

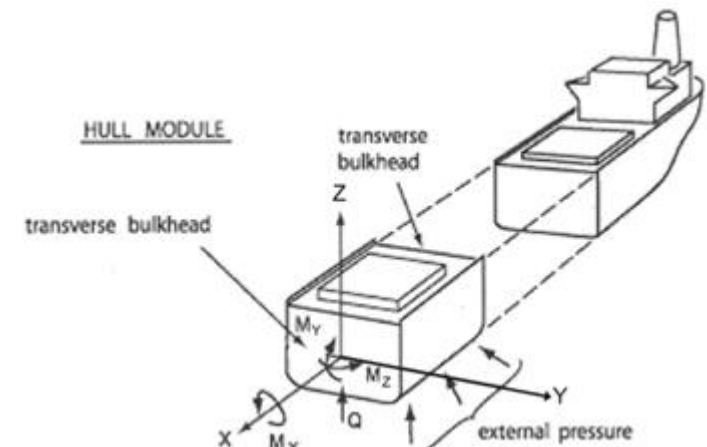
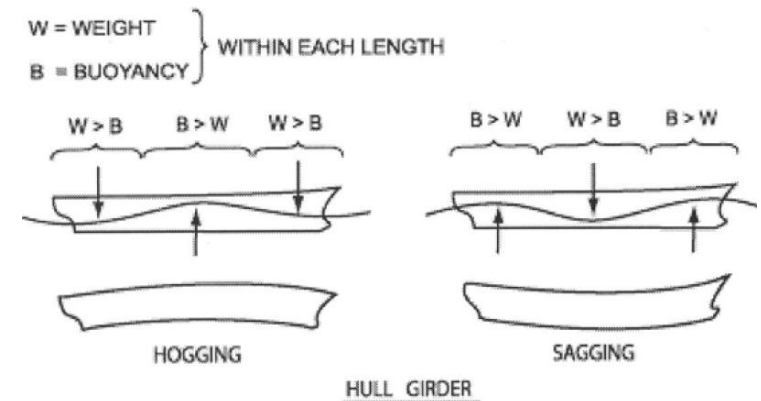
I. Cargas, análisis de los tipos de respuesta estructural, y tipos básicos de falla estructural

Objetivos:

1. Discutir brevemente y clasificar los principales tipos de carga que actúan sobre un buque.
2. Listar los tipos de análisis a la respuesta estructural de un buque.
3. Describir brevemente los tipos básicos de falla estructural que pueden darse en buques.
4. Comentar algunas consideraciones generales con respecto al proceso de optimización en buques.

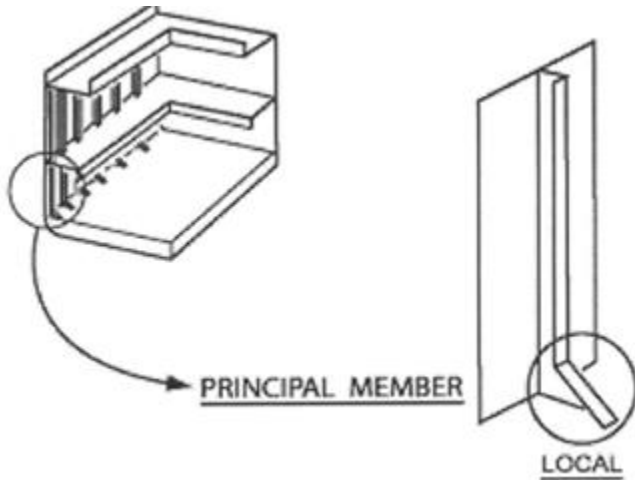
1. Cargas actuando sobre un buque.

Existen diferentes maneras de clasificar las cargas que actúan sobre un buque. Una clasificación es de acuerdo a la cantidad de niveles estructurales (buque como viga caja, módulos, miembros principales, y miembros locales) sobre los cuales tienen influencia.



I. Cargas, análisis de los tipos de respuesta estructural, y tipos básicos de falla estructural

1. Cargas actuando sobre un buque.



Otra forma de clasificar las cargas es de acuerdo a como varían con el tiempo: estáticas, de baja variación (*quasi* estáticas, aquí incluso la componente de periodo más corto tiene un periodo considerablemente más largo que el periodo más extenso de vibración fundamental de la estructura),

y de rápida variación (dinámicas). Para minimizar el tiempo de análisis, el análisis estático y dinámico se suelen realizar separadamente y la respuesta total de la estructura se obtiene al superponer ambos resultados.

Cargas estáticas

1. Todas las cargas en agua tranquila: presión interna y externa (flotabilidad y carga producto de granel líquido) y todos los pesos.

2. Cargas térmicas.

Cargas de baja variación.

1. Distribución de presión dinámica inducida producto de olas sobre el casco (diferente a la condición de equilibrio en agua tranquila).

2. Chapoteo de cargas líquidas.

I. Cargas, análisis de los tipos de respuesta estructural, y tipos básicos de falla estructural

1. Cargas actuando sobre un buque.

Cargas de baja variación.

3. Entrada considerable de agua de mar sobre la cubierta.
4. Golpeteo de olas en los lados y en el frente del buque.
5. Cargas inerciales.
6. Cargas asociadas a la puesta en marcha y atraque de un buque.
7. Cargas relacionadas a la ruptura de hielo.

Cargas de rápida variación

1. Vibración forzada (sistema de propulsión, maquinaria y equipo auxiliar).
2. Otras cargas dinámicas (explosiones bajo el agua, colisiones e impactos).

3. Golpeteo (*slamming*). Este fenómeno puede ocurrir en tres localizaciones: en la porción delantera del fondo (especialmente si es plano), en la proa, y en la popa. En cualquiera de los casos el golpeteo suele durar muy pocos segundos (1 a 2 segundos). El golpeteo tiene efectos importantes en dos niveles de estructura: buque como viga caja, y miembros principales.

2. Tipos de análisis a la respuesta estructural.

Análisis estático o estático y dinámico

Dependiendo de si cargas de rápida variación actúan sobre alguno de los cuatro niveles estructurales, puede que sea necesario incluir un análisis dinámico estructural.

I. Cargas, análisis de los tipos de respuesta estructural, y tipos básicos de falla estructural

2. Tipos de análisis a la respuesta estructural.

Probabilístico o determinístico

En adición a la selección entre estático y dinámico, también hay dos tipos de análisis de respuesta dependiendo si se utiliza explícitamente un enfoque estadístico o no para definir las cargas y para calcular sus efectos.

Probabilístico. Valores característicos de los efectos de las cargas son calculados explícitamente para una estructura y carga en particular. Vea el capítulo 5 del libro de texto.

Determinístico. Valores característicos son obtenidos de expresiones aproximadas derivadas previamente a través de series sistemáticas de un análisis probabilístico.

Lineal o no lineal

Dependiendo de si se está considerando efectos no lineales en el análisis de la respuesta, dicho análisis puede ser lineal o no. Algunas fuentes de no linealidad incluyen: las olas, las ecuaciones hidrodinámicas que gobiernan el problema, y la geometría del mismo buque.

Bajo un análisis lineal algunas de las suposiciones principales son:

1. La superficie de una ola irregular puede ser representada como la suma de un gran conjunto de olas regulares individuales de diferentes amplitudes y frecuencias.
2. Las fuerzas hidrodinámicas actuando sobre el casco de un buque pueden ser obtenidas al considerar cada sección transversal por separado y combinando los resultados linealmente.

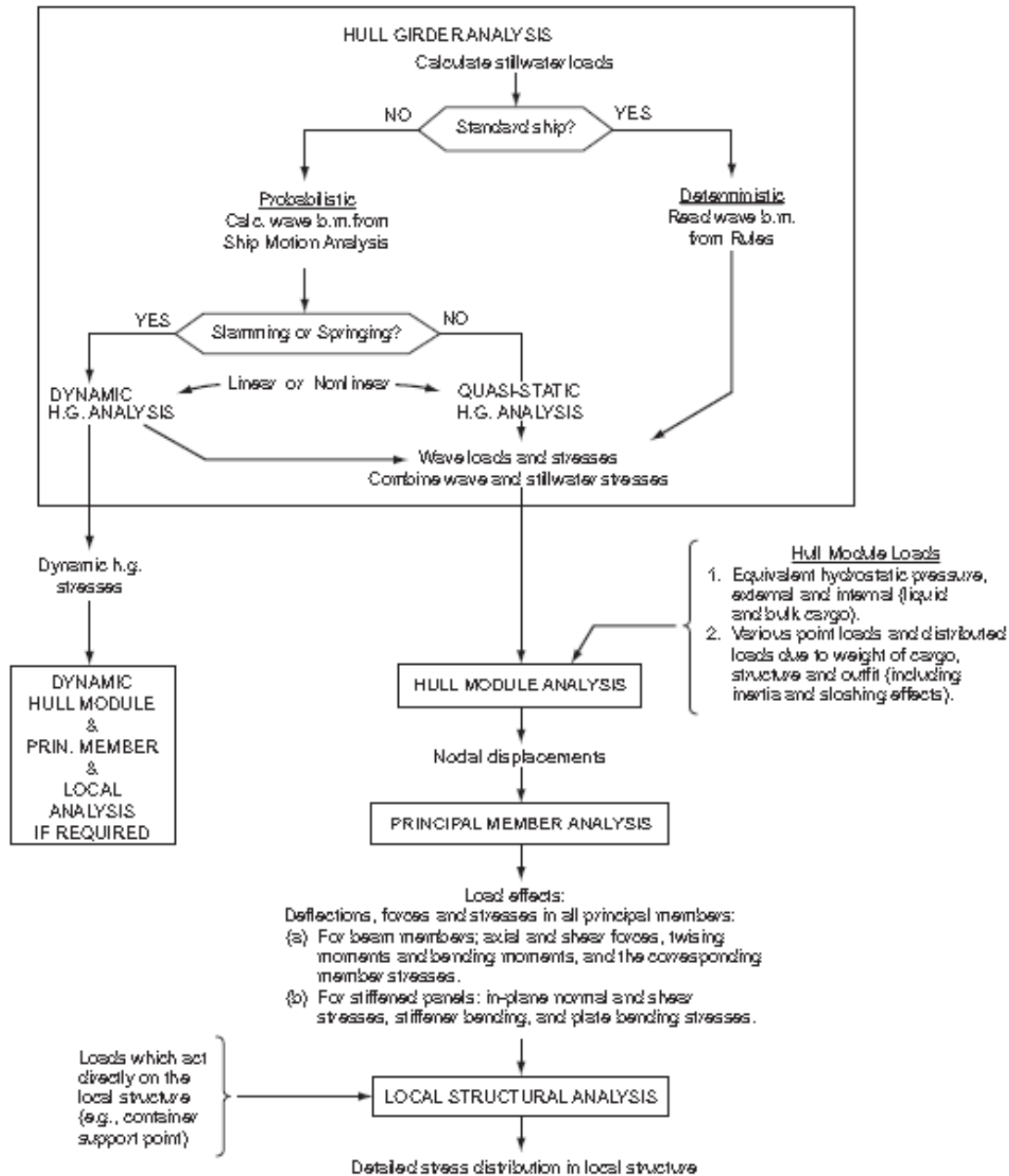


Figure 2.2 Levels of response analysis.

I. Cargas, análisis de los tipos de respuesta estructural, y tipos básicos de falla estructural

2. Tipos de análisis a la respuesta estructural.

Lineal o no lineal

3. La fuerza de la ola actuando sobre cada sección es linealmente proporcional a la porción de agua que emergen en esa sección (diferencia entre la altura de la ola y la altura de la línea de agua en condición de equilibrio en agua tranquila).

3. Consideraciones adicionales acerca de las cargas.

Algunas cargas actuando sobre los buques pueden tener efecto en diferentes niveles estructurales y deben ser consideradas con detenimiento. Vea la sección 2.3 del libro de texto para algunos ejemplos.

4. Tipos básicos de fallas estructurales.

Para miembros de acero, existen tres tipos básicos de fallas estructurales.

Para discutir estos tipos básicos de fallas y apreciar sus diferencias es necesario analizar la relación entre carga y deflexión en cada uno de los casos.

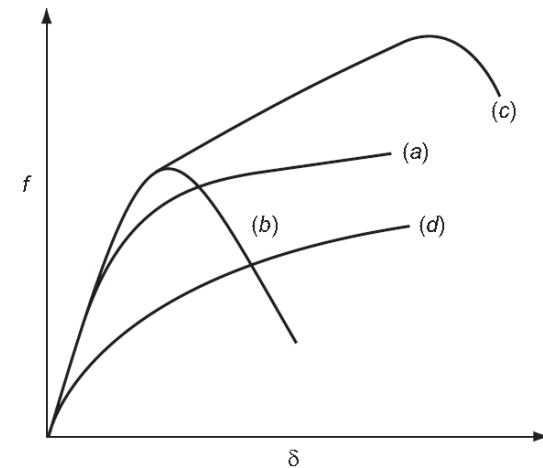


Figure 2.6 Load-deflection curves: (a) failure by plastic deformation, (b) bifurcation buckling of beams and columns, (c) bifurcation buckling of plates, and (d) nonbifurcation buckling.

Las curvas de la figura anterior son típicas de miembros estructurales de buques con las siguientes características: contienen imperfecciones locales incluyendo excentricidades y esfuerzo residuales (producto del proceso de manufactura y de la soldadura),

I. Cargas, análisis de los tipos de respuesta estructural, y tipos básicos de falla estructural

4. Tipos básicos de fallas estructurales.

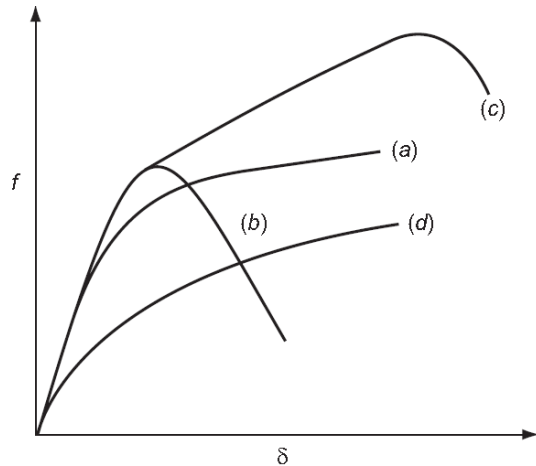


Figure 2.6 Load-deflection curves: (a) failure by plastic deformation, (b) bifurcation buckling of beams and columns, (c) bifurcation buckling of plates, and (d) nonbifurcation buckling.

están hechos de acero de buena calidad de forma tal que no ocurre fractura prematura y la fractura es precedida por largas deformaciones plásticas, y son porciones relativamente robustas o no esbeltas de manera tal que el pandeo no es puramente elástico sino que más bien involucra algún tipo de cedencia del material.

Aunque las curvas de la figura anterior difieren, tienen algunos aspectos básicos en común. En la mayoría de los casos, la curva consiste de una porción elástica, una región de transición de comportamiento elástico a comportamiento plástico, y una región plástica en donde la pendiente se vuelve pequeña de manera tal que la deflexión incrementa de forma considerable para un incremento pequeño en la carga. La pendiente de la curva representa la rigidez instantánea del miembro estructural e indica su capacidad de soportar carga adicional. También es una medida de la estabilidad del miembro.

Plasticidad local elevada (curva a)

En la región elastoplástica, regiones locales de deformación plástica ocurren progresivamente en los puntos de esfuerzo más elevados lo que gradualmente disminuye la rigidez del miembro estructural.

I. Cargas, análisis de los tipos de respuesta estructural, y tipos básicos de falla estructural

4. Tipos básicos de fallas estructurales.

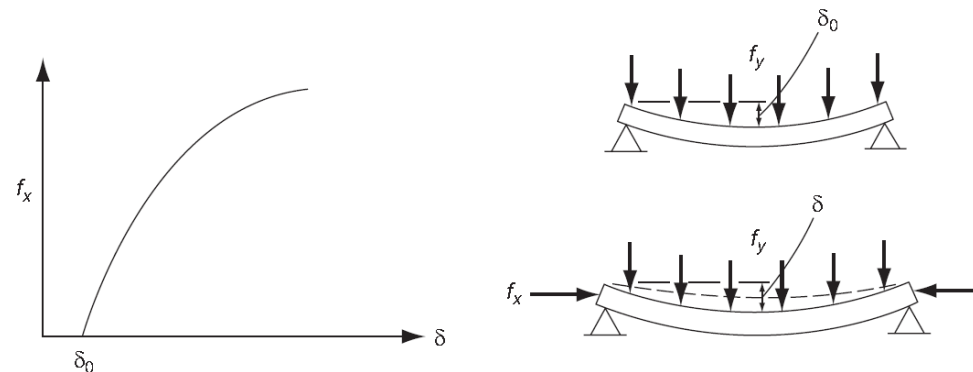
Plasticidad local elevada (curva a)

En la región plástica de la curva, cuando esta deformación plástica local ha crecido considerablemente o a ocurrido en diferentes puntos, la rigidez disminuye y la deflexión incrementa rápidamente, siendo eventualmente tan grande que el miembro estructural se considera que ha fallado ya que no es capaz de realizar el propósito para el cual fue diseñado.

Este tipo de falla estructura es esencialmente producto de la falla del material a altos niveles de esfuerzo y por lo tanto requiere de un análisis de esfuerzo. En dicho análisis se asume implícitamente que la deflexión y la deformación no afectan significativamente la geométrica del miembro ni las ecuaciones de equilibrio (análisis de esfuerzo de primer orden).

Inestabilidad (pandeo con bifurcación o sin bifurcación)

La inestabilidad o pandeo puede ocurrir cuando un miembro o una parte de un miembro maneja carga axial compresiva. Durante los problemas de inestabilidad, la deflexión lateral siempre afecta el momento de flexión en un miembro y consecuentemente sus condiciones de equilibrio, por lo tanto el análisis de estabilidad, que es diferente al de esfuerzo, es un análisis de segundo orden.



I. Cargas, análisis de los tipos de respuesta estructural, y tipos básicos de falla estructural

4. Tipos básicos de fallas estructurales.

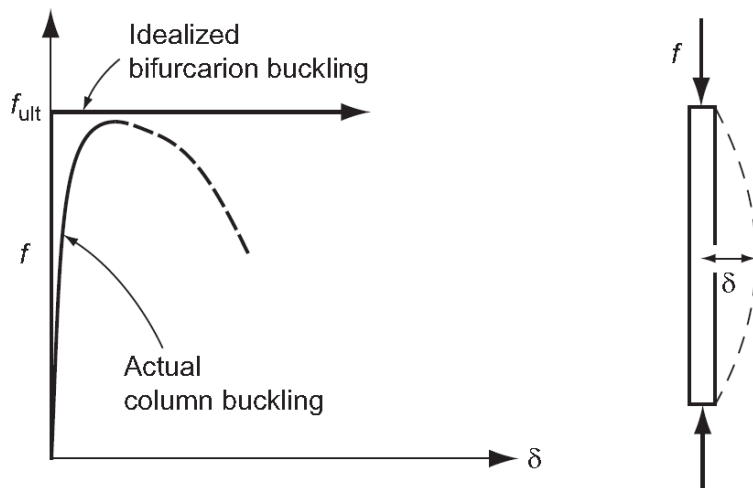
Inestabilidad (pandeo con bifurcación o sin bifurcación)

Hay dos tipos de pandeo: con bifurcación o sin bifurcación.

Para una columna elástica, existe alguna carga axial ante la cual alguna posición de equilibrio existe, correspondiente a una forma curva, y esta es la carga de pandeo o bifurcación del miembro.

En una columna típica que contiene alguna excentricidad, la carga axial induce momento flector sobre la columna y esto a su vez causa deflexión lateral adicional. Para bajos niveles de carga, este efecto es despreciable, y la porción inicial de la curva es aproximadamente lineal. Sin embargo, a medida que la carga axial incrementa, la deflexión lateral se vuelve significativa e induce momento adicional lo que a su vez incrementa aún más la deflexión lateral.

En la línea oscura constante de la figura anterior, en tanto, se muestra el caso ideal. En donde se supone que el miembro no tiene ninguna imperfección geométrica o material y que la única deflexión que ocurre previo al pandeo es aquella en la dirección de las cargas aplicadas. En el caso de una columna cargada concéntricamente, la carga no produce deflexión transversal hasta que una carga de determinada magnitud (carga crítica) es alcanzada.



I. Cargas, análisis de los tipos de respuesta estructural, y tipos básicos de falla estructural

4. Tipos básicos de fallas estructurales.

En este punto, el miembro tiene dos posible estados de equilibrio -pandeado o no- y adopta la forma flexionada.

En el caso del pandeo sin bifurcación. La deflexión lateral comienza tan pronto la carga lateral es aplicada e incrementa progresivamente, causando que el miembro pierda su rigidez desde un inicio. Este es un fenómeno gradual que puede ocurrir en miembros sujetos a cargas laterales, relativamente grandes, en dos planos (flexión biaxial). Como se puede ver en la curva d, el pandeo sin bifurcación se asemeja a la falla por deformación plástica local.

Fractura (directa, frágil, o fatiga)

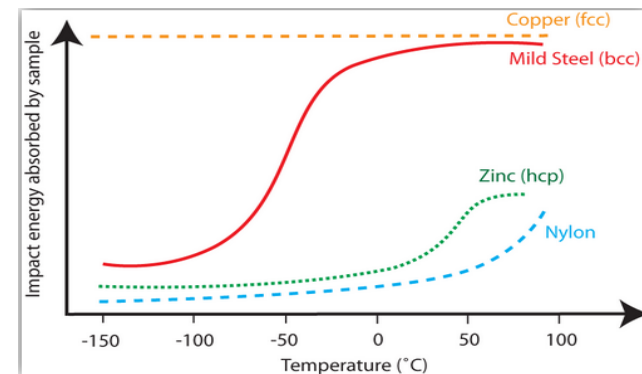
Para garantizar que no se den fallas por fractura estática se suele exigir se mantenga el nivel de esfuerzo σ en cada miembro por debajo de la resistencia ultima en tensión σ_{ult} del material.

La restricción contra falla por fractura es que:

$$\gamma\sigma \leq \sigma_{ult}$$

Donde el factor de seguridad γ es seleccionado de acuerdo al grado de incertidumbre de σ y de acuerdo a la importancia del miembro y de su posible fractura.

Con respecto a la fractura frágil, en el caso de aceros, se refiere al hecho que debajo de una determinada temperatura el esfuerzo último en tensión disminuye considerablemente (perdida de ductilidad del material) lo que puede llevar a fracturas a bajos niveles de esfuerzo.

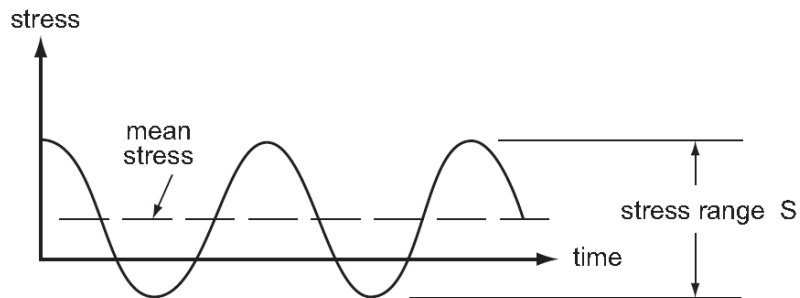


I. Cargas, análisis de los tipos de respuesta estructural, y tipos básicos de falla estructural

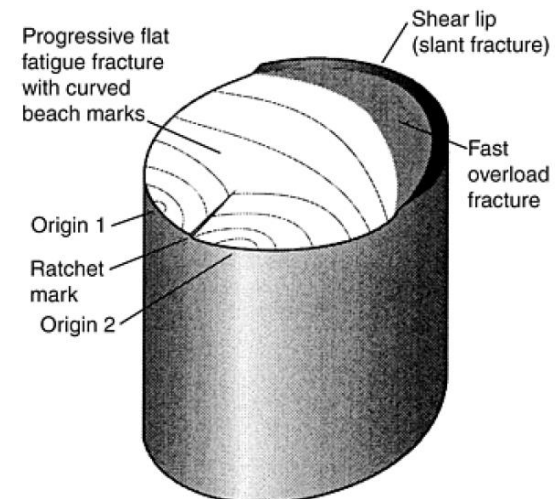
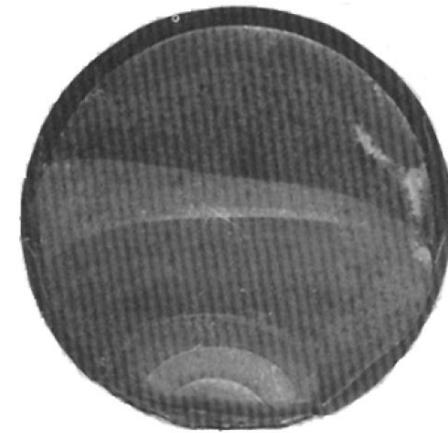
4. Tipos básicos de fallas estructurales.

Fractura (directa, frágil, o fatiga)

En el caso de la fatiga, ha de recordarse que fluctuaciones de esfuerzos pueden iniciar grietas o ampliar grietas microscopias ya existentes en el material. Aquí, el parámetro más importante es el rango de esfuerzo, el cual representa la variación total en el ciclo de esfuerzo.



En vista de que el daño por fatiga (crecimiento de grieta) es acumulativo, la ocurrencia de la fractura dependerá de la magnitud y duración de las cargas cíclicas individuales actuando sobre la estructura a lo largo de su vida.



I. Cargas, análisis de los tipos de respuesta estructural, y tipos básicos de falla estructural

4. Tipos básicos de fallas estructurales.

Fractura (directa, frágil, o fatiga)

Ha de comentarse que existen tres fuentes principales de esfuerzos cíclicos: cargas inducidas por olas, cargas alternantes en tanques de lastre, y fuentes mecánicas como la maquinaria y el sistema de propulsión.

En términos generales, las fallas por fatiga se pueden prevenir al controlar las amplitudes de los ciclos de esfuerzos, y en algunos casos al modificar la geometría local (eliminando concentradores de esfuerzo y discontinuidades) de los miembros o bien reforzándolos localmente.

También debe decirse que hay dos métodos para analizar la fatiga: uno está basado en la mecánica de fracturas y el otro se basa en pruebas de fatiga en conjunto con la hipótesis de que existe daño lineal acumulado. Para más detalles vea la sección 2.4.5 del libro de texto.

5. Optimización de grandes estructuras.

En optimización no lineal, la cantidad de computaciones incrementa exponencialmente con el número de variables de diseño por ser optimizadas simultáneamente. Esto último puede mejorarse si el problema se divide en un número de sub problemas.

En una estructura tan larga como un módulo de un buque puede haber entre 100 y 200 variables de diseño y el problema de optimización no lineal de este tamaño requiere de demasiado esfuerzo computacional por lo que debe dividirse.

Subdivisión del problema

La subdivisión del problema de optimización está basado en el concepto de submódulos, lo cual es una región de una estructura donde un número suficiente de miembros están conectados.

I. Cargas, análisis de los tipos de respuesta estructural, y tipos básicos de falla estructural

5. Optimización de grandes estructuras.

Subdivisión del problema

Las características que más claramente marcan a una región como un submodulo son la uniformidad geométrica, y la presencia repetitiva de miembros estructurales idénticos.

La siguiente figura muestra un tipo común de submodulo que consiste de filas de paneles, de segmentos de cuadernas transversales, y de segmentos de largueros longitudinales. En la figura se aprecia que existen 14 variables de diseño.

Por consideración con respecto al tiempo computacional se aconseja que el número total de variables de diseño no exceda a 20.

