Modo de fallo

Forma o mecanismo, geométrico, físico, mecánico, químico o biológico, por el cual la obra o alguno de sus elementos, queda fuera de servicio por causas estructurales. Para su comprobación,los modos de fallo se adscriben a los estados límite último o de servicio. Una vez ocurrido un modo de fallo, los requisitos estructurales, formales y de explotación del tramo de obra sólo se recuperan mediante su reparación o reconstrucción.

2.2.14 Modo de parada operativa

Causa,razón o motivo, geométrico, físico, mecánico, químico o biológico, por el cual,la obra,o alguno de sus elementos estructurales, deben dejar de operar o deben reducir su nivel funcional.Una vez que cesa la causa de la parada, la obra y sus instalaciones vuelven a estar en explotación con los requisitos especificados en el proyecto.

Comentario

A la hora de iniciar el proyecto de una obra marítima es necesario tener en cuenta que no es posible garantizar la "operatividad total", es decir, que el tramo de obra esté en condiciones de estar en explotación todos los días del año. Al igual que otras obras civiles construidas en el medio físico,tales como aeropuertos, carreteras, etc, las obras marítimas pueden sufrir paradas operativas sin que ello signifique que haya fallos estructurales.

2.2.15 Modo principal

Las dimensiones geométricas de la obra suelen determinarse en función de estos modos y, en general,son los que contribuyen de forma significativa al valor de la probabilidad conjunta de fallo del tramo de obra en la vida útil.

Comentario

El muelle de Levante del Puerto de Almería está construído con bloques de hormigón en masa y se destina al atraque de barcos de pasajeros. Uno de los objetivos del proyecto es verificar que para el tramo de obra en su conjunto, y cada uno de sus elementos no se produce ninguno de los modos de fallo o de parada posibles. Para los estados límite últimos, los modos principales son: deslizamiento entre hiladas y banqueta, vuelco, pérdida de estabilidad global, hundimiento del terreno y licuefacción. La ocurrencia de algunos de ellos tiene repercusiones económicas, sociales y ambientales que, como se verá más adelante, permiten otorgar al muelle un carácter general comprendido en el intervalo, $6 < IRE \leq 20;5 \leq ISA < 20$.

Por otra parte, algún elemento del muelle puede fallar, por ejemplo los bolardos y las defensas, pero su ocurrencia no tiene consecuencias significativas en la fiabilidad, funcionalidad y operatividad del tramo de obra. Estos modos no son principales y su probabilidad de ocurrencia en la vida útil debe estar acotada, pero no debe contribuir en el cálculo de la probabilidad conjunta del tramo, (véase capítulo 7).

2.2.16 Condiciones de trabajo

Una condición de trabajo, CT, es un conjunto de estados de proyecto caracterizados por la ocurrencia simultánea y compatible de algunos factores de proyecto. Se considerarán las siguientes condiciones de trabajo: CT_1, operativas normales, CT_2, extremas y CT_3 excepcionales.

2.2.17 Tipos de combinación

Son las formas compatibles de presentación de factores de proyecto. Ayudan a determinar los valores compatibles de los factores de proyecto y términos que pueden ocurrir simultáneamente en una unidad de intervalo de tiempo, y, por tanto, están en la ecuación de verificación. Estos factores de proyecto se dice que son concomitantes.

2.2.18 Seguridad

Un tramo de obra se considera seguro cuando cumple los requisitos de seguridad especificados en el proyecto y exigidos por la normativa vigente durante la ocurrencia de todos los estados que pueden presentarse en las fases de proyecto.

2.2.19 Servicio

Un tramo de obra está en servicio cuando cumple los requisitos funcionales (resistentes y formales) especificados en el proyecto y exigidos por la normativa vigente durante la ocurrencia de todos los estados que pueden presentarse en las fases de proyecto

2.2.20 Uso y explotación

Una obra o tramo y sus instalaciones están en explotación cuando cumplen los requisitos de uso especificados en el proyecto y los exigidos por la normativa vigente.

2.2.21 Probabilidad de fallo

La probabilidad de que un tramo de obra incumpla los requisitos de seguridad en un intervalo de tiempo mediante la ocurrencia de un modo de fallo, se denomina genéricamente probabilidad de fallo.

2.2.22 Probabilidad conjunta de fallo

Es la probabilidad de fallo en la vida útil del tramo frente a todos los modos de fallo principales adscritos a todos los estados límite últimos o de servicio.

Comentario

En la sección 2.10 se recomiendan valores máximos admisibles de la probabilidad conjunta de fallo en la vida útil del tramo de obra frente a todos los estados límite, últimos y de servicio.

2.2.23 Fiabilidad

Es el valor complementario[4] de la probabilidad conjunta de fallo frente a todos los modos principales, adscritos a todos los estados límite últimos.

(4) El valor complementario de la probabilidad p,es (1-p).

2.2.24 Funcionalidad

Es el valor complementario de la probabilidad conjunta de fallo frente a todos los modos principales, adscritos a todos los estados límite de servicio.

2.2.25 Probabilidad de parada

La probabilidad de que un tramo de obra incumpla los requisitos de explotación en un intervalo de tiempo mediante la ocurrencia de un modo de parada, se denomina probabilidad de parada operativa.

2.2.26 Probabilidad conjunta de parada

Es la probabilidad de fallo en la vida útil del tramo, frente a todos los modos de parada principales adscritos a todos los estados límite de parada operativa.

2.2.27 Operatividad

Es el valor complementario de la probabilidad de parada en la fase de proyecto frente a todos los modos de parada principales adscritos a todos los estados límite de parada[5].

(5) Los términos fiabilidad,funcionalidad operatividad y los de seguridad,servicio y uso y explotación,suelen ir acompañados de la palabra nivel;por ejemplo nivel de seguridad

2.3 Objetivo, Requisitos y Criterios de Proyecto

El objetivo de proyecto es conseguir una obra, que en su conjunto, tramos y elementos, satisfaga los requisitos de seguridad,servicio y uso y explotación en cada una de las fases de proyecto,

• estudiando alternativas y determinando para ellas los factores de proyecto que, (1) definen la geometría de la obra y del terreno, (2) caracterizan el medio físico y los materiales y (3) valoran los agentes y sus acciones

• verificando que se alcanzan los niveles de fiabilidad, funcionalidad y operatividad recomendados en la sección 2.10.

2.3.1 Criterios de Proyecto

Se emplean para definir y verificar un Proyecto y sus alternativas; se consideran, al menos, los siguientes criterios,

- Espacio y tiempo
- Temporalidad y vida
- Condicionantes y bases de cálculo
- Carácter general y carácter operativo
- Procedimiento de cálculo
- Fiabilidad, funcionalidad y operatividad
- Valores recomendados

Las siguientes secciones se dedican al desarrollo de los criterios de Proyecto.

2.4 Espacio y Tiempo

En general, la obra se ubica en un emplazamiento para cumplir unas funciones durante un cierto intervalo de tiempo. Dependiendo de sus dimensiones y del entorno, la tipología de la obra puede cambiar sustancialmente en el espacio. Es conveniente, por tanto, definir unidades espaciales o tramos de obra en función de su tipología y del entorno.

Por otra parte, desde que se inicia la ejecución de la obra hasta su cambio de uso o desmantelamiento, ésta y cada uno de sus tramos, pasa por una secuencia continua de condiciones que se denominan estados de proyecto, que caracterizan su operatividad y sus propiedades estructurales y formales, es decir, su actividad. Los estados se agrupan en intervalos de tiempo de mayor duración cuya secuencia se ordena en fases de proyecto.

2.4.1 Tramo de obra

Para describir, clasificar, seleccionar y evaluar los factores de proyecto, así como para establecer el marco espacial en la verificación de la seguridad, del servicio y de la explotación, la obra se dividirá en tramos.

2.4.2 Intervalos de tiempo

Marco temporal en el que se describen, clasifican, seleccionan y evaluan los parámetros de proyecto, los agentes y las acciones de un tramo de obra, para la verificación de su seguridad, el servicio y la explotación. Se podrán considerar los siguientes intervalos de tiempo, figura 2.2,

- Intervalo de corta duración
- Intervalo de larga duración
- Fase de proyecto

Los dos primeros intervalos se pueden definir en función de la variabilidad de los factores de proyecto y de su duración. Las fases de proyecto se definen en función de la actividad principal de la obra. Los intervalos de mayor duración se pueden describir por secuencias de intervalos de menor duración; en este caso, el intervalo de duración menor se denomina unidad de intervalo de tiempo.

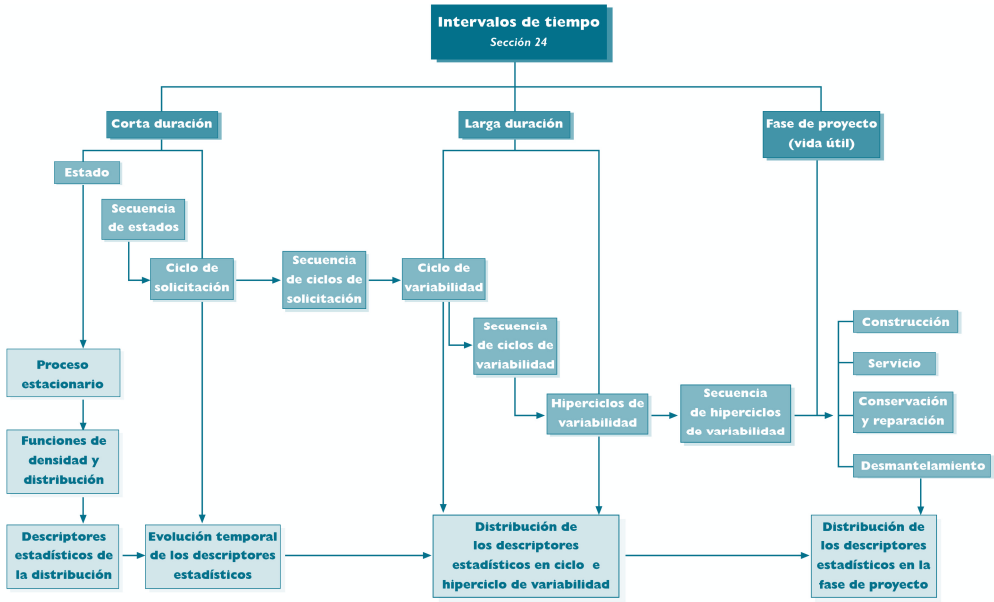

Figura 2.2: Intervalos de tiempo

2.4.2.1 Intervalos de corta duración

Entre otros, se incluyen los estados y los ciclos de solicitación.

Comentario

En general,el valor de los factores de proyecto y el comportamiento de la obra o el entorno, varía a lo largo del tiempo de forma difícilmente predecible. La variabilidad temporal se puede acotar en intervalos de tiempo durante los que los procesos que provocan dicha variabilidad se pueden suponer estacionarios en sentido estadístico. En esas condiciones, se puede describir el comportamiento del valor del factor de proyecto mediante modelos de probabilidad en los que los parámetros del modelo son constantes. En cada intervalo de tiempo se define la manifestación básica o fundamental del factor de proyecto, la cual, en general, es una variable aleatoria.

2.4.2.1.1 Estado

Intervalo de tiempo en el que se puede admitir que la manifestación de los factores y de la respuesta estructural o funcional en un determinado tramo de obra o emplazamiento, es estacionaria en sentido estadístico. La duración de un estado de proyecto depende de la variabilidad temporal de los factores de proyecto, incluyendo la respuesta de la obra. Cuando el estado se refiere a una respuesta de la obra se denomina estado de Proyecto.

La manifestación se describe por variables cuyo valor cambia con el tiempo. Esta variabilidad se puede describir estadísticamente por funciones de probabilidad y sus correspondientes descriptores estadísticos.

Comentario

Durante el estado se produce una secuencia de manifestaciones fundamentales o básicas de algunos factores de proyecto. Por ejemplo, en un estado de mar se presenta una secuencia de alturas de ola,definidas éstas por la máxima distancia vertical entre dos pasos ascendentes consecutivos por el nivel medio. En este caso,la manifestación fundamental del oleaje es la altura de ola.Dada la variabilidad de la secuencia de las olas, la manifestación del oleaje en un estado de mar, bajo ciertas condiciones, se puede definir por una variable aleatoria, p. ej. la media del tercio de olas mas altas, denominada altura de ola significante y que es la variable de estado o descriptor estadístico.

2.4.2.1.2 Ciclo de solicitación

Es una secuencia de estados que comienza desde el instante en el que el valor del descriptor estadístico que representa el estado supera un cierto valor umbral hasta que, transcurrido cierto tiempo, es inferior a él.

Comentario

Un ejemplo de ciclo de solicitación es una secuencia de estados de mar que tienen altura de ola significante[6] superior a un cierto valor umbral,p.ej, $H_s \geq 3m$. Por regla general, este ciclo se conoce con el nombre de temporal. Si los estados de mar del ciclo de variabilidad son inferiores al valor umbral se habla de calma.

(6) Debería decirse significativa;no obstante, en España se utiliza significante.

2.4.2.2 Intervalos de larga duración

Se incluyen entre otros los ciclos e hiperciclos de variabilidad y los hiperciclos.

2.4.2.2.1 Ciclo de variabilidad

Es una secuencia de ciclos de solicitación.En general, el ciclo de variabilidad será el año meteorológico.

Comentario

El año meteorológico, que comienza el 1 de octubre y finaliza el 30 de septiembre del año siguiente, se puede considerar como el pulso meteorológico del planeta. Por otra parte, el año, que comienza el 1 de enero y finaliza el 31 de diciembre del mismo año,es el pulso económico de la sociedad occidental. La vida de servicio de una obra se suele definir en años.

Bajo una perspectiva ambiental, social y económica, los ciclos de solicitación se pueden agrupar en ciclos de variabilidad cuya duración, por lo general, será el año. No obstante, esta generalidad no debe entenderse como unicidad puesto que, en emplazamientos donde las manifestaciones climáticas estén vinculadas a los monzones, o donde el ciclo económico sea estrictamente estacional,los ciclos de variabilidad pueden tener otras duraciones distintas, por ejemplo cuatro meses, dos meses, etc.

2.4.2.2.2 Hiperciclo de variabilidad

Es la secuencia de ciclos de variabilidad. Su duración depende del emplazamiento.

Comentario

Es conocido que en las zonas templadas del planeta se producen secuencias de años húmedos y secos, cuya causa no está aún bien establecida. No se dispone de suficiente información para determinar estos hiperciclos, pero con el paso de los años y la constancia en los procesos de medida,se podrán analizar los hiperciclos de la dinámica marina y atmosférica.Con los datos disponibles en la península ibérica,los hiperciclos suelen tener duraciones en el rango entre siete a once años.

2.4.2.3 Otros intervalos de tiempo

Los intervalos de corta y larga duración se definen en función de la variabilidad de los agentes del medio físico. Otros factores de proyecto presentan distintas variabilidades temporales en un determinado lugar. Con la debida justificación se podrán definir otros intervalos de tiempo.

Comentario

Para tener en cuenta localmente la evolución temporal del comportamiento del suelo,se suelen considerar dos estados extremos:corto plazo,cuando el agua no ha podido moverse (sin drenaje) y largo plazo, cuando el agua intersticial ha alcanzado el régimen permanente. La duración de estos dos estados depende del tipo de suelo y del estado de carga.

2.4.2.4 Fase de Proyecto

Es la secuencia temporal de estados de Proyecto durante los cuales la obra o un tramo de obra mantiene una misma actividad principal, aunque pueda tener otras secundarias. Se podrán considerar las siguientes fases de proyecto: estudios y proyecto de construcción, construcción, servicio, conservación, reparación y desmantelamiento.

Comentario

El ciclo de solicitación se describe a partir de los estados que a esos efectos son intervalos de tiempo unidad.De forma análoga, la fase de proyecto se puede describir por años;en este caso el año es el intervalo de tiempo unidad.Los intervalos de tiempo unidad se aplican en la descripción estadística de los factores de proyecto.

2.4.2.4.1 Estudios y proyecto de construcción

Se extiende desde el inicio de los trabajos de planificación hasta la redacción del proyecto constructivo, conteniendo las campañas de campo, ensayos de laboratorio, estudios de impacto ambiental, etc.

2.4.2.4.2 Fase de construcción

Se extiende desde el inicio de la construcción hasta la puesta en servicio de la obra, entendiendo por tal,el instante en el cual la obra está en condiciones de cumplir plenamente la función principal para la que ha sido concebida.Dependiendo de las actuaciones a realizar en la obra, o en alguno de sus elementos,se podrán distinguir subfases de construcción, que son por lo general: fabricación, transporte, instalación, avances y esperas, y otras.

2.4.2.4.3 Fase de servicio

Está formada por todos los estados de Proyecto que pueden presentarse desde el instante en el que el tramo de obra está en condiciones de cumplir plenamente la función principal para la que ha sido concebida,hasta su inutilización,desmontaje o cambio de uso, incluyendo inspección,seguimiento, conservación y reparaciones ordinarias.

2.4.2.4.4 Fase de conservación y reparación

Incluye los estados de Proyecto por los que puede pasar la obra o alguno de sus elementos durante los trabajos de conservación y de reparación y, que pueden conllevar, una reducción de sus niveles de servicio. Dependiendo de las actuaciones a realizar en la reparación del tramo de obra o en alguno de sus elementos,se podrán distinguir subfases de conservación y reparación,que en general, serán: preparación y desmontaje, fabricación, transporte, instalación, avances y esperas, y otras.

2.4.2.4.5 Fase de desmantelamieno

Incluye los estados de proyecto durante el desmantelamiento de la obra. Dependiendo de las actuaciones a realizar en la obra o en alguno de sus elementos, se podrán distinguir subfases de desmantelamiento, que en general serán: preparación y desmontaje, transporte, depósito, abandono, reciclaje o reutilización, y otras.

2.4.2.4.6 Especificación de otras fases de proyecto

En función de las particularidades de la obra, se podrán considerar otras fases y subfases de proyecto. En tal caso, deberán establecerse, con la debida justificación, los criterios y los métodos empleados para verificar la seguridad, el servicio y para estimar la fiabilidad en las nuevas fases y subfases de proyecto.

2.5 Temporalidad y Vida

Las obras marítimas o sus tramos podrán declararse provisionales o definitivas, de acuerdo con los criterios reflejados en los siguientes apartados.

2.5.1 Obras provisionales

Una obra se declarará provisional o eventual cuando vaya a permanecer en un determinado emplazamiento, sin modificaciones en sus aspectos de seguridad, servicio y explotación durante un cierto periodo de tiempo que, a efectos de estas Recomendaciones, se considerará inferior a cinco años.

2.5.1.1 Vida de las obras provisionales

La duración o vida de las distintas fases de proyecto estará definida por su necesidad o funcionalidad,y se especificará justificadamente en el proyecto.

2.5.1.2 Transformación de provisional a definitiva

(7) La vida útil ampliada se define en el apartado 2.5.2.4

En el caso en el que una obra provisional vaya a ser convertida en definitiva, el titular de la obra deberá proyectar y verificar la obra teniendo en cuenta la vida útil ampliada[7], de acuerdo con los criterios generales de proyecto.

2.5.2 Obras Definitivas

Salvo justificación, una obra se declarará definitiva cuando vaya a permanecer en un determinado emplazamiento y con las características del proyecto original durante un periodo de tiempo igual o superior a cinco años.

2.5.2.1 Duración de las fases de proyecto

La duración o vida de cualquiera de las fases de proyecto de obras marítimas definitivas viene impuesta por razones constructivas, funcionales, económicas y administrativas. No obstante, en algunos casos,no resulta fácil especificar una duración de las fases de proyecto, en particular, para la fase de servicio. Para estos casos en el apartado 2.10.1, se acotan los valores de la duración de la fase de proyecto servicio, (vida útil mínima).

2.5.2.2 Vida útil de la obra

El periodo de tiempo que transcurre durante la fase de servicio se denomina vida útil de proyecto o vida útil, *V*, y, en general, corresponde al periodo de tiempo en el que la obra cumple la función principal para la cual ha sido concebida.

2.5.2.3 Criterios para determinar la vida útil

Corresponde al promotor de la obra marítima, público o privado, la determinación del valor de la vida útil de la fase de proyecto servicio, V_s. No obstante, esta duración deberá cumplir los siguientes criterios,

- En obras marítimas definitivas cuya duración esté determinada por razones de servicio, se tomará ésta como el valor mínimo de la vida útil de proyecto.
- En aquellos casos en los que no se conozca la duración (o no haya sido determinada), la vida útil de proyecto, se expresará en años. Sin otra justificación, ésta será como mínimo el valor consignado en la tabla 2.1, en función del carácter general de la obra marítima.
- Por razones climáticas, operativas,o de otra índole, se podrá definir la vida útil de la obra en función de otros intervalos de tiempo. En ese caso, se deberán convertir los valores de la tabla 2.1, en unidades del intervalo de tiempo considerado, adecuando con la debida justificación su equivalencia con aquéllos.
- Cuando se consideren diferentes momentos de entrada en servicio de partes de una misma obra marítima, y el desfase de entrada en servicio sea menor que un cierto número de años, que a efectos de estas Recomendaciones se considera cinco años,se aplicará la misma vida útil a todas las partes de la construcción.
- En aquellos casos en los que se prevé que, transcurridos *M* años, la ejecución de una segunda etapa pudiera alterar de manera significativa los valores representativos de algunos factores de proyecto, se podrá considerar que la duración de la fase de de proyecto servicio es de *M* años. A efectos de estas Recomendaciones se considera *M* >5 años. En estos casos, el titular de la obra deberá,

1. Planificar y proyectar las sucesivas entradas en servicio o etapas previstas.

2. Si no se ejecuta o se postpone la segunda etapa de la obra, adecuar el tramo de la misma para que cumpla los requisitos de proyecto en la vida ampliada de la fase de servicio.

3. Si se ejecuta la etapa, verificar que se cumplen las condiciones de seguridad, servicio y uso y explotación requeridas para las etapas previas de una obra y una vez ejecutada la correspondiente etapa redactar, en caso necesario, el correspondiente proyecto de adecuación de las obras previamente construídas.

2.5.2.4 Vida útil ampliada de la obra

La duración de la fase servicio podrá ser superior a la vida útil de proyecto. En el caso en que así ocurra y la obra vaya a seguir cumpliendo una función, sea la original u otra nueva, se ampliará, al periodo de tiempo adicional durante el cual la obra puede seguir cumpliendo una función, aunque los requisitos de seguridad, servicio y explotación sean diferentes de aquellos con los que fue construida.

En estos casos,el titular de la obra deberá proyectar y verificar la obra teniendo en cuenta la vida útil ampliada, de acuerdo con los criterios generales de proyecto.

2.6 Condicionantes de Proyecto

Una alternativa de un tramo trata de responder a los condicionantes y las bases de cálculo, entre los que se incluyen,

- La ubicación espacial (emplazamiento) y temporal (fases de proyecto)
- Los requisitos de explotación
- La geometría del tramo y del terreno
- Las propiedades (parámetros) del medio físico y de los materiales
- Los agentes que pueden interferir con la obra y el entorno y sus acciones

Por lo general, no se conocen con certeza los parámetros y las variables de proyecto que actuarán en cada tramo de obra durante la vida de las fases de proyecto, ni su magnitud, ni, en su caso, su dirección y sentido. Es necesario, por tanto, proporcionar unos criterios para clasificar y dar valores a los factores de proyecto, acotando su variabilidad espacial y temporal. Los condicionantes de proyecto se describen en el capítulo 3.

2.7 Caracteres General y Operativo

Es habitual que el proyecto de una obra marítima se decida a partir de unos estudios previos de planificación exógenos, en los que se analizan, entre otros, las repercusiones económicas y sociales y ambientales,derivadas de su construcción. En estas Recomendaciones se definen, en función de aquellas repercusiones, el carácter general y el carácter operativo de un tramo de obra marítima, figura 2.3.

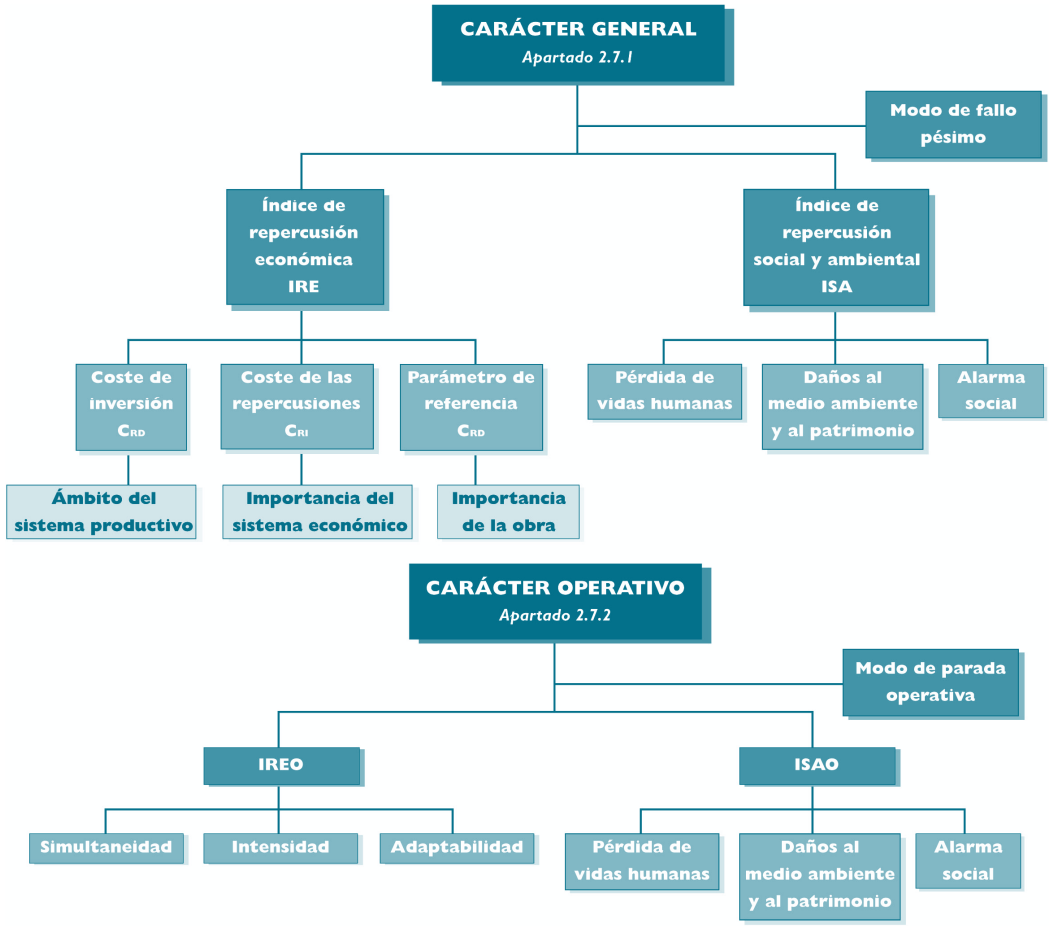

Figura 2.3: Caracteres general y operativo del tramo de obra.

2.7.1 Carácter general: definición

La importancia de un tramo de obra marítima,así como la repercusión económica,social y ambiental generada en caso de destrucción o pérdida de funcionalidad se valorará por medio del carácter general del tramo. Este carácter se evaluará seleccionando, de entre los principales adscritos a los estados límite últimos y de servicio, el modo que proporcione los índices más altos.

Comentario

El carácter general del tramo de la obra se determinará considerando un modo principal de fallo adscrito a un estado límite último, es decir será función de la seguridad. No obstante, habrá casos en los que el carácter de la obra se establecerá en función de un modo principal de fallo adscrito a un estado límite de servicio, es decir, dependerá de la funcionalidad.

2.7.1.1 Carácter general del tramo de la obra

Todos los tramos de la obra cuya destrucción o pérdida total de servicio tenga similares repercusiones económicas, sociales y ambientales tendrán el mismo carácter general.Aquellos tramos de la obra cuyo fallo implique repercusiones significativamente diferentes, tendrán un carácter general propio.

2.7.1.2 Tramos de obra ejecutados por etapas

En aquellos casos, en los que se prevea una ejecución por etapas de la obra marítima, el carácter general de la misma se establecerá para cada una de las etapas siempre que el desfase de entrada en servicio de las diferentes etapas sea superior a un cierto número de años;a los efectos de estas Recomendaciones,el desfase mínimo será de cinco años.En otro caso, el carácter general del tamo de obra será único.

2.7.1.3 Índices para determinar el carácter general

Corresponde al promotor de la obra marítima, público o privado, especificar el carácter general de la obra.A falta de una definición específica, el carácter general de la obra se establecerá en función de los siguientes índices,

- Índice de repercusión económica, IRE
- Índice de repercusión social y ambiental, ISA

Comentario

Estos dos índices se establecen a priori,por tanto,constituyen una aproximación inicial o de partida al carácter general de la obra. En consecuencia, su evaluación debe realizarse con el alcance de un estudio previo. Ambos índices se obtienen suponiendo la ocurrencia de un modo de fallo relacionado con los estados límite último o de servicio.

2.7.1.4 Índice de repercusión económica, IRE

Valora cuantitativamente las repercusiones económicas por reconstrucción de la obra, C_{RD}, y por cese o afección de las actividades económicas directamente relacionadas con ella, C_{RI}, previsibles, en el caso de producirse la destrucción o la pérdida de operatividad total de la misma. El IRE se define por la siguiente expresión:

$$IRE = \frac{C_{RD} + C_{RI}}{C_O}$$

donde C_0, es un parámetro económico de adimensionalización.

2.7.1.4.1 Evaluación aproximada del IRE

En aquellos casos en los que no se realice una determinación detallada de C_{RI}, bien por razones de complejidad desproporcionada respecto a la magnitud de la obra,bien por falta de estudios previos, el valor del IRE podrá estimarse cualitativamente por el método descrito en el Anejo a este capítulo.

2.7.1.5 Clasificación en función del IRE

En función del valor del Índice de Repercusión Económica IRE, las obras marítimas se clasificarán en tres tipos correspondientes a tres subintervalos R_i, i =1,2, 3,

- R_1, obras con repercusión económica baja: IRE ≤ 5
- R_2, obras con repercusión económica media: 5 < IRE ≤ 20
- R_3, obras con repercusión económica alta: IRE > 20

2.7.1.6 Índice de repercusión social y ambiental, ISA

Estima de manera cualitativa el impacto social y ambiental esperable en el caso de producirse la destrucción o la pérdida de operatividad total de la obra marítima,valorando la posibilidad y alcance de, (1) pérdidas de vidas humanas, (2) daños en el medio ambiente y en el patrimonio histórico-artístico y (3) de la alarma social generada, considerando que el fallo se produce una vez consolidadas las actividades económicas directamente realcionadas con la obra.

El ISA se define por el sumatorio de tres subíndices:

$$ISA = \sum_{i=1}^{3} ISA_i$$

donde, ISA_1, es el subíndice de posibilidad y alcance de pérdida de vidas humanas; ISA_2, el subíndice de daños en el medio ambiente y en el patrimonio histórico-artístico e ISA_3, el subíndice de alarma social.

2.7.1.6.1 Evaluación aproximada del ISA

En aquellos casos en los que no se pueda realizar una determinación detallada de los ISA_i, sus valores podrán estimarse cualitativamente por el método descrito en el Anejo a este capítulo.

2.7.1.7 Clasifiación en función del ISA

En función del valor del índice de repercusión social y ambiental ISA, las obras marítimas se clasificarán en cuatro tipos correspondientes a cuatro subintervalos, S_i, i =1, 2, 3, 4,

- S_1, obras sin repercusión social y ambiental significativa, ISA < 5
- S_2, obras con repercusión social y ambiental baja, 5 ≤ ISA < 20
- S_3, obras con repercusión social y ambiental alta, 20 ≤ ISA < 30
- S_4, obras con repercusión social y ambiental muy alta, ISA ≥ 30

2.7.1.8 Criterios de proyecto dependientes del carácter general

A falta de estudios específicos, en función del carácter general de la obra marítima se fijarán,

- La vida útil mínima de obras definitivas
- La máxima probabilidad conjunta de fallo del tramo y el nivel de operatividad
- Los métodos de verificación de la seguridad y del servicio frente a los modos de fallo adscritos a estados límite último y de servicio, y los métodos de verificación de la explotación frente a los modos de parada operativa
- Los planes de conservación, inspección, auscultación e instrumentación del tramo de obra

2.7.2 Carácter operativo: definición

Las repercusiones económicas y los impactos social y ambiental que se producen cuando una obra marítima deja de operar o reduce su nivel de operatividad, se valorarán por medio de su carácter operativo. Éste se evaluará seleccionando de entre los modos principales de parada operativa, aquel que proporcione el nivel mínimo de operatividad.

2.7.2.1 El carácter operativo según el tramo de la obra

El carácter operativo de la obra marítima se otorgará a todos los tramos de la misma cuya reducción o cancelación de la explotación, dé lugar a repercusiones económicas, sociales y ambientales similares. A las partes de la obra cuya parada operativa implique repercusiones diferentes, se les podrá asociar un carácter específico.

2.7.2.2 Índices para determinar el carácter operativo

Corresponderá al promotor de la obra marítima,público o privado, especificar su carácter operativo. A falta de una determinación específica, el carácter operativo de una obra marítima se establecerá en función de los siguientes índices,

- Índice de repercusión económica operativo, IREO
- Índice de repercusión social y ambiental operativo, ISAO

2.7.2.3 Índice de repercusión económica operativo, IREO

Valora cuantitativamente los costes ocasionados por la parada operativa del tramo de obra.

2.7.2.3.1 Evaluación aproximada del IREO

En aquellos casos en los que no se determinen estos costes,bien por razones de complejidad desproporcionada respecto a la magnitud de la obra, bien por falta de estudios previos, el valor del IREO podrá estimarse de forma cualitativa por el método descrito en el Anejo a este capítulo.

2.7.2.4 Clasificación en función del IREO

En función del valor del Índice de Repercusión Económica Operativo IREO, las obras marítimas se clasificarán en tres tipos correspondientes a tres subintervalos, $RO_{,i}$, i=1, 2, 3,

- $RO_{,1}$, obras con repercusión económica operativa baja: IREO ≤ 5
- $RO_{,2}$, obras con repercusión económica operativa media: 5 < IREO ≤ 20
- $RO_{,3}$, obras con repercusión económica operativa alta: IREO >20

2.7.2.5 Índice de repercusión social y ambiental operativo, ISAO

Estima de manera cualitativa la repercusión social y ambiental esperable, en el caso de producirse un modo de parada operativa de la obra marítima, valorando la posibilidad y alcance de: (1) pérdidas de vidas humanas, (2) daños en el medio ambiente y el patrimonio histórico-artístico y (3) la alarma social generada.

$$ISAO = \sum_{i=1}^{3} ISAO_i$$

donde, $ISAO_1$, es el subíndice de posibilidad y alcance de pérdida de vidas humanas;$ISAO_2$, el subíndice de daños en el medio ambiente y en el patrimonio histórico-artístico e $ISAO_3$, el subíndice de alarma social.

2.7.2.5.1 Evaluación aproximada del ISAO

En aquellos casos en los que no se pueda realizar una determinación detallada de los $ISAO_i$, sus valores podrán estimarse de forma cualitativa por el método propuesto para el cálculo aproximado del ISA, apartados 2.7.1.7.1 y 2.11.3.

2.7.2.6 Clasificación en función del ISAO

En función del valor del índice de repercusión social y ambiental ISAO, los tramos de la obra marítima se clasificarán en cuatro tipos correspondientes a cuatro subintervalos, $S_{O,i}$, i =1, 2, 3, 4,

- $S_{O,1}$, obras sin repercusión social y ambiental significativa, ISAO < 5
- $S_{O,2}$, obras con repercusión social y ambiental baja, 5 ≤ ISAO < 20
- $S_{O,3}$, obras con repercusión social y ambiental alta, 20 ≤ ISAO < 30
- $S_{O,4}$, obras con repercusión social y ambiental muy alta, ISAO ≥ 30

Comentario

En la mayoría de las obras marítimas el ISAO será nulo ya que, producida una parada operativa,cesará la causa del impacto ambiental,si es que lo hubiera. Sin embargo, algunas obras, por ejemplo los emisarios submarinos y las tomas de agua para centrales térmicas o para plantas de desalinización, pueden ocasionar repercusiones sociales y ambientales significativas. En este caso el ISAO ≠ 0, y su importancia se debe considerar en el proyecto en función del carácter operativo de la obra marítima.

2.7.2.7 Criterios de proyecto dependientes del carácter operativo

A falta de estudios específicos, en función del carácter operativo de la obra marítima se recomiendan en el intervalo de tiempo considerado, que por lo general será de un año[8],

- La operatividad mínima
- El número medio de paradas operativas
- La duración máxima de una parada operativa

(8) En la mayoría de los casos, el año se considera la unidad de pulso o periodo meteorológico.En la hipótesis de independencia estadística de los estados de proyecto de cada año,el nivel de operatividad anual representa,asimismo,el nivel de operatividad del tramo de obra durante su vida útil.

2.8 Procedimiento de Verificación

Una de las tareas en el proyecto es verificar que el tramo de obra en su conjunto y todos sus elementos son fiables, funcionales y operativos durante cada una de las fases de proyecto. Para ello, se recomienda un procedimiento de verificación que incluirá, al menos, las siguientes actividades: (1) definición de los condicionantes de proyecto y las bases de cálculo que se desarrollan en el capítulo 3; (2) selección de los estados límite, definición de los modos de fallo y parada, formulación de la ecuación de verificación,de las condiciones de trabajo y establecimiento de los tipos de combinación,que se explican en el capítulo 4; y, (3) resolución de la ecuación verificación y cálculo de la probabilidad de ocurrencia de cada modo y del conjunto de modos en la fase de proyecto, objeto de los capítulos 5, 6 y 7.

2.8.1 Definición de la alternativa de Proyecto y organización de los factores

Especificados los requerimientos funcionales de la obra y determinado su carácter general,se establecerán los condicionantes de Proyecto, definiendo geométricamente una alternativa y organizando por su origen y función y temporal, los factores de Proyecto.

2.8.2 Estados límite

Se considerarán los modos de fallo agrupados en los siguientes estados límite: últimos, ELU, que incluyen los modos de fallo que provocan la pérdida de capacidad estructural o resistente;de servicio, ELS, que incluyen los modos de fallo que inducen una pérdida de funcionalidad, y de parada operativa,ELO, que incluyen los modos de parada que provocan la pérdida de explotación sin fallo estructural o funcional.

2.8.3 Ecuación de verificación

La ocurrencia de cada uno de los modos se describirá mediante una relación funcional entre factores de proyecto que se conoce con el nombre de ecuación de verificación. Esta ecuación se podrá formular en diversos formatos:coeficiente de seguridad global,margen de seguridad,etc. En algunos casos la ecuación de verificación no existe o no es fiable;se recurrirá,entonces,a estudios experimentales en laboratorio o de campo o a otras técnicas.

2.8.3.1 Dominios de seguridad y de fallo

Están formados por los conjuntos de estados de proyecto para los cuales el resultado de la ecuación de verificación toma, respectivamente, valores superiores o inferiores a un cierto valor umbral. Si la ecuación de verificación es del tipo margen de seguridad,es decir $S = X_1 - X_2$, donde S es el margen de seguridad y X_1 y X_2 son los conjuntos de términos favorables y desfavorables, a impedir la ocurrencia del modo respectivamente, entonces, el dominio de seguridad es $S > 0$.El dominio de fallo está formado por todos los estados de proyecto para los cuales, $S \leq 0$.

Si la ecuación es de la forma de coeficiente de seguridad global,el dominio de seguridad es $Z > Z_c$; el dominio de fallo se define por $Z \leq Z_c$, donde Z_c es el coeficiente global mínimo para el modo.

Comentario

Las palabras seguridad y fallo deben entenderse en su sentido más amplio,haciendo referencia a satisfacer e incumplir los requisitos de seguridad, de servicio y de explotación, respectivamente.

2.8.4 Condiciones de trabajo

Los modos de fallo podrán ocurrir en los estados de proyecto más desfavorables o estados límite. Estos estados se agruparán en condiciones (de trabajo) representativas de las manifestaciones extremas de los agentes predominantes y de los requerimientos funcionales y de explotación de la obra y de sus instalaciones.

Una condición de trabajo, CT, es un conjunto de estados de proyecto caracterizados por la ocurrencia de algunos factores de proyecto en función de su simultaneidad y de su compatibilidad. En general, las condiciones de trabajo se especifican en términos de los agentes predominantes. En cada fase de proyecto se considerarán condiciones de trabajo normales operativas,CT_1, extremas, CT_2 y excepcionales, CT_3.

2.8.5 Tipos de combinación

Por lo general será suficiente definir tres tipos de combinación de factores y términos en la ecuación de verificación denominadas: poco probable o fundamental, frecuente y cuasi permanente o habitual.

2.8.6 Método de verificación

En él se definen los criterios para: (1) dar valores a los factores de proyecto y a los términos de la ecuación de verificación, (2) resolver la ecuación de verificación y (3) definir el criterio de fallo y, por tanto, declarar, cuando el tramo de obra satisface los requisitos de seguridad,servicio y uso y explotación.

Comentario

El resultado de la aplicación de un método de verificación a un modo de fallo o parada, es una indicación de si el tramo de obra cumple o incumple aquellos requisitos, figura 2.4. Este resultado, depende de los valores de los factores de proyecto.La ocurrencia, la magnitud y la simultaneidad de los factores de proyecto son dificilmente predecibles, por lo que, en general, el resultado de la ecuación de verificación deberá ser tratado como una variable aleatoria con un modelo de probabilidad.

De acuerdo con la tabla 4.1, en función del carácter de la obra, se recomiendan cuatro métodos de verificación, ordenados en tres niveles, denominados Nivel I, II y III, que se describen en los capítulos 5 y 6.Los métodos verificación y cálculo de Nivel I no proporcionan la probabilidad de fallo o parada del modo y, por tanto, su evaluación debe hacerse estableciendo ciertas hipótesis que se describen en el capítulo 5. Los métodos de Nivel II y III proporcionan directamente la probabilidad de ocurrencia del modo en el intervalo de tiempo.

2.9 Seguridad, Servicio y Explotación

En cada fase de proyecto, la obra en su conjunto, sus tramos,elementos,subelementos,etc.,deben cumplir los requisitos de proyecto en materia de seguridad, servicio y explotación, figura 2.4.

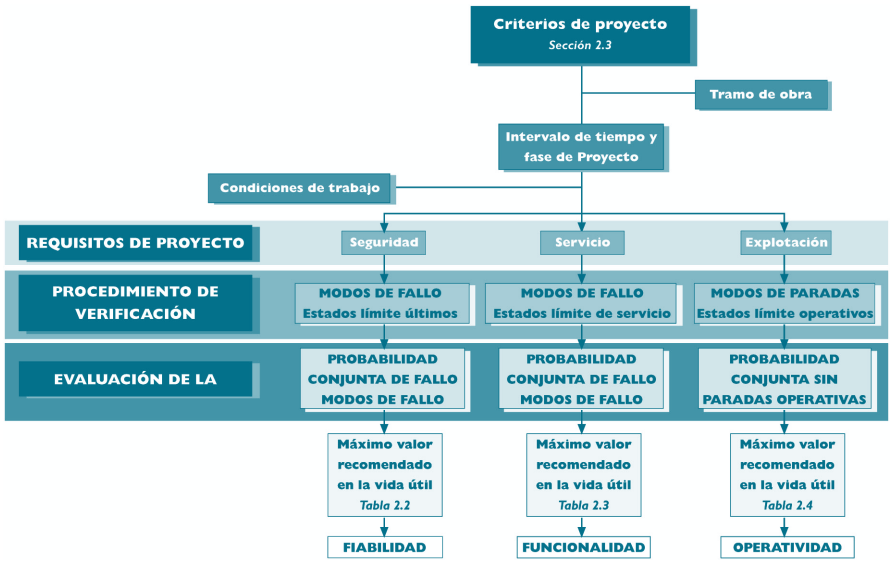

Figura 2.4: Requisitos de proyecto: seguridad, servicio y uso y explotación.

2.9.1 Seguridad

Un tramo de obra se considera seguro, cuando cumple los requisitos de seguridad especificados en el proyecto y exigidos por la normativa vigente durante la ocurrencia de todos los estados que pueden presentarse en las fases de proyecto.

Cuando en un estado de proyecto no se satisfacen estos requisitos de seguridad y la obra, o alguno de sus elementos no es capaz de comportarse adecuadamente desde un punto de vista estructural o resistente, se dice que es insegura o no es fiable.

El fallo, en general, sobreviene en un corto plazo de tiempo y puede afectar al tramo de obra en su conjunto, o a algunos de sus elementos, subelementos, etc., en la forma o mecanismo descrito por un modo de fallo. Si el fallo o los fallos están motivados por la presentación de un mismo agente, pueden ocurrir varios modos de fallo en el intervalo de tiempo, de forma que, la ocurrencia de un modo, induzca otro u otros modos de fallo.

2.9.1.1 Seguridad por tramos

Se verificará la seguridad de la obra por tramos y, en su caso, en su conjunto.

2.9.1.2 Seguridad del tramo en el tiempo

Se verificará la seguridad del tramo de la obra en todas sus fases de proyecto, considerando los modos de fallo adscritos a los estados límite últimos. A tal efecto, la fase de proyecto se podrá dividir en intervalos de tiempo de duración inferior.

2.9.1.3 Probabilidad de fallo frente a la seguridad

La probabilidad de que un tramo de obra incumpla los requisitos de seguridad en un intervalo de tiempo mediante la ocurrencia de un modo de fallo, se denomina probabilidad de fallo (frente a la seguridad).

2.9.1.4 Fiabilidad

Es el valor complementario[9] de la probabilidad de fallo en la fase de proyecto, frente a todos los modos de fallo principales, adscritos a todos los estados límite últimos. En el ámbito de esta ROM, aquella probabilidad se denomina probabilidad de fallo conjunta del tramo frente a los estados límite últimos.

(9) El valor complementario de la probabilidad p,es (1-p).

2.9.1.4.1 Máxima probabilidad conjunta en los estados límite últimos

En un tramo de obra y en la vida útil, la probabilidad conjunta no podrá ser superior al valor dado en la tabla 2.2, en función del carácter general de la obra.

Comentario

Debido a las dimensiones geométricas de las obras marítimas y portuarias y a la diversidad espacial de los factores que afectan, se recomienda verificar la obra por tramos de acuerdo con la definición dada en el apartado 2.2.6. Esta forma de proceder lleva implícita la hipótesis de independencia estadística de los tramos de obra. En consecuencia, la probabilidad de fallo de toda la obra frente a todos los modos de fallo posibles, es la probabilidad de que, al menos un tramo de la obra, falle por la ocurrencia de al menos uno de los modos de fallo adscritos a uno de los estados límite últimos.

2.9.2 Servicio

Un tramo de obra está en servicio cuando cumple los requisitos funcionales (resistentes y formales) especificados en el proyecto y exigidos por la normativa vigente durante la ocurrencia de todos los estados que pueden presentarse en las fases de proyecto.

Cuando en un estado de proyecto no se satisfacen los requisitos funcionales, y el tramo o alguno de sus elementos,no son capaces de comportarse adecuadamente desde un punto de vista estructural y formal,se dice que no está en servicio o no es funcional.El fallo, en general,sobreviene gradualmente a lo largo del tiempo, y puede afectar al tramo de obra en su conjunto o a algunos de sus elementos, subelementos, etc., en la forma o mecanismo descrito por un modo de fallo. Si el fallo o los fallos están motivados por la presentación de un mismo agente, pueden ocurrir varios modos de fallo en el intervalo de tiempo, puediéndose producir en cadena, de tal forma que la ocurrencia de un modo induzca otro u otros modos de fallo.

Comentario

La reducción o pérdida de funcionalidad puede sobrevenir por pérdida de durabilidad. Durabilidad es la capacidad del tramo de la obra y de sus materiales de construcción para soportar durante la fase de proyecto,sin degradación o pérdida de sus propiedades descritas y requeridas en el proyecto,las acciones de los agentes del medio físico, terreno, construcción,y uso y explotación.

2.9.2.1 Servicio por tramos

Se verificará el servicio de la obra por tramos y, en su caso, en su conjunto.

2.9.2.2 Servicio del tramo en intervalos de tiempo

Se verificará el servicio del tramo de la obra en todas sus fases de proyecto, considerando los modos de fallo adscritos a los estados límite de servicio. A tal efecto, la fase de proyecto se podrá dividir en intervalos de tiempo de duración inferior.

2.9.2.3 Probabilidad de fallo frente al servicio

La probabilidad de que un tramo de obra incumpla los requisitos de servicio en un intervalo de tiempo mediante la ocurrencia de un modo de fallo, se denomina probabilidad de fallo (frente al servicio).

2.9.2.4 Funcionalidad

Es el valor complementario de la probabilidad de fallo en la fase de proyecto frente a todos los modos de fallo principales adscritos a todos los estados límite de servicio. En el ámbito de esta ROM,aquella probabilidad se denomina probabilidad de fallo conjunta del tramo frente a los estados límite de servicio.

2.9.2.4.1 Máxima probabilidad conjunta en los estados límite de servicio

En un tramo de obra y en la vida útil,la probabilidad conjunta no podrá ser superior al valor dado en la tabla 2.3, en función del carácter general de la obra.

2.9.3 Uso y explotación

Una obra o tramo y sus instalaciones está en explotación cuando cumple los requisitos de uso especificados en el proyecto y los exigidos por la normativa vigente.

Cuando en un estado de proyecto no se satisfacen estos requisitos, o alguno de sus elementos no es capaz de comportarse adecuadamente, sin fallo estructural, se dice que la obra no está en explotación o no es operativa. La parada operativa suele ocurrir de forma inmediata por sobrepasar alguno de los factores de proyecto, en particular los agentes climáticos, el umbral de uso y explotación, y puede afectar al tramo, a algunos de sus elementos o subelementos, etc. Una vez que cesa la causa, el tramo vuelve a recuperar la capacidad de cumplimiento de los requisitos de explotación.

La forma o manera en la que se produce la parada se describe por un modo de parada operativa. Si la parada está motivada por la presentación de un mismo agente, pueden ocurrir paradas en varias instalaciones en el mismo intervalo, pudiéndose producir en cadena de tal forma que, la ocurrencia de una de ellas induzca otra en la misma u otras instalaciones.

2.9.3.1 Uso y explotación por tramos

Se verificará el uso y la explotación de la obra por tramos y, en su caso, en su conjunto.

2.9.3.2 Uso y explotación del tramo en intervalos de tiempo

Se verificará el uso y la explotación del tramo de la obra en todas sus fases de proyecto, teniendo en cuenta los modos adscritos a los estados límite de parada operativa.A tal efecto, la fase de proyecto se podrá dividir en intervalos de tiempo de duración inferior.

2.9.3.3 Probabilidad de parada

La probabilidad de que un tramo de obra incumpla los requisitos de explotación en un intervalo de tiempo mediante la ocurrencia de un modo de parada, se denomina probabilidad de parada operativa

2.9.3.4 Operatividad

Es el valor complementario de la probabilidad de parada en la fase de proyecto frente a todos los modos de parada principales adscritos a todos los estados límite de parada. En el ámbito de esta ROM, esta probabilidad se denomina operatividad (o nivel de operatividad) del tramo frente a los estados límite de parada.

Para un tramo de obra y una fase de proyecto, el nivel de operatividad es el tanto por ciento del tiempo en el que la obra o sus instalaciones están en explotación y por tanto se cumplen los requisitos de uso y explotación, independientemente de que se haga o no uso de ella.

2.9.3.4.1 Mínimo nivel de operatividad

En un tramo de obra y en la vida útil, el nivel de operatividad no podrá ser inferior al valor dado en la tabla 2.4, en función del carácter operativo de la obra.

2.9.3.5 Otras medidas de evaluación del uso y la explotación

Además del nivel de operatividad,la calidad de la explotación se evaluará por el número medio de paradas en la fase de proyecto u otro intervalo de tiempo y por la duración máxima de un modo de parada.

2.9.3.5.1 Número medio de paradas

En un tramo de obra y en un intervalo de tiempo, es el número de veces que en promedio el tramo de obra o sus instalaciones, dejan de cumplir los requisitos de explotación.

2.9.3.5.1.1 Número medio de paradas operativas recomendable

En un tramo de obra y en el intervalo de tiempo que se defina en el proyecto, y, que en general es el año, el número medio de paradas debido a la ocurrencia de todos los modos de parada no podrá exceder los valores dados en la tabla 2.5.

2.9.3.5.2 Duración de una parada

Es el tiempo que dura la parada y, por tanto, el tiempo que el tramo de obra o sus instalaciones dejan de cumplir los requisitos de uso y explotación.

Comentario

La duración τ , de una parada operativa,es el tiempo que transcurre desde que se produce la parada de las instalaciones hasta que vuelven a estar en explotación. Esta duración es una variable aleatoria.

2.9.3.5.2.1 Duración máxima recomendable

Para cada modo de parada, la duración de cada modo de parada en la fase de proyecto servicio no podrá ser superior a los valores dados en la tabla 2.6.

Comentario

La duración máxima τ_{max}, de una parada es el tiempo máximo que puede transcurrir desde que se produce la parada de las instalaciones hasta que vuelven a estar en explotación. La duración máxima es una variable aleatoria extremal. Un descriptor estadístico de esta distribución es la moda o valor más probable.

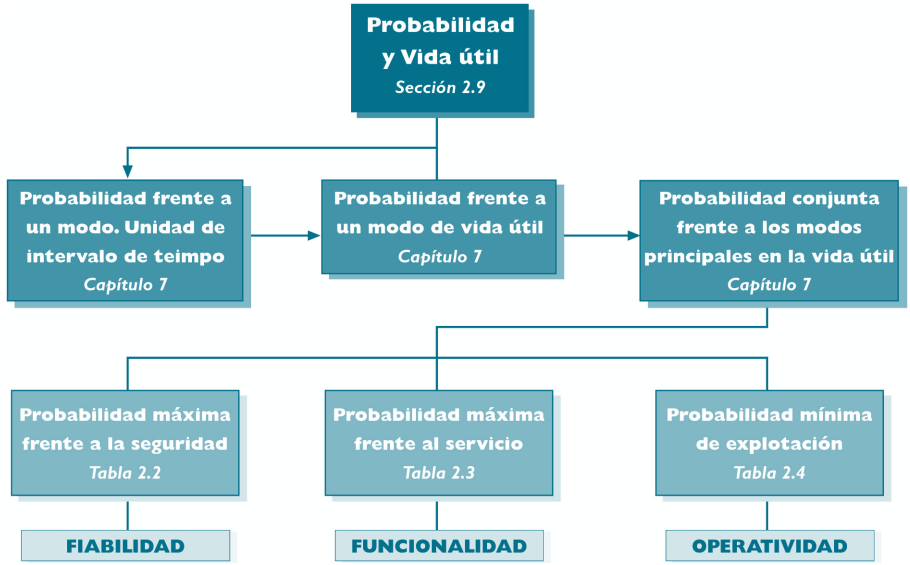

Figura 2.5: Secuencia de cálculo de la probabilidad conjunta de fallo y parada.

2.9.4 Cálculo de la probabilidad conjunta de fallo y parada

El cálculo de la probabilidad conjunta de fallo y parada, se realizará siguiendo una secuencia en la que se determina: la probabilidad de ocurrencia de un modo en la unidad de intervalo de tiempo, la probabilidad de ocurrencia del modo en la fase de proyecto, en general la vida útil y la probabilidad conjunta de ocurrencia de todos los modos adscritos a los estados límite últimos, de servicio y operativos, en la fase de proyecto. La figura 2.5 es un esquema de esta secuencia de cálculo.

2.9.4.1 Diagráma de modos principales de fallo y parada

Un diagrama de modos principales es una simplificación del comportamiento de un tramo y proporciona una lista de los mismos; además, el diagrama puede describir la relación entre los diferentes modos, si es que lo hubiera. A estos efectos, un diagrama podrá ser en serie, paralelo o compuesto.

Comentario

El tramo de obra forma parte de un sistema proyectado y construido para dar un conjunto de servicios. En algunos casos es necesario evaluar la probabilidad global del sistema frente a los modos de fallo o parada. En esta ROM no se proponen métodos para evaluar esta probabilidad global ya que, para ello, se han de definir los árboles de fallo que tienen en cuenta las posibles respuestas del sistema frente a la ocurrencia de un fallo o conjunto de fallos, que dependen,entre otros, de los servicios, instalaciones y organización del sistema.

En estas Recomendaciones, el planteamiento y la formulación del cálculo de la probabilidad conjunta de fallo se basa en la independencia de cada tramo de obra y de los modos, tanto desde el punto de vista de la seguridad, del servicio y del uso y explotación.

2.9.4.2 Dominios de seguridad y de fallo

Está formado por los conjuntos de estados de proyecto para los cuales la ecuación de verificación toma valores superiores o inferiores con respecto a un cierto valor umbral.Si la ecuación de verificación es del tipo margen de seguridad,el dominio de seguridad es $S > 0$.El dominio de fallo está formado por todos los estados de proyecto para los cuales $S \leq 0$. Si la ecuación es de la forma de coeficiente de seguridad global, el dominio de seguridad es $Z > Z_c$; el dominio de fallo se define por $Z \leq Z_c$, donde Z_c es el coeficiente global mínimo para el modo.

2.9.4.3 Unidad de intervalo de tiempo

Marco temporal en el que se dispone de información estadística y modelos de probabilidad de los factores de proyecto y términos en el que se puede resolver la ecuación de verificación y la probabilidad de que el resultado pertenezca al dominio de fallo o de parada.

2.9.4.4 Probabilidad de presentación de un modo en la unidad de intervalo de tiempo

Se calculará evaluando la probabilidad de que el resultado de la ecuación de verificación se encuentre en el dominio de fallo. La probabilidad de fallo frente al modo A_{ij}, $p_{Aij} = Pr[S_{Aij} \leq 0]$, donde i =1, ...,M son los modos adscritos a cada uno de los j =1, ..., N estados límite último, de servicio o de parada.

Comentario

Si la ecuación de verificación es lineal y los términos X_1 y X_2 , están normalmente distribuidos y son independientes, S es también una variable gaussiana.El dominio de fallo se define por $S \leq 0$. Si S, es una

variable normal de media μ_S , y de desviación estándar σ_S, la variable reducida $\beta=\frac{0-\mu_S}{\sigma_S}$, se denomina índice de fiabilidad;la probabilidad de fallo $p_{Aij} = Pr[S \leq 0]$,se puede obtener a partir de la función de distribución de Gauss $\Phi(\beta)$, $p_{Aij} = 1 - \Phi(\beta) = \Phi(-\beta)$, y la fiabilidad de la obra o tramo frente al modo es, $r_{Aij} = \Phi(\beta) = 1 - \Phi(-\beta)$.

El índice de fiabilidad también se puede calcular para ecuaciones de verificación no lineales con términos que no son variables aleatorias gaussianas. La técnica a seguir se describe en al capítulo 6 y se incluye en el denominado método de Nivel II.

2.9.4.5 Probabilidad de presentación de un modo en la fase de proyecto

Una vez conocida la probabilidad de presentación del modo para una unidad de intervalo de tiempo, se determinará la probabilidad de presentación del modo en la fase de proyecto, para la cual ésta se divide en un número finito de unidades de intervalo de tiempo.

2.9.4.6 Probabilidad conjunta y diagrama de modos

Se calculará, según se describe en el capítulo 7, la probabilidad conjunta de presentación de los modos principales adscritos a los estados límite últimos y a los estados límite de servicio, agrupados en diagrama, en serie, en paralelo o compuesto. De forma análoga se calcurlará el nivel de operatividad frente a los modos principales de parada adscritos a los estados límite operativos agrupados en diagrama.En el caso de disponer de información estadística adecuada,se podrán aplicar otros métodos de cálculo de la probabilidad conjunta.

Comentario

Tal y como se explica en el capítulo 7, esta probabilidad conjunta es una aproximación a la probabilidad global de fallo,o parada, del tramo de obra.

2.10 Valores Recomendados

En esta sección se recomiendan valores de la vida útil mínima, las máximas probabilidades conjuntas de fallo frente a la seguridad y el servicio y la operatividad mínima, número medio de paradas máximo y duración máxima de una parada, figura 2.6.

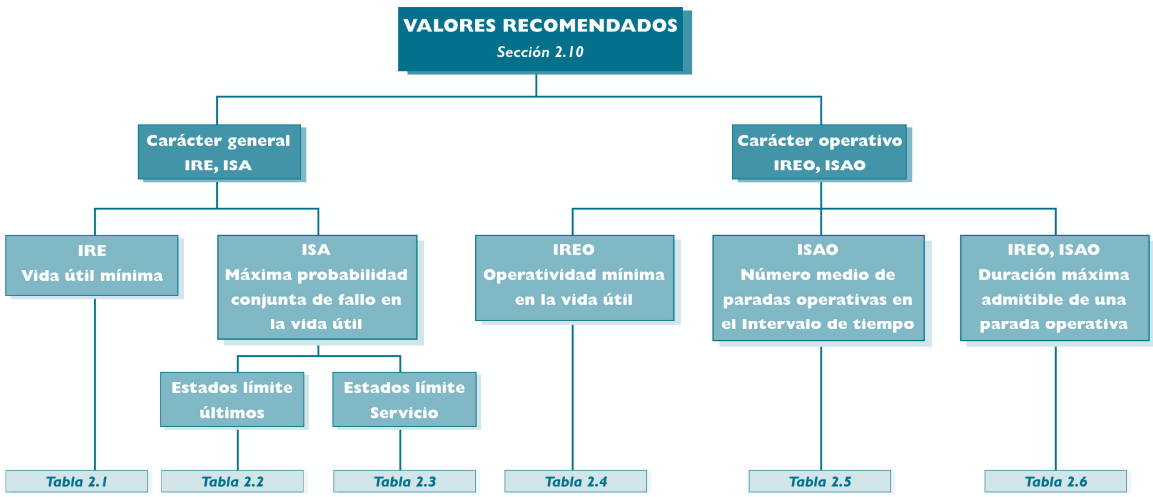

Figura 2.6: Valores recomendados en función de los caracteres general y operativo del tramo de la obra.

2.10.1 Duraciones Mínimas

Para aquellos casos en los cuales la duración de la fase de proyecto no haya sido especificada a priori se considerarán las siguientes duraciones mínimas.

2.10.1.1 Vida útil mínima

La duración de la fase de proyecto servicio, V_m, o vida útil será, como mínimo, el valor consignado en la tabla 2.1, en función del IRE, índice de repercusión económica de la obra marítima.

Tabla 2.1: Vida útil mínima en la fase de proyecto servicio

IRE	≤ 5	6 - 20	> 20
Vida útil en años	15	25	50

2.10.1.2 Duración de la fase de construcción

La duración de esta fase se determinará teniendo en cuenta los medios técnicos y económicos necesarios, así como los procedimientos constructivos que, en cada caso, se establezcan para ejecutar la obra.En todas aquellas obras cuyo proceso constructivo implique la consolidación de suelos (cimientos, rellenos, núcleos de materiales sueltos, etc...), la duración mínima de la subfase correspondiente deberá ser tal, que permita reducir las deformaciones posteriores a niveles tolerables por las estructuras que sobre ella descansan.

2.10.1.3 Duración de la fase de desmantelamiento

En general, la duración de esta fase no deberá ser superior a la duración de la fase de construcción de la obra. En el caso en el que la obra haya sido construida en diferentes etapas, la duración de dicha fase no excederá la suma de las duraciones de las fases de construcción de cada una de ellas.

2.10.2 Máxima probabilidad conjunta de fallo en la vida útil

En cada tramo de la obra y durante la vida útil la máxima probabilidad conjunta de fallo se ajustará a los valores recomendados en las tablas 2.2 y 2.3. Estos valores son orientativos y podrán ser modificados en las Recomendaciones específicas.

Comentario

En el capítulo 7 se recomienda realizar estudios de optimización económica del tramo de obra. Uno de los resultados de dichos análisis es la probabilidad conjunta de fallo asociada a la tipología óptima económica del tramo. Dado que los valores de las tablas 2.2 y 2.3 se han determinado a partir de criterios distintos de los económicos, no debe resultar extraño encontrar algunas diferencias entre los resultados obtenidos de la estricta aplicación de los valores de las tablas 2.2 y 2.3 y los obtenidos por el análisis económico, tal y como se explica en la sección 7.8. En cualquier caso, los números de dichas tablas tienen un carácter experimental y, en consecuencia, su validez es temporal hasta que la aplicación de este Procedimiento proporcione información suficiente para su adopción definitiva,o, en su caso modificación.

En los documentos ROM el valor de la probabilidad no debe necesariamente entenderse como una frecuencia relativa que puede medirse u observarse en la realidad. En el programa ROM la probabilidad debe entenderse en su sentido bayesiano como una valoración expresa del grado de confianza o de "fé"de que así ocurra, teniendo en cuenta todas las incertidumbres que intervienen y como una ayuda para decidir.

2.10.2.1 En los estados límite últimos

La probabilidad conjunta de fallo $p_{f,ELU}$, del tramo de obra, frente a los modos de fallo principales adscritos a los estados límite últimos no podrá exceder los valores consignados en la tabla 2.2,en su vida útil.

Tabla 2.2: Máxima probabilidad conjunta en la fase de servicio para los E.L.U.

ISA	< 5	5 -19	20 -29	≥ 30
p_{fELU}	0.20	0.10	0.01	0.0001
β_{ELU}	0.84	1.28	2.32	3.71

Comentario

Los miembros de la comisión técnica de redacción han determinado los valores de la tabla 2.2 procurando,que estuviesen en sintonía con los usos y hábitos de las otras ramas de la ingeniería civil.Obsérvese, que la máxima probabilidad de fallo cambia un orden de magnitud al cambiar el índice de impacto social y ambiental, de bajo a alto, y de éste a muy alto. Para las obras marítimas cuya índice de impacto social y ambiental es muy alto, es decir, s_4, la probabilidad de excedencia se sitúa en 10^{-4}, que es el orden de magnitud de la máxima probabilidad de fallo admitida en las obras de edificación y obras civiles con alto riesgo de pérdida de vidas humanas.

De acuerdo con la definición de índice de fiabilidad $r_{f,ELU} = \Phi(\beta_{ELU})$, debe ser la fiabilidad mínima del tramo de obra en su vida útil, frente a todos los modos principales de fallo adscritos a los estados límite últimos.

La mayoría de las obras marítimas, especialmente las afectadas fundamentalmente por el oleaje, suelen tener un índice ISA bajo o muy bajo y normalmente se proyectan siguiendo métodos de optimización económica recomendados en esta ROM. Esos métodos, que deberán aplicarse a cada obra, proporcionarán otros valores de la probabilidad de fallo.El valor que se indica en la tabla precedente debe ser un tope superior que, salvo una justificación especial, no debe sobrepasarse.

En el otro extremo, existen obras en el ámbito del programa ROM cuyo índice ISA es alto o muy alto (ISA> 20) y en ellas no se pueden utilizar criterios de optimización sino proyectarse con todas las garantías de seguridad posibles, tal y como se hace en las obras comunes de uso público. La probabilidad teórica de fallo que se indica es sólo un índice de referencia que únicamente será de uso en algunas comprobaciones formales realizadas con técnicas probabilísticas.

2.10.2.2 En los estados límite de servicio

La probabilidad conjunta de fallo $p_{f,ELS}$, del tramo de obra frente a los modos de fallo principales adscritos a los estados límite de servicio, no podrá exceder los valores consignados en la tabla 2.3 durante la fase de proyecto servicio.

Tabla 2.3: Máxima probabilidad conjunta en la fase de servicio para los E.L.S.

ISA	< 5	5 -19	20 -29	≥ 30
p_{fELS}	0.20	0.10	0.07	0.07
β_{ELS}	0.84	1.28	1.50	1.50

Comentario

No es habitual en la ingeniería marítima calcular un tramo de obra frente a modos de fallo adscritos a los estados límite de servicio,debido,principalmente, a la baja capacidad de modelado de la evolución temporal de la respuesta estructural y formal.Además, es escasa la información disponible, medida en el laboratorio o en el mundo real. Deberán pasar varios años antes de que se disponga de teoría y datos para que

la verificación del tramo frente a los modos adscritos a los estados límite de servicio sean tan habituales como la verificación de los modos adscritos a los estados límite últimos.

Para alcanzar este objetivo, que redundará en la consecución de obras más fiables y funcionales, es necesario establecer estrategias de inspección, auscultación e instrumentación que proporcionen información para el contraste de las formulaciones teóricas. Entre tanto, por coherencia expositiva y por criterios de funcionalidad y conservación del tramo, es conveniente incluir esta modalidad de verificación en un procedimiento general de cálculo.

A falta de mejor información, los valores de la probabilidad conjunta de fallo han sido obtenidos admitiendo que el índice de fiabilidad varía proporcionalmente con los intervalos del ISA. Por ello, las probabilidades conjuntas de fallo recomendadas en la tabla 2.3, deberán tomarse como valores indicativos; el paso del tiempo y la experiencia adquirida permitirán contrastar y adecuar sus valores.

De acuerdo con la definición de índice de fiabilidad $r_{f,ELS} = \Phi(\beta_{ELS})$*, debe ser la funcionalidad mínima del tramo de obra frente a todos los modos principales de fallo adscritos a los estados límite servicio en su vida útil.*

2.10.2.3 Entrada parcial en servicio

En el caso en que, durante la fase de construcción la obra entre, transitoriamente en servicio, la probabilidad conjunta de fallo será la que se especifique en el proyecto. En otro caso, será igual o inferior a la dada en la tabla 2.3.

2.10.3 Uso y explotación del tramo en la fase de servicio

En estas Recomendaciones la explotación del tramo de obra se puede especificar por los niveles mínimos de operatividad,el número medio de paradas y la duración máxima admisible de una parada.El primero de ellos,debe satisfacerse en el intervalo de tiempo definido por el resultado de los estudios económicos. El segundo de ellos, se satisfará en un intervalo de tiempo que, en general, estrá vinculado a aspectos sociales y ambientales y su determinación deberá hacerse en función de éstos. Por último, la duración máxima admisible se analizará en un intervalo de tiempo que depende del resultado económico y del ciclo de la demanda; a falta de otra información se podrá considerar el año como intervalo de tiempo para el cálculo de las tres medidas.

Comentario

Las tres medidas o indicadores de la explotación, nivel de operatividad, número medio de paradas y duración máxima, cumplen diferentes objetivos y, en cada caso, deberán aplicarse (uno, dos o los tres) cuando sean relevantes para la funcionalidad del proyecto. El nivel de operatividad debe obtenerse de los estudios de rentabilidad económica de la instalación y por tanto está relacionado con el intervalo de tiempo en el que se hayan realizados dichos estudios.

Por otro lado, el número medio de paradas tiene su justificación, principalmente, por el impacto social y ambiental de la parada en sí, por lo que el intervalo de tiempo debe definirse a partir de éste. Finalmente, la duración máxima admisible de la parada afecta tanto a los aspectos económicos y del ciclo de la demanda como a aspectos sociales y ambientales. Por ello, el intervalo de tiempo debe definirse teniendo en cuenta ambos aspectos durante la fase de proyecto.

En general, las instalaciones marítimas y portuarias tienen un ciclo ambiental y económico anual, por lo que la operatividad y el número medio de paradas, se analizarán en el año.No obstante, existen casos en los que el ciclo puede ser estacional. La duración máxima probable está condicionada por diversos factores y, en general, se procurará que ésta no supere un cierto valor durante la fase de servicio. Si las tres medidas se especifican en el año,con los valores recomendados en las tablas siguientes bastará, en general,con cumplir con los dos valores pésimos pues el tercero se cumplirá de forma automática.

2.10.3.1 Operatividad mínima

En la fase de proyecto servicio y para los casos en los cuales no haya sido especificada a priori, la operatividad del tramo frente a los modos principales adscritos a los estados límite de parada en condiciones de trabajo operativas normales será,como mínimo, el valor consignado en la tabla 2.4, en función del IREO, índice de repercusión económico operativo del tramo.

Tabla 2.4: Operatividad mínima en la fase de servicio

IREO	≤ 5	6 - 20	> 20
Operatividad, $r_{f,ELO}$	0.85	0.95	0.99
β_{ELO}	1.04	1.65	2.32

Comentario

De acuerdo con la definición de índice de fiabilidad, $r_{f,ELO} = \Phi(\beta_{ELO})$, será la operatividad mínima del tramo de obra frente a todos los modos principales adscritos a los estados límite de parada en su vida útil .

Normalmente los fallos de operatividad de una obra no tienen repercusiones socio-ambientales relevantes (ISAO < 5).En esas condiciones la operatividad puede no ser absoluta (garantía nominal del 100%) sino algo menor. La operatividad más conveniente puede deducirse de estudios económicos, pero se recomienda que no se sobrepasen los límites que se indican en este apartado.

2.10.3.2 Número medio de paradas

En el intervalo de tiempo que se especifique que, en general será el año, y para aquellos casos en los cuales no haya sido especificado a priori, el número medio de ocurrencias N_m, de todos los modos adscritos a los estados límite de parada, será, como máximo, el valor consignado en la tabla 2.5.

Tabla 2.5: Número medio de paradas operativas en el intervalo de tiempo

ISAO	< 5	5 -19	20 -29	≥ 30
Número	10	5	2	0

Comentario

En el caso en el que la parada operativa tenga una repercusión social y ambiental $s_{O,4}$, se exige que, salvo justificación, por término medio, no se produzca ninguna parada operativa en el intervalo de tiempo, evitando, de esa forma, que la instalación pare, salvo en condiciones excepcionales o imprevisibles. En algunas ocasiones para poder cumplir con este requisito será necesario duplicar la instalación.

Para las obras más convencionales en las que ISAO < 5, se deben realizar estudios económicos para analizar cuál es el número óptimo de paradas operativas. No obstante, conviene limitar, a priori,los resultados a los que esos estudios pueden conducir. Ese límite es el que se define en la tabla.

2.10.3.3 Duración máxima de una parada

En la fase de servicio y para aquellos casos en los que no haya sido especificado a priori, la duración máxima probable expresada en horas,una vez producida la parada,no podrá exceder el valor consignado en la tabla 2.6, en función del IREO e ISAO del tramo de obra.

Tabla 2.6: Duración máxima probable (horas)

	ISAO			
IREO	< 5	5 - 19	20 - 29	≥ 20
≤ 5	24	12	6	0
6 - 20	12	6	3	0
≥ 20	6	3	1	0

Comentario

La duración es una variable aleatoria. El tiempo total de parada,a causa de la ocurrencia de un modo en una fase de proyecto cuya vida es V intervalos de tiempo independientes (p.ej.años),es igual a $V*p_i$ siendo p_i la probabilidad de presentación del modo en el intervalo de tiempo. El número medio de paradas debido a la ocurrencia de este modo en V es $N_{m,i}=V*p_i/\tau_{m,i}$, donde $\tau_{m,i}$ es la duración media de la parada. La duración media se puede obtener a partir de la función de distribución del modo de parada en el intervalo de tiempo, (veáse la ROM 0.4).

Si los modos de parada son independientes, el tiempo total de parada debida a la ocurrencia de M modos en V es igual a $V * \Sigma_M p_i$, donde p_i es la probabilidad de ocurrencia del modo de parada i en el intervalo de tiempo; el número medio de paradas del tramo en V intervalos de tiempo es $N_m = \Sigma_M V*p_i / \tau_{m,i} = V \Sigma_M (p_i / \tau_{m,i})$

La duración máxima, τ_{max}, de una parada en el tiempo máximo que puede transcurrir desde que se produce la parada de las instalaciones hasta que vuelven a estar en explotación. La duración máxima es una variable aleatoria extremal. Un descriptor estadístico de esta distribución es la moda o valor más probable.

Un valor cero de la duración máxima probable es una indicación del deseo, salvo justificación, de que no se produzca ninguna parada en los tramos de obra cuyo ISAO es $s_{0,4}$. En estos casos para cumplir esta recomendación será necesario duplicar la instalación.

2.10.4 Otros valores admisibles

Los valores recomendados de la probabilidad conjunta de fallo y operatividad se especifican para la fase de proyecto servicio, la cual, por lo general, se expresa en número de años.

Comentario

Si el año es la unidad de intervalo de tiempo y, si se puede considerar que los sucesivos intervalos de tiempo,años, son independientes, se puede hacer uso de esa propiedad estadística para simplificar el cálculo de la probabilidad conjunta y de la operatividad del tramo.

No obstante, en otras ocasiones podrá ser necesario evaluar la probabilidad de fallo o de parada en otros intervalos de tiempo. Un ejemplo es el caso del comportamiento de un dique en talud durante un temporal,(definido por una secuencia de estados de mar) o la operatividad de un muelle durante la temporada turística o durante la llamada operación de paso del Estrecho.En estos casos el promotor o el responsable de la explotación de la obra deberá especificar los requisitos de explotación en el intervalo de tiempo de interés.

2.11 Anejo: Cálculo de los Índices de Repercusión

La importancia económica, y social y ambiental del tramo de obra se valora mediante su carácter general y operativo. Corresponde al promotor de la obra marítima, público o privado, especificar el carácter del tramo de obra.A falta de una definición específica, el carácter se determinará en función de unos índices cuyo valor se calculará de forma aproximada según el método descrito en los apartados siguientes.

2.11.1 Cálculo aproximado del IRE

El IRE se define por la siguiente expresión,

$$IRE = \frac{C_{RD} + C_{RI}}{C_0}$$

donde, (C_{RD}), valora cuantitativamente las repercusiones económicas por reconstrucción de la obra, (C_{RI}), por cese o afección de las actividades económicas directamente relacionadas con ella,

esperables,en el caso de producirse la destrucción o la pérdida de operatividad total de la misma y, (C_0), es un parámetro de adimensionalización. Estos costes se determinarán de acuerdo con los siguientes criterios.

2.11.1.1 Coste C_{RD}

Coste de inversión de las obras de reconstrucción de la obra marítima a su estado previo, en el año en que se valoren los costes por cese o afección de las actividades económicas directamente relacionadas con la obra. A falta de estudios de detalle, simplificadamente, podrá considerarse que este coste es igual a la inversión inicial debidamente actualizada al año citado.

2.11.1.2 Coste C_{RI}

Repercusiones económicas por cese e influencia de las actividades económicas directamente relacionadas con la obra, ya sean oferentes de servicios creados tras su puesta en servicio o demandantes y causadas por daños en los bienes defendidos.Se valorará en términos de pérdida de Valor Añadido Bruto (VAB), a precios de mercado durante el periodo que se estime dure la reconstrucción, tras la destrucción o pérdida de operatividad de la obra, considerando que ésta se produce una vez consolidadas las actividades económicas directamente relacionadas con la obra.

A falta de estudios de detalle, se considerará, en general que la consolidación de actividades económicas directamente relacionadas con la obra se produce transcurridos un cierto número de años desde su entrada en servicio que, a efectos de estas Recomendaciones y salvo justificación en otro sentido, será cinco años.De manera análoga, el periodo de reconstrucción se establecerá en un año.

Comentario

El VAB es lo que el conjunto de actividades económicas aporta a una economía y representa la diferencia entre inputs y outputs del proceso productivo asociado al conjunto de actividades. Esta diferencia está constituida por la fuerza laboral empleada y por los excedentes empresariales generados. En la contabilidad macroeconómica y de acuerdo con el Sistema Europeo de Cuentas, el VAB se calcula como la suma de las remuneraciones de asalariados (sueldos y salarios brutos y cotizaciones sociales) y el excedente bruto de explotación (descontándose de los costes de la cuenta de resultados de amortizaciones). Su valoración a precios de mercado requiere sumar, a los agregados macroeconómicos anteriores, los impuestos netos ligados a la producción (impuestos brutos menos subvenciones).

2.11.1.3 Coste C_O

Parámetro económico de adimensionalización. Su valor depende de la estructura económica y del nivel de desarrollo económico del país donde se vaya a construir la obra, variando, en consecuencia,con el transcurso del tiempo, tomándose, en España, para el año horizonte en los que se valoran los costes C_{RD} y C_{RI}, C_0 = 3 Meuros.

2.11.1.4 Evaluación aproximada de C_{RI} / C_O

En aquellos casos en los cuales no se realice una determinación detallada de C_{RI}, bien por razones de complejidad desproporcionada respecto a la magnitud de la obra,bien por falta de estudios previos, el cociente C_{RI} / C_0, podrá estimarse cualitativamente y de forma aproximada, mediante la ecuación siguiente,

$$C_{RI}/C_0 = (C) * [(A)+(B)]$$

donde, (A) valora el ámbito del sistema económico y productivo, (B) la importancia estratégica del sistema económico y productivo, y, (C) la importancia de la obra para el sistema económico y productivo al que sirve. Estos coeficientes se determinarán de la siguiente manera.

2.11.1.4.1 Coeficiente del ámbito del sistema, (A)

El ámbito del sistema productivo al que sirve la obra marítima se valorará asignando los siguientes valores en función de que aquel sea un ámbito,

- Local, (1)
- Regional, (2)
- Nacional/Internacional, (5)

2.11.1.4.2 Coeficiente de la importancia estratégica, (B)

La importancia estratégica del sistema económico y productivo al que sirve la obra se valorará asignando los siguientes valores en función de que aquella sea,

- Irrelevante, (0)
- Relevante, (2)
- Esencial, (5)

2.11.1.4.3 Coeficiente de la importancia económica, (C)

La importancia de la obra para el sistema económico y productivo al que sirve se valorará asignando los siguientes valores en función de que aquella sea,

- Irrelevante, (0)
- Relevante, (1)
- Esencial, (2)

2.11.2 Clasificación en función del IRE

En función del valor del Índice de Repercusión Económica, IRE, las obras marítimas se clasificarán en,

- R_1, obras con repercusión económica baja: IRE ≤ 5
- R_2, obras con repercusión económica media: 5 < IRE ≤ 20
- R_3, obras con repercusión económica alta: IRE > 20

2.11.3 Cálculo aproximado del ISA

El ISA se define por el sumatorio de tres subíndices:,

$$ISA = \sum_{i=1}^{3} ISA_i$$

donde ISA_1, es el subíndice de posibilidad y alcance de pérdida de vidas humanas; ISA_2, el subíndice de daños en el medio ambiente y en el patrimonio histórico-artístico e ISA_3, el subíndice de alarma social.

Estos índices se evaluarán como se establece a continuación.

2.11.3.1 Cálculo del subíndice ISA_1

Subíndice de posibilidad y alcance de pérdida de vidas humanas. Se asignarán los siguientes valores en función de dicha posibilidad y alcance[10],

- Remoto, (0), es improbable que se produzcan daños a personas
- Bajo, (3), la pérdida de vidas humanas es posible pero poco probable (accidental),afectando a pocas personas
- Alto, (10),la pérdida de vidas humanas es muy probable pero afectando a un número no elevado de personas[11]
- Catastrófico, (20), la pérdida de vidas humanas y daños a las personas es tan grave que afecta a la capacidad de respuesta regional.

(10) En la evaluación de este subíndice se deberá tener en cuenta la existencia,o no,de sistemas y planes de evacuación de las instalaciones.

(11) P.ej.daños del tipo de accidente de tráfico grave.

2.11.3.2 Cálculo del subíndice ISA_2

Subíndice de daños en el medio ambiente y en el patrimonio histórico-artístico. Se asignarán los siguientes valores en función de la posibilidad,persistencia e irreversibilidad de daños en el medio ambiente o en el patrimonio histórico-artístico,

- Remoto, (0), es improbable que se produzcan daños ambientales o al patrimonio.
- Bajo, (2), daños leves reversibles (en menos de un año) o pérdidas de elementos de escaso valor.
- Medio, (4), daños importantes pero reversibles (en menos de cinco años) o pérdidas de elementos significativos del patrimonio.
- Alto, (8),daños irreversibles al ecosistema o pérdidas de unos pocos elementos muy importantes del patrimonio.
- Muy Alto, (15) daños irreversibles al ecosistema, implicando la extinción de especies protegidas o la destrucción de espacios naturales protegidos o un número elevado de elementos importantes del patrimonio.

Comentario

Se consideran daños irreversibles aquellos que no tienen recuperación, o, en el caso de que sea posible, requieran más de cinco años para la completa recuperación del ecosistema.

2.11.3.3 Cálculo del subíndice ISA_3

Subíndice de alarma social.Se asignarán los siguientes valores en función de la intensidad de la alarma social generada,

- Bajo, (0), no hay indicios de que pueda existir una alarma social significativa asociada al fallo de la estructura
- Medio, (5), alarma social mínima asociada a valores de los subíndices ISA_1 e ISA_2 altos.
- Alto, (10), alarma social mínima debida a valores de los subíndices ISA_1, catastrófico e ISA_2, muy alto.
- Máxima, (15), alarma social máxima

2.11.4 Clasificación en función del ISA

En función del valor, del índice de repercusión social y ambiental,ISA, las obras marítimas se clasificarán en,

- S_1, obras sin repercusión social y ambiental significativa, ISA < 5
- S_2, obras con repercusión social y ambiental baja, 5 ≤ ISA < 20
- S_3, obras con repercusión social y ambiental alta, 20 ≤ ISA < 30
- S_4, obras con repercusión social y ambiental muy alta, ISA ≥ 30

2.11.5 Cálculo del carácter operativo del tramo

Corresponde al promotor de la obra marítima, público o privado, especificar el carácter operativo del tramo de obra. A falta de una definición específica, este carácter se establecerá en función de los índices de repercusión económica operativo IREO y social y ambiental operativo, ISAO.

2.11.6 Cálculo aproximado del IREO

El Índice de Repercusión Económica Operativo, IREO, se evaluará mediante la ecuación siguiente,

$$IREO = (F) * [(D)+(E)]$$

donde, (D), (E) y (F), evalúan la simultaneidad, intensidad y adaptabilidad de la demanda a la situación de parada. Estos coeficientes se determinarán de la siguiente forma.

2.11.6.1 Coeficiente de simultaneidad, (D)

Caracteriza la simultaneidad del periodo de la demanda afectado por la obra y con el periodo de intensidad del agente que define el nivel de servicio. Esta simultaneidad se valorará por,

- Periodos no simultáneos, (0)
- Periodos simultáneos, (5)

2.11.6.2 Coeficiente de intensidad, (E)

Caracteriza la intensidad de uso de la demanda en el periodo de tiempo considerado, de acuerdo con el siguiente esquema,

- Poco intensivo, (0)
- Intensivo, (3)
- Muy intensivo,(5)

2.11.6.3 Coeficiente de adaptabilidad, (F)

Caracteriza la adaptabilidad de la demanda y del entorno económico al modo de parada operativa, según los siguientes valores,

- Adaptabilidad alta, (0)
- Adaptabilidad media, (1)

- Adaptabilidad baja, (3)

2.11.7 Clasificación en función del IREO

En función del valor del Índice de Repercusión Económica Operativo, IREO, las obras marítimas se clasificarán en,

- $R_{O,1}$, obras con repercusión económica operativa baja: IREO ≤ 5
- $R_{O,2}$, obras con repercusión económica operativa media: 5 < IREO ≤ 20
- $R_{O,3}$, obras con repercusión económica operativa alta: IREO > 20

2.11.8 Cálculo aproximado del ISAO

El ISAO se define por el sumatorio de tres subíndices,

$$ISAO = \sum_{i=1}^{3} ISAO_i$$

donde $ISAO_1$, es el subíndice de posibilidad y alcance de pérdida de vidas humanas; $ISAO_2$, el subíndice de daños en el medio ambiente y en el patrimonio histórico-artístico e $ISAO_3$, el subíndice de alarma social.

El procedimiento a seguir será el mismo que el especificado en el apartado 2.11.3 para el cálculo aproximado del ISA.

2.11.9 Clasificación en función del ISAO

En función del valor, del índice de repercusión social y ambiental ISAO, los tramos de la obra marítima se clasificarán en:

- $S_{O,1}$, obras sin repercusión social y ambiental significativa, ISAO < 5
- $S_{O,2}$, obras con repercusión social y ambiental baja, 5 ≤ ISAO < 20
- $S_{O,3}$, obras con repercusión social y ambiental alta, 20 ≤ ISAO < 30
- $S_{O,4}$, obras con repercusión social y ambiental muy alta, ISAO ≥ 30

Comentario

En la mayoría de las obras marítimas el ISAO será nulo, ya que, producida una parada operativa, cesará la causa del impacto ambiental, si es que lo hubiera. Sin embargo, algunas obras, p.ej. los emisarios submarinos y las tomas de agua para centrales térmicas o para plantas de desalinización, pueden ocasionar repercusiones sociales y ambientales significativas.