

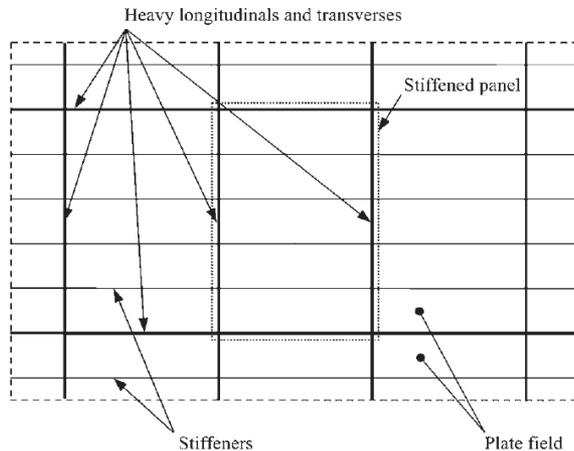
# VI. Paneles con comportamiento elástico y criterio de deformación para paneles sujetos a cargas de impacto

## Objetivo:

1. Introducir brevemente la teoría elástica empleada para paneles y los criterios de deformación para paneles sujetos a cargas de impacto.

## 1. Paneles con comportamiento elástico.

Los paneles son placas reforzadas típicamente en dirección longitudinal y transversal.

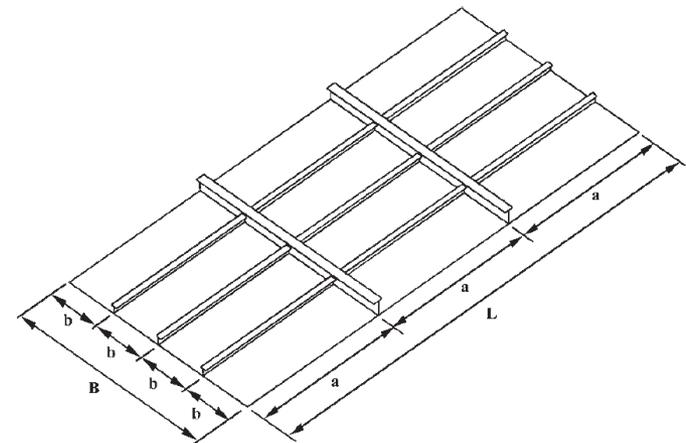


Hay dos posibles enfoques que pueden ser empleados para efectuar el análisis de paneles de forma similar al de placas:

a. Placa isotrópica de espesor equivalente  $h_{eq}$ .

$$h_{eq} = \frac{V}{LB}$$

Donde  $V$  es el volumen total del panel y  $L, B$  representan de forma respectiva, el largo y ancho del panel (vea la siguiente figura).



# VI. Paneles con comportamiento elástico y criterio de deformación para paneles sujetos a cargas de impacto

## 1. Paneles con comportamiento elástico.

### a. Placa isotrópica de espesor equivalente $h_{eq}$ .

En este enfoque el panel se lleva a una placa de espesor equivalente cuyo análisis puede ser efectuado a partir de la teoría discutida en el capítulo 5.

### b. Placa ortotrópica equivalente.

El panel también puede ser analizado como una placa con propiedades direccionales y que mantiene las mismas dimensiones que la placa que constituye el panel. Para más detalles vea la sección 15.3.1 de su libro de texto (aquí se hace la salvedad de que en el caso de deflexiones pequeñas los términos no lineales de la ecuación diferencial, que rige el problema de deflexión en placas ortotrópicas, deben ser despreciados) o bien refiérase a los primeros capítulos del libro *Mechanics of Laminated Composite Plates and Shells, Theory and Analysis* de J.N. Reddy.

## 2. Criterio de deformación para paneles sujetos a cargas de impacto.

Los buques se ven sujetos a cargas dinámicas (impacto) producto de la presión al darse *sloshing* (choque de un fluido con las pared de tanques parcialmente llenos), *slamming* (súbito impacto de alguna porción de la embarcación con la superficie del agua), y cargas al impactar grandes masas de agua la superficie de las cubiertas cuando existen tormentas (*Green sea loads*).

### Idealización de las cargas de impacto.

El comportamiento de los paneles sujetos a cargas de impacto puede ser agrupado en tres dominios dependiendo de la razón de la duración del impacto y el periodo natural de la estructura:

-Dominio casi-estático:  $3 \leq \tau/T$ .

-Dominio dinámico:  $0.3 \leq \tau/T < 3$ .

# VI. Paneles con comportamiento elástico y criterio de deformación para paneles sujetos a cargas de impacto

## 2. Criterio de deformación para paneles sujetos a cargas de impacto.

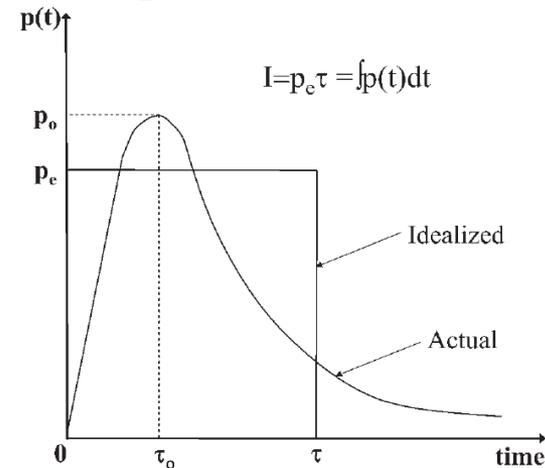
### Idealización de las cargas de impacto.

-Dominio de impulso:  $\tau/T < 0.3$ .

Aquí  $\tau$  es la duración del impacto y  $T$  es el periodo natural de la estructura en consideración.

Las presiones dinámicas asociadas a *sloshing*, *slamming*, y *green seas* se suelen caracterizar por cuatro parámetros: (a) tiempo de subida hasta la presión máxima  $p_0$ , (b) la presión máxima, (c), el decaimiento de la presión después de alcanzada la presión máxima, y (d) la duración de la carga de presión.

Cuando el tiempo de subida es muy corto, el impacto de presión puede ser aproximado como una presión constante equivalente  $p_e$  actuando sobre un tiempo de duración  $\tau$  como se puede ver en la siguiente figura. Esta aproximación se basa en que el impulso  $I$ , el cual es el producto de  $p_e\tau$  debe ser igual a:



$$I = p_e \tau = \int p(t) dt$$

Generalmente  $p_e$  suele tomarse como una fracción de  $p_0$  y  $p(t)$  suele ser definido a partir de la teoría asociada al análisis de cargas dinámicas de las olas (vea el capítulo 4 de su libro de texto). Una vez se conoce  $I$  y  $p_e$  se puede determinar la duración  $\tau$ .

# VI. Paneles con comportamiento elástico y criterio de deformación para paneles sujetos a cargas de impacto

## 2. Criterio de deformación para paneles sujetos a cargas de impacto.

### Idealización de las cargas de impacto.

Al predecir el daño estructural (deformación permanente del panel) producto de la presión de impacto,  $p_e$  y  $\tau$  son parámetros que influyen en el cálculo de la deflexión permanente  $w_p$ .

Típicamente se suele requerir que:

$$w_p \leq w_{pa}$$

Donde  $w_{pa}$  es la deflexión permanente permitida que suele ser tomada como el producto de una constante positiva y el espesor de la placa que constituye el panel.

Expresiones de diseño para el cálculo de la deflexión permanente en paneles.

El daño estructural de paneles reforzados bajo cargas de impacto de presión es evaluado en término de la deflexión plástica permanente del panel en tres niveles: (a) nivel de la placa que se encuentra en medio de los refuerzos, (b) nivel combinado en donde se tiene placa-refuerzos en una determinada dirección (típicamente en dirección longitudinal), y (c) nivel del panel completo con refuerzos cruzados.

*(a) Placas en medio de refuerzos.*

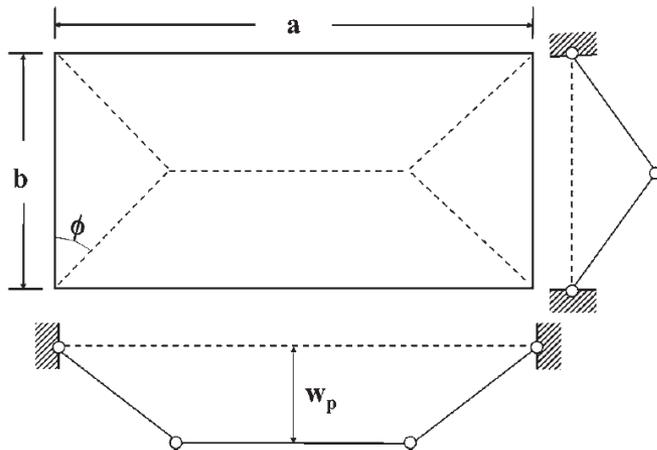
Bajo cargas de presión dinámicas, las placas suelen deformarse en medio de los refuerzos. En vista de que todas las placas individuales están reforzadas por medio de refuerzos cruzados, las mismas se flexionaran en la dirección de la carga de presión y prácticamente no rotarán con respecto a los miembros de apoyo. Producto de esto último se suele suponer que cada placa esta empotrada en todos sus extremos.

# VI. Paneles con comportamiento elástico y criterio de deformación para paneles sujetos a cargas de impacto

## 2. Criterio de deformación para paneles sujetos a cargas de impacto.

Expresiones de diseño para el cálculo de la deflexión permanente en paneles.

(a) *Placas en medio de refuerzos.*



En este caso, la deflexión plástica permanente que sufrirá la placa  $w_p$  puede ser calculada a partir de las expresiones dadas por Chen (1993):

-Límite inferior:

$$\frac{w_{p,inf}}{h} = \sqrt{2 \frac{\alpha}{A_2} \lambda + \left(\frac{A_1}{A_2}\right)^2} - \frac{A_0}{A_2} - \frac{A_1}{A_2}$$

-Límite superior:

$$\frac{w_{p,sup}}{h} = \sqrt{2\sqrt{2} \frac{\alpha}{A_2} \lambda + \left(\frac{A_1}{A_2}\right)^2} - \frac{A_0}{A_2} - \frac{A_1}{A_2}$$

Donde:

$a$  es la longitud de la placa (en dirección de los refuerzos longitudinales),  $b$  el ancho de la placa,  $h$  el espesor de la placa,

$$\lambda = \frac{\mu V_0^2 b^2}{4M_p h}, V_0 = \frac{p_e \tau}{\mu}, M_p = \frac{\sigma_Y h^2}{4}, \mu = \rho h,$$

$$\tan \phi = \sqrt{3 + \alpha^2} - \alpha, \beta = \frac{a}{b}, \alpha = \frac{1}{\beta},$$

# VI. Paneles con comportamiento elástico y criterio de deformación para paneles sujetos a cargas de impacto

## 2. Criterio de deformación para paneles sujetos a cargas de impacto.

Expresiones de diseño para el cálculo de la deflexión permanente en paneles.

(a) *Placas en medio de refuerzos.*

$$A_0 = \frac{3}{2 \sin \phi \cos \phi} + \frac{1}{\alpha} - \tan \phi$$

$$A_1 = \frac{1}{3 \sin \phi \cos \phi} + \frac{2}{\tan \phi} + \frac{2}{\alpha}$$

$$A_2 = 4 \left( \frac{1}{\sin \phi \cos \phi} + \frac{1}{\tan \phi} + \frac{4}{\alpha} - 3 \tan \phi \right)$$

Donde  $\sigma_Y$  es el esfuerzo de cedencia del material bajo carga estática y  $\rho$  la densidad del material.

Para una placa cuadrada con  $\beta = 1$ ,  $A_0 = 3$ ,  $A_1 = 14/3$ ,  $A_2 = 16$ , las expresiones anteriores para la deflexión permanente quedarían como:

$$\frac{w_{p,inf}}{h} = \sqrt{0.125\lambda - 0.1024} - 0.2917$$

$$\frac{w_{p,sup}}{h} = \sqrt{0.1768\lambda - 0.1024} - 0.2917$$

Jones (1971) y Jones y Baeder (1972) obtuvieron los resultados experimentales para la deflexión permanente central de placas cuadradas de aleación de aluminio 6061-T6 y de acero. La siguiente figura compara las soluciones teóricas con los resultados experimentales de estos investigadores.

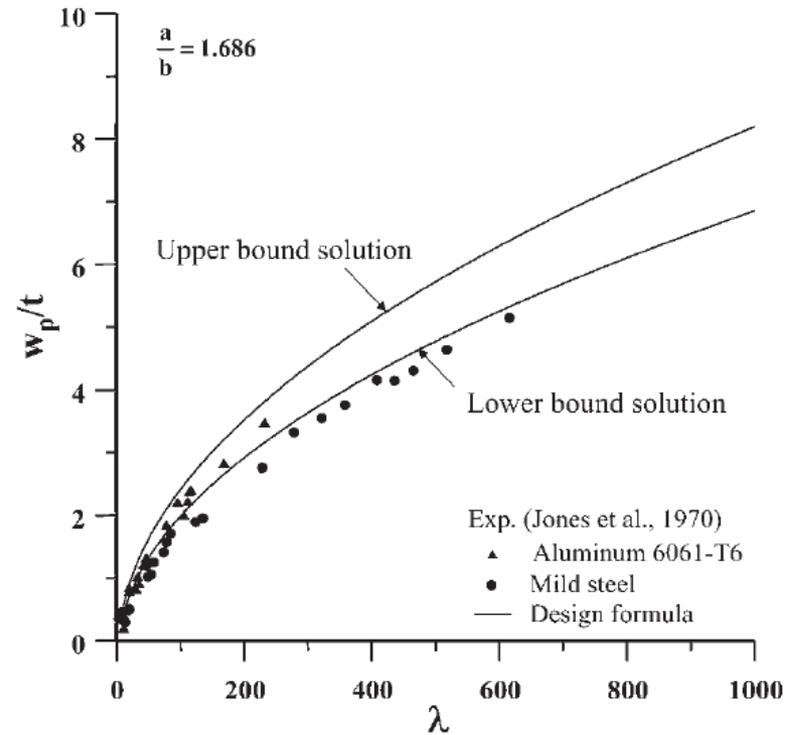
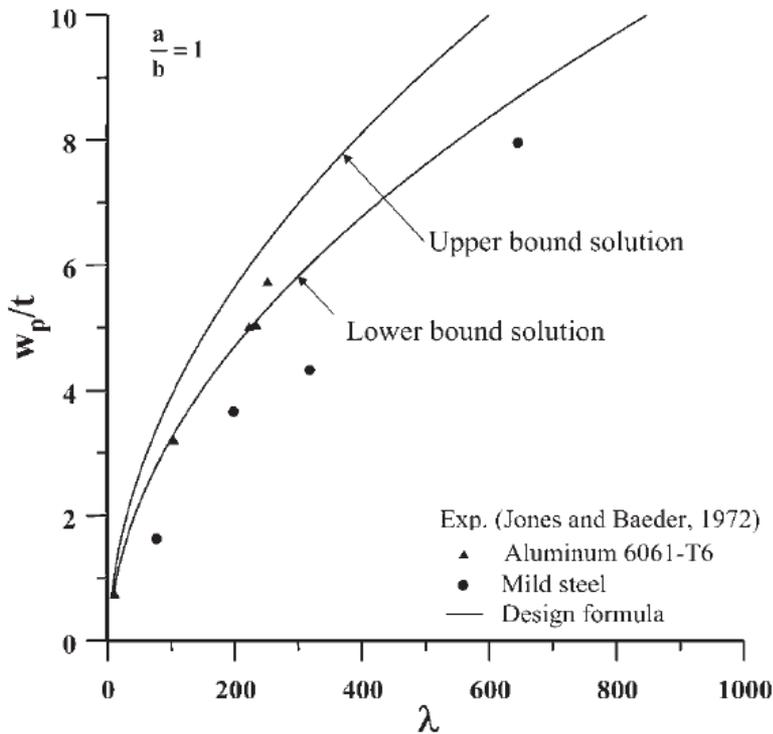
Jones y Baeder también obtuvieron los resultados experimentales para cuando se tiene una placa rectangular con  $\beta = 1.686$ .

También ha de tenerse presente que la deflexión plástica permanente  $w_p$  aparte de ser menor que la permitida, debe ser menor que  $w_p^*$ , donde:

$$w_p^* = w_p(\tau = T)$$

Donde  $T$  es el periodo natural de la placa de acero.

# VI. Paneles con comportamiento elástico y criterio de deformación para paneles sujetos a cargas de impacto



# VI. Paneles con comportamiento elástico y criterio de deformación para paneles sujetos a cargas de impacto

## 2. Criterio de deformación para paneles sujetos a cargas de impacto.

Expresiones de diseño para el cálculo de la deflexión permanente en paneles.

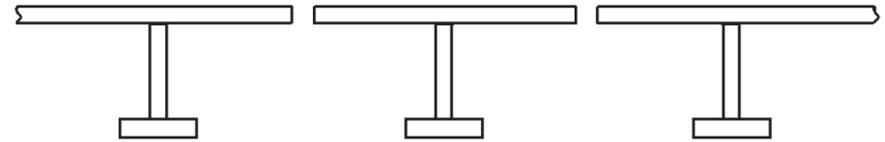
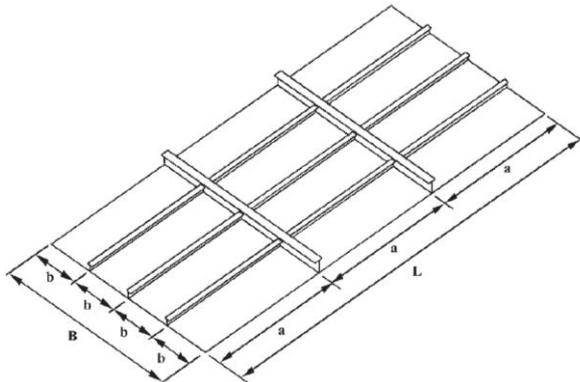
(a) Placas en medio de refuerzos.

Recuerde que:

$$T = \frac{1}{f_n} = \frac{2\pi}{\omega_n}$$

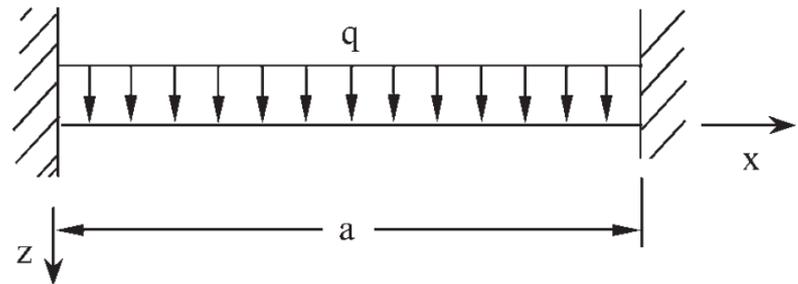
Donde  $\omega_n$  es la frecuencia natural circular.

(b) nivel combinado en donde se tiene placa-refuerzos en una determinada dirección.



Cuando el pulso de presión es relativamente pequeño, los refuerzos transversales puede que no fallen hasta que fallen los longitudinales en medio de estos.

Jones (1997) derivó la siguiente expresión para la deflexión permanente  $w_p$  de una viga sujeta a una carga de impacto. Aquí se supone  $a \gg b$ . Vea la siguiente figura.

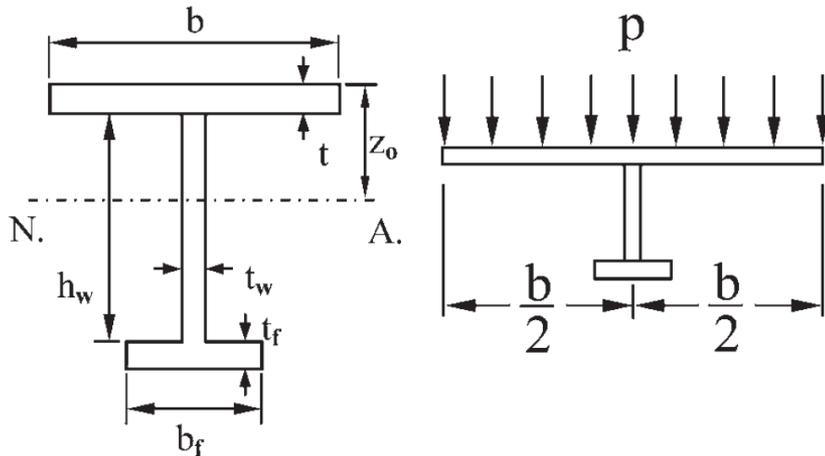


# VI. Paneles con comportamiento elástico y criterio de deformación para paneles sujetos a cargas de impacto

## 2. Criterio de deformación para paneles sujetos a cargas de impacto.

Expresiones de diseño para el cálculo de la deflexión permanente en paneles.

(b) nivel combinado en donde se tiene placa-refuerzos en una determinada dirección.



$$\frac{w_p}{t_{eq}} = \frac{1}{2} \left[ \left( 1 + \frac{3\lambda}{4} \right)^{1/2} - 1 \right]$$

Donde:

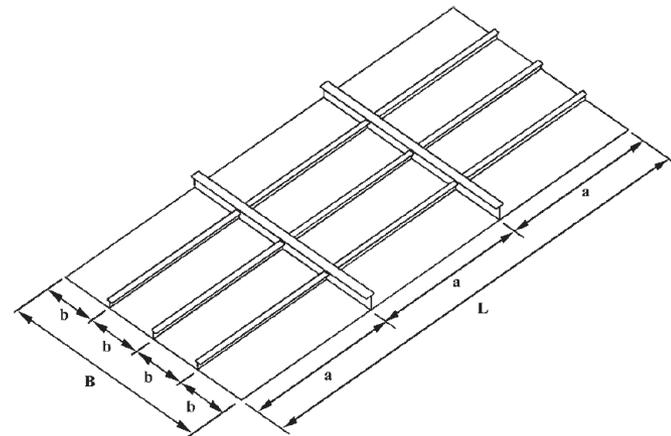
$$\lambda = \frac{\mu V_0^2 a^2}{16 M_p t_{eq}}, M_p = \frac{\sigma_0 b t_{eq}^2}{4}, \sigma_0 = \frac{\sigma_Y + \sigma_T}{2},$$

$$t_{eq} = \frac{bt + h_w t_w + b_f t_f}{b}$$

Aquí  $\sigma_T$  es el esfuerzo último en tensión del material bajo cargas estáticas. Para aquellas variables no definidas refiérase a la figura anterior y a la sección:

(a) Placas en medio de refuerzos.

(c) nivel del panel completo con refuerzos cruzados.



# VI. Paneles con comportamiento elástico y criterio de deformación para paneles sujetos a cargas de impacto

## 2. Criterio de deformación para paneles sujetos a cargas de impacto.

Expresiones de diseño para el cálculo de la deflexión permanente en paneles.

*(c) nivel del panel completo con refuerzos cruzados.*

Cuando el pulso de presión es muy grande o los refuerzos transversales son relativamente débiles, dichos refuerzos pueden fallar a la par que los longitudinales.

En este caso el panel puede ser idealizado como una placa con un espesor equivalente  $h_{eq}$  (como ya fue comentado en la sección 1) y su  $w_p$  puede ser estimada con la expresión empleada en la sección: *(a) Placas en medio de refuerzos.*

Aplicaciones.

Para ver algunas aplicaciones refiérase a la sección 10.4 de su libro de texto.