

CI3201: ANALISIS DE ESTRUCTURAS ISOSTATICAS

Sección No.1

Profesor: Francisco Hernández

e-mail: fhernandezp@ing.uchile.cl

Oficina: 428 (4to Piso, Edificio de Civil)

Capítulo 3: Acciones en Estructuras

Acciones, Clasificación

- Cargas muertas
- Cargas vivas estáticas
- Cargas vivas móviles
- Impacto, Explosiones
- Nieve
- Viento
- Sismos
- Temperatura, Retracción, asentamientos
- Incendio
- Otros

Solicitaciones

- CHILE:

- NCh 1537 of.2009: Cargas permanentes y cargas de uso.
- NCh 431 of.2010: Cargas de nieve.
- NCh 432 of.2010: Cargas de viento.
- NCh 433 of.1996 Mod. 2010: Diseño sísmico de edificios.
- NCh 2369 of.2003: Diseño sísmico de estructuras e instalaciones industriales.
- NCh 3171 of.2010: Disposiciones generales y combinaciones de cargas.

- USA:

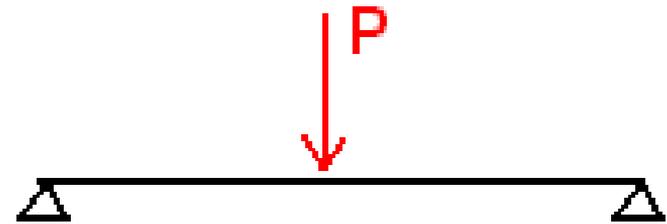
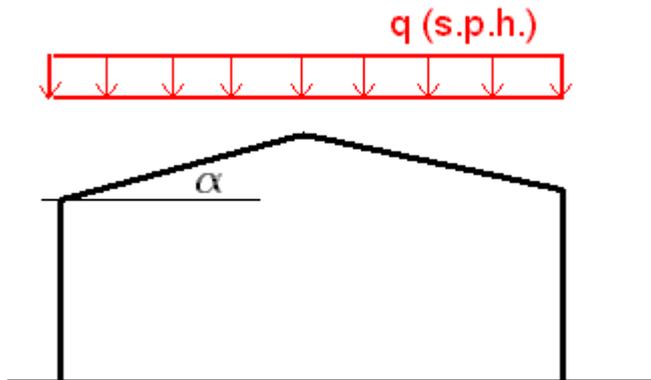
- SEI/ASCE 7-10: Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures.

- Europa:

- EN 1991 Eurocode 1 (2009): Actions on Structures.

NCh 1537:2009- cargas Permanentes y cargas de uso

- Cargas de uso de techos
 - Acceso sólo para mantención $q_k = 1$ kPa
 - Este valor se reduce por:
 - Área tributaria
 - Pendiente
 - El mínimo valor es 0,3 kPa
 - Carga se aplica sobre proyección horizontal (s.p.h.)
 - Carga de mantención: 1kN en posición más desfavorable



NCh 1537:2009

- Sobrecargas de piso
 - Sobrecarga básica según uso (Tabla 4, NCh 1537)
 - Este valor se reduce por:
 - Área tributaria

Bibliotecas	Áreas de lectura	3,0 kPa
	Áreas de archivo < 1,8m	5,0 kPa
Estacionamientos	Vehículos livianos	3,0 kPa
Oficinas	Áreas privadas s/ equipos	2,5 kPa
	Áreas públicas y privadas c/equipos	5,0 kPa
Viviendas	Áreas de uso general	2,0 kPa
	Balcones $\leq 10 \text{ m}^2$	3,0 kPa
Corredores, escalas y lugares de uso público		5,0 kPa

4.1.1 PESOS ESPECIFICOS MAS USUALES

- Hormigón armado 2.5 t/m³
- Albañilería 1.8 t/m³
- Estuco 2.0 t/m³
- Relleno de piso (sobrelosa) 2.0 t/m³
- Enlucido de cielo 2.0 t/m³
- Tierra jardinera 2.0 t/m³
- Cielo falso 50 kg/m²
- Tabiques de volcanita 50 a 100 kg/m² (espesores de 5 a 12cm)
- Techumbre 30 a 100 kg/m² (pizarreño a teja)

4.1.2 SOBRECARGAS ESTATICAS DE USO (NCh 1537 of 86)

- Edificios habitacionales 200 kg/m² piso tipo, 100 kg/m² último piso (techo)
- Edificios de oficinas 250 kg/m² piso tipo, 100 kg/m² último piso (techo)
- Estacionamientos 500 kg/m²
- Areas de uso público 400 kg/m²

4.1.3 SOBRECARGA SISMICA

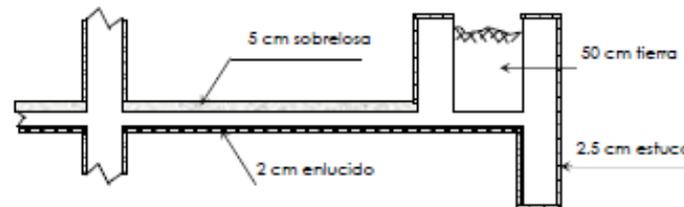
- Construcciones destinadas a la habitación privada o al uso público donde no es usual la aglomeración de personas:

$$SC \text{ sísmica} = 25\% SC \text{ estática}$$

- Construcciones destinadas a la habitación privada o al uso público donde es usual la aglomeración de personas:

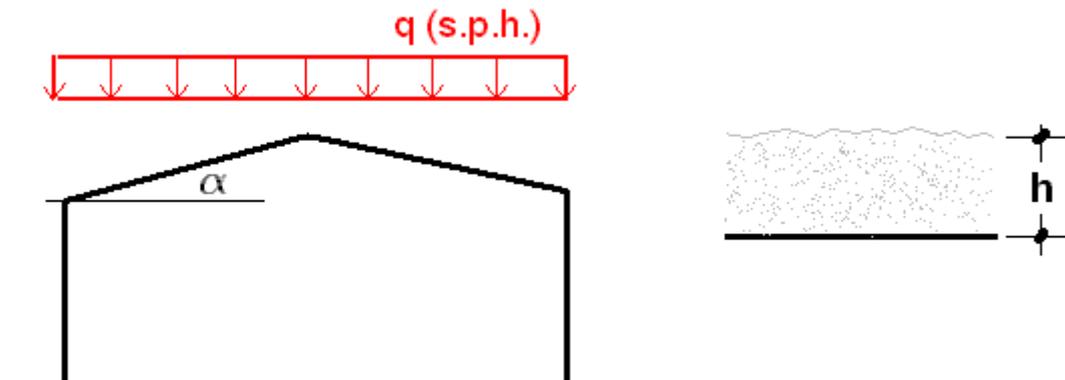
$$SC \text{ sísmica} = 50\% SC \text{ estática}$$

4.1.4 TERMINACIONES MAS USUALES EN MUROS, VIGAS Y LOSAS



NCh 431 of.2010

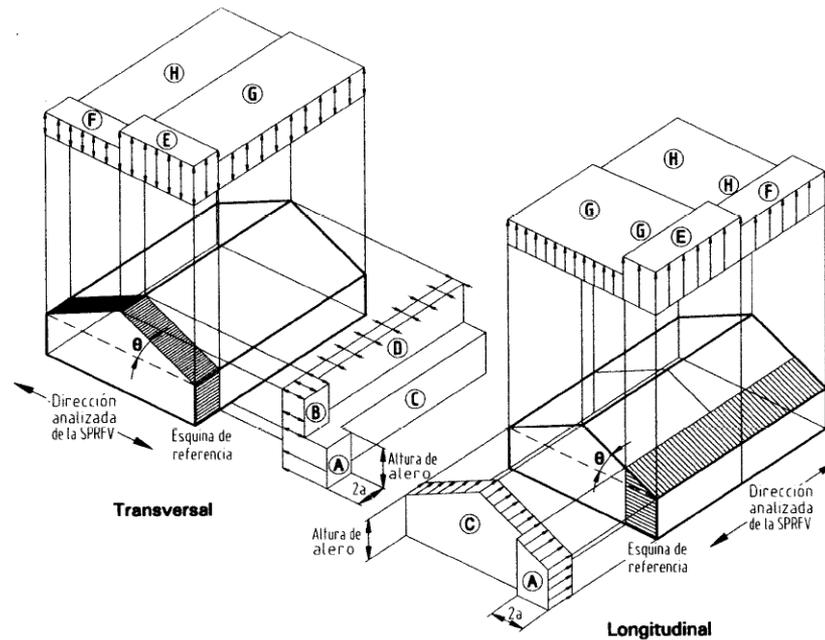
- Cargas de nieve
 - Carga básica = p_g (altitud , latitud)
 - Carga de nieve en techos planos: $p_f = 0,7 \cdot C_e \cdot C_t \cdot p_g \geq I \cdot \min(p_g; 0,96)$
 - Carga de nieve en techos inclinados: $p_s = C_s \cdot p_f$
 - Carga se aplica sobre proyección horizontal (s.p.h.)



NCh 432.Of2010

- Cargas de viento, procedimiento simplificado
 - Presión simplificada

$$p_s = \lambda \times K_{zt} \times I \times p_{s30} \geq 480 \text{ N/m}^2$$



NCh433 of.1996 Modificada en 2010

- Método elástico estático

$$Q = C \cdot I \cdot P$$

- NCh 433

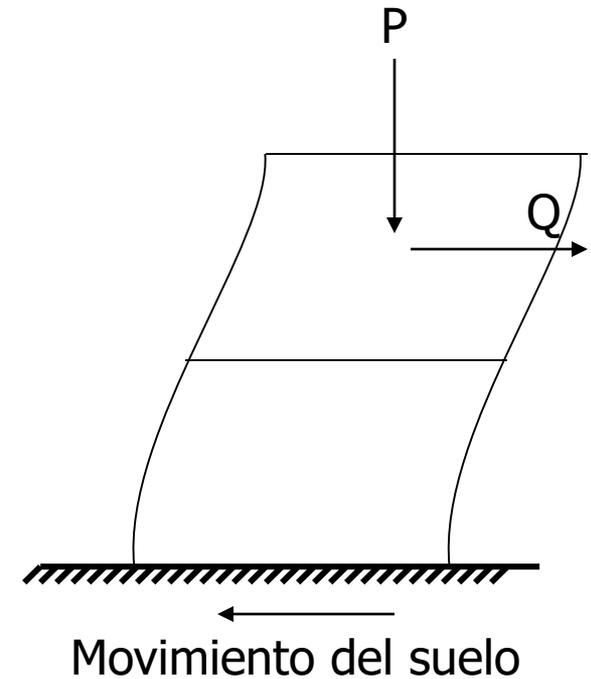
$$C = \frac{2,75 \cdot A_o}{gR} \left(\frac{T'}{T^*} \right)^n$$

- NCh 2369

$$C = \frac{2,75 A_o}{gR} \left(\frac{T'}{T^*} \right)^n \left(\frac{0,05}{\xi} \right)^{0,4}$$

Tabla 6.4 - Valores máximos del coeficiente sísmico C

R	C _{máx.}
2	0,90 S _{A_o} / g
3	0,60 S _{A_o} / g
4	0,55 S _{A_o} / g
5,5	0,40 S _{A_o} / g
6	0,35 S _{A_o} / g
7	0,35 S _{A_o} / g



Incertezas en solicitudes

- Variabilidad de las solicitudes
 - Cambio de uso
 - Estimación poco conservadora de las solicitudes
 - Mala estimación de los efectos de las solicitudes debido a simplificaciones excesivas durante análisis
 - Diferencias en el proceso constructivo

Incertezas

- Variabilidad de las solicitaciones

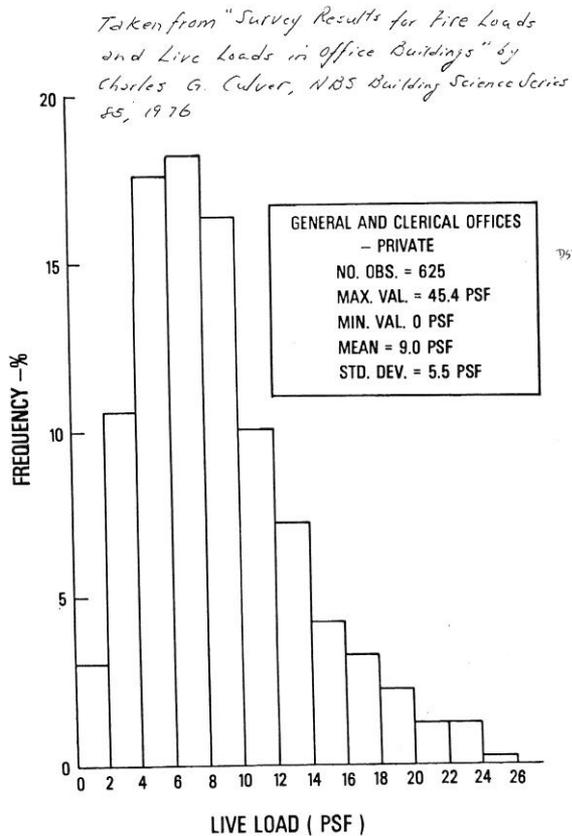
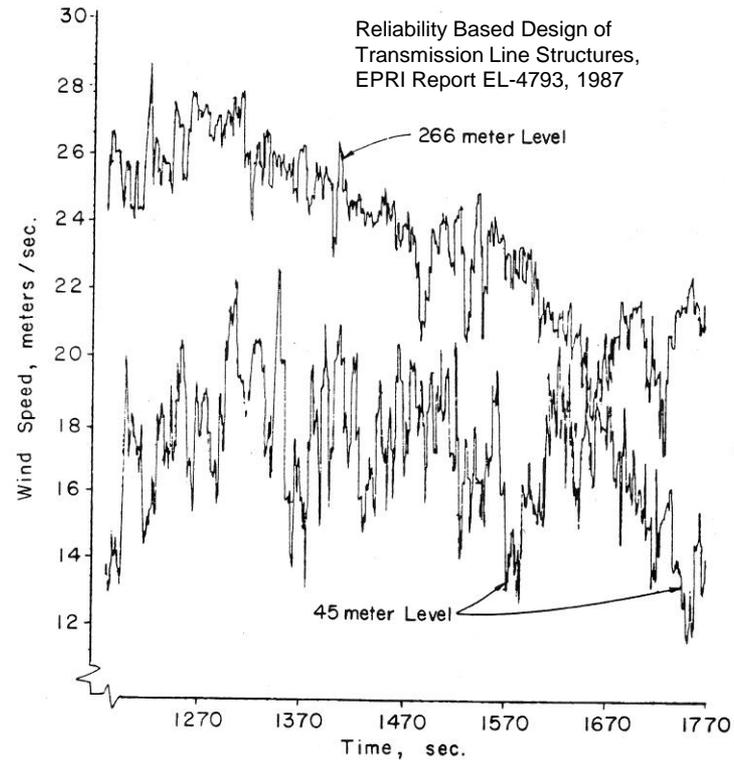


Figure 13 - Frequency Distribution of Room Live Load Data for Private Office Buildings



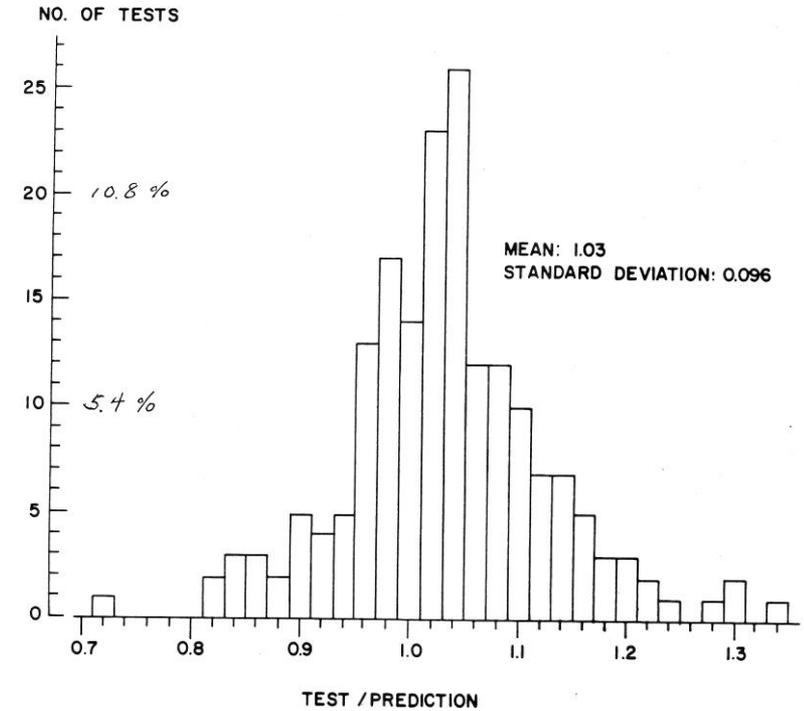
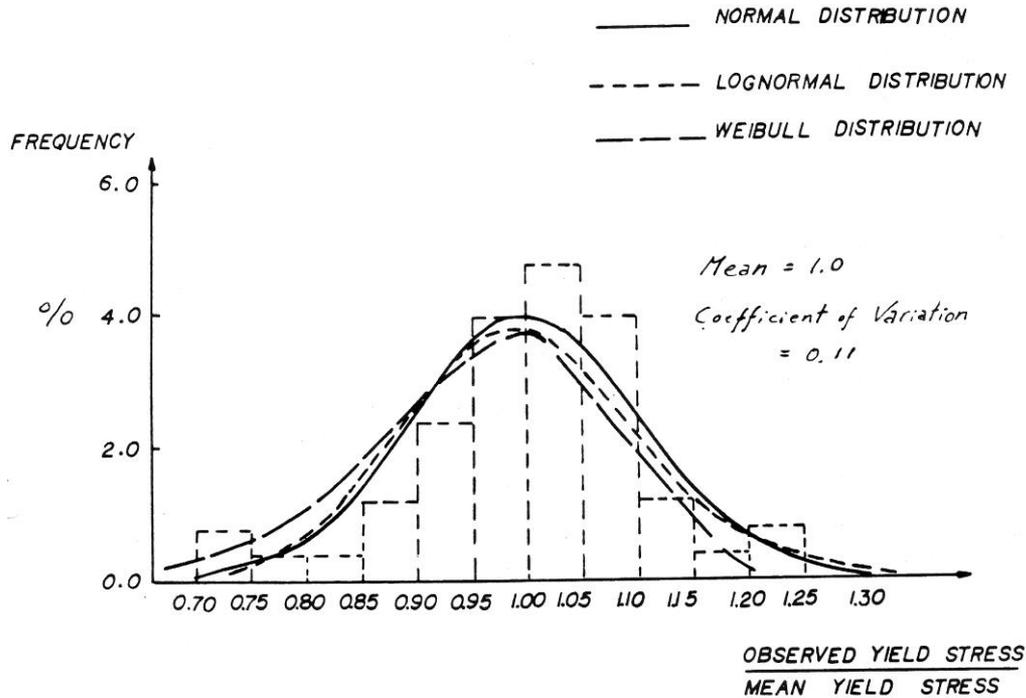
Wind Speed Traces Recorded at Two Levels on a Tall Tower

Incertezas

- Variabilidad de la resistencia
 - Variabilidad de dimensiones
 - Variabilidad de la resistencia del material
 - Defectos en el proceso constructivo
 - Deterioro de resistencia con el tiempo
 - Aproximación en fórmula para determinar la resistencia

Incertezas

- Variabilidad de la resistencia

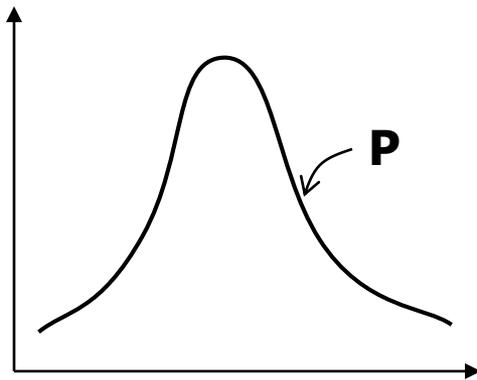


Histogram of 185 Elastic Lateral-Torsional Buckling Tests of Beams

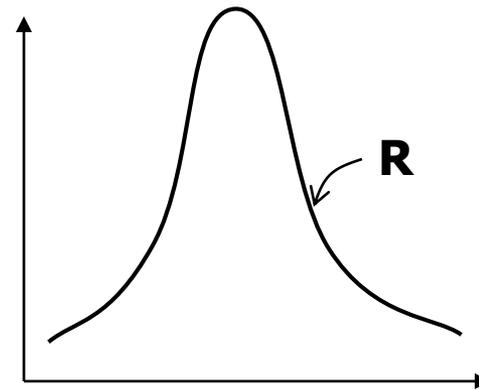
¿Entonces?

Diseño estructural debe proveer confiabilidad adecuada para el caso de solicitaciones mayores que las consideradas o baja (o muy alta) resistencia

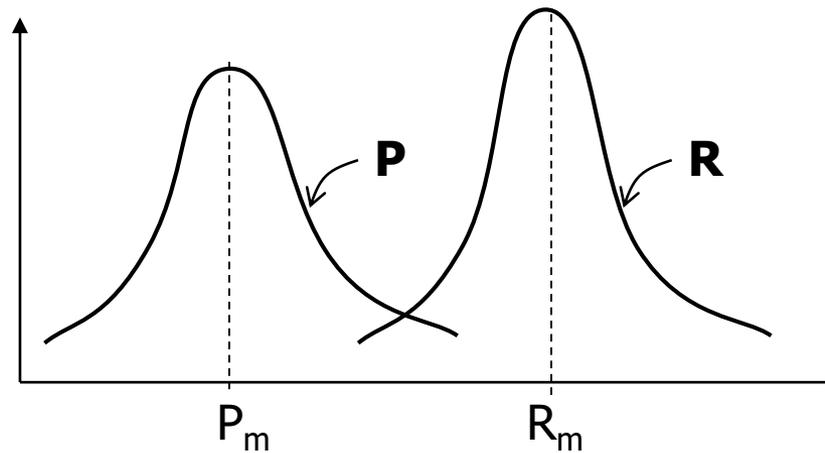
Confiabilidad estructural



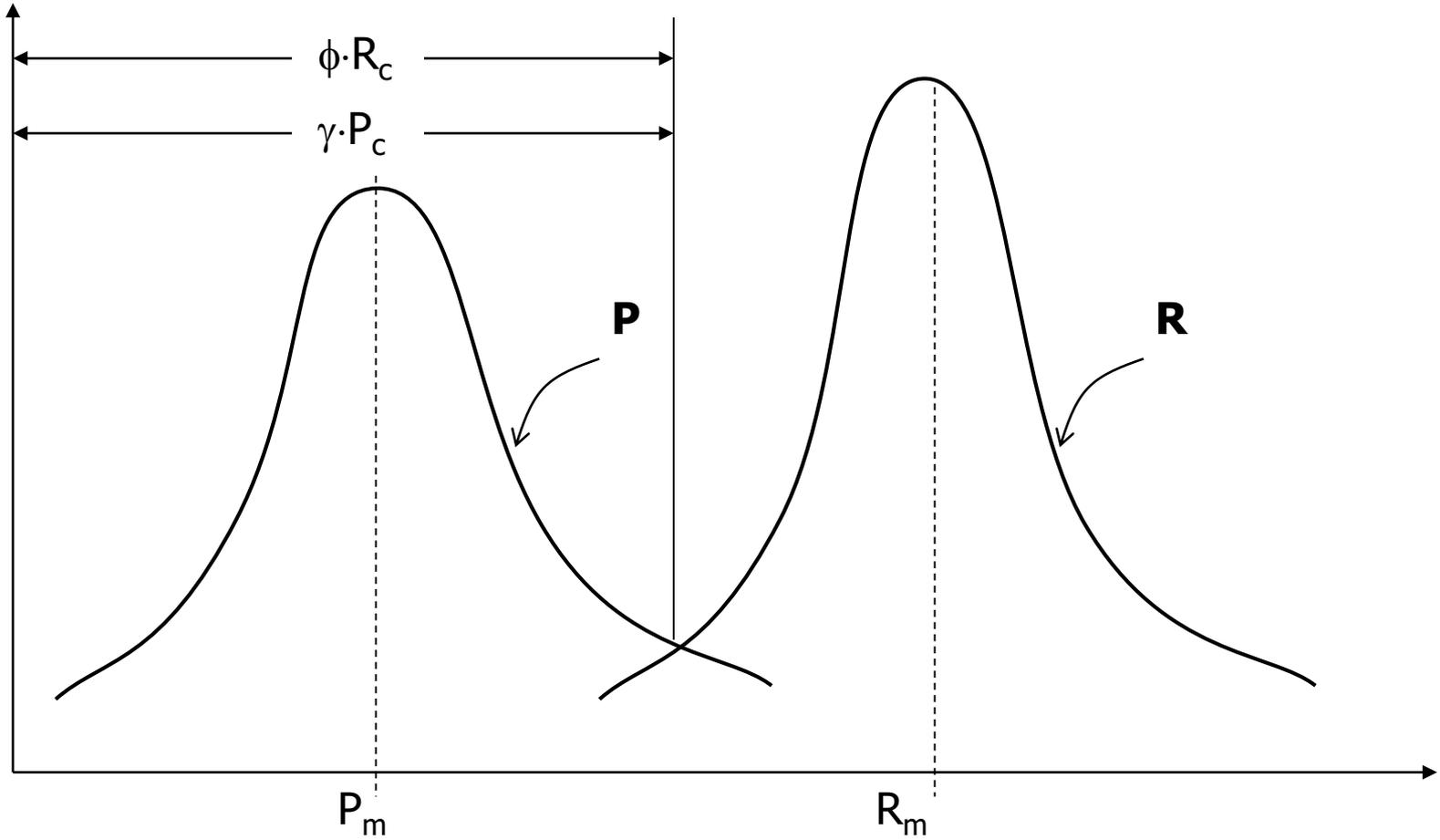
Solicitaciones



Resistencia



Filosofía de diseño



Filosofías de diseño vigentes

- Diseño por tensiones/resistencia admisibles (tensiones de trabajo) (ASD) (Allowable Stress Design or Allowable Strength Design)
- Diseño por estados límite (LRFD, Load and Resistance Factor Design)
 - Resistencia última.
 - Diseño plástico.
 - Factores de carga.
 - Diseño límite.
 - Factores de carga y resistencia.

Método de tensiones admisibles

- Asume la misma variabilidad para todas las cargas y se trabaja con la carga promedio. Se emplea un factor de seguridad independiente de la variabilidad de la carga.

$$\frac{\phi R_n}{\gamma} \geq \sum P_i$$

$$\frac{R_n}{FS} \geq P$$

Método de Diseño por factores de carga y resistencia (LRFD)

- Basado en:
 - Un modelo probabilístico
 - Calibración con ASD (Allowable Strength Design)
 - Evaluación de experiencias previas

$$\phi R_n \geq \sum \gamma_i P_i$$

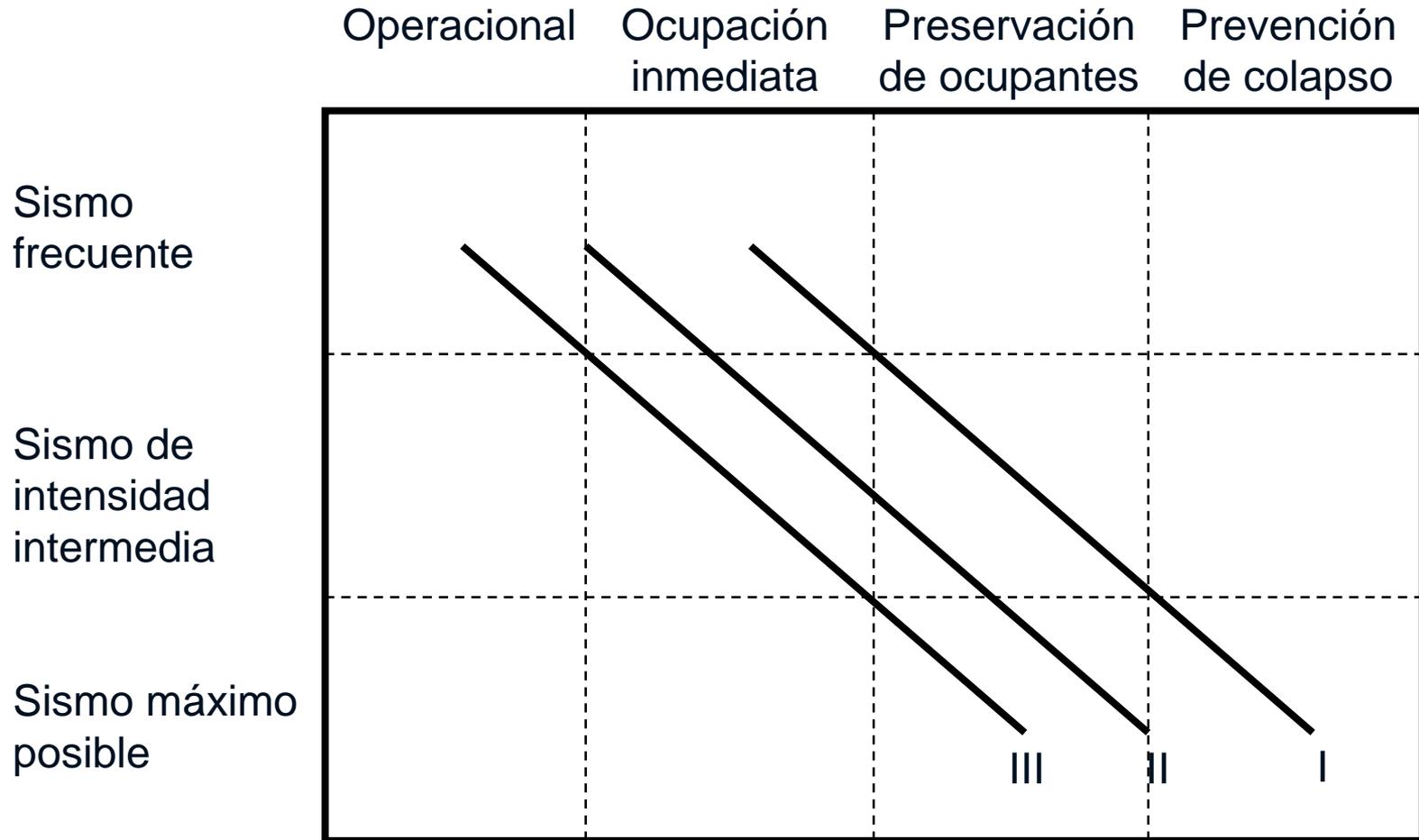
Niveles de Solicitación

- Estado de servicio: solicitudes a las que la estructura estará sometida frecuentemente durante su vida útil.
- Estado de diseño: solicitudes que se espera que no sean excedidas durante la vida útil de la estructura
- Estado último: solicitudes excepcionales; lo máximo que se puede prever durante la vida útil de la estructura.

Niveles de Desempeño

- En servicio: funciones ininterrumpidas.
- Ocupación inmediata: funciones pueden continuar después de ocurrido el evento. Reparaciones menores.
- Aseguramiento de la vida: estructura tendrá daños y requerirá reparaciones mayores, pero los ocupantes estarán seguros.
- Prevención de colapso: estructura irrecuperable, pero no se vendrá abajo.

Objetivos de Desempeño



NCh 3171 of.2010

- Combinaciones de carga (ASD) (Cargas Promedios)
 1. D
 2. $D + L$
 3. $D + (Lr \text{ or } S \text{ or } R)$
 4. $D + 0.75L + 0.75(Lr \text{ or } S \text{ or } R)$
 5. $D + W$
 6. $D + E$
 7. $D + 0.75W + 0.75L + 0.75(Lr \text{ or } S \text{ or } R)$
 8. $D + 0.75E + 0.75L + 0.75S$
 9. $0.6D + W$
 10. $0.6D + E$

NCh 3171 of.2010

- Combinaciones de carga (LRFD)
 1. $1.4D$
 2. $1.2D + 1.6L + 0.5(Lr \text{ o } S \text{ o } R)$
 3. $1.2D + 1.6(Lr \text{ o } S \text{ o } R) + L$
 4. $1.2D + 1.6W + L + 0.5(Lr \text{ o } S \text{ o } R)$
 5. $1.2D \pm 1.4E + L + 0.2S$
 6. $0.9D + 1.6W$
 7. $0.9D \pm 1.4E$

NCh2369 of.2003

- Combinaciones de carga (LRFD)
 1. $1,2(CP) + a(SC) + SO + SA \pm b(SH) \pm b(SV)$
 2. $0,9(CP) + SA \pm b(SH) \pm 0,3(SV)$

TIPO DE RECINTO

a

Bodegas y en general zonas de acopio con baja tasa de rotación

0,50

Zonas de uso normal, plataformas de operación

0,25

Diagonales que soportan cargas verticales

1,00

Pasarelas de mantención y techos

0

Estructuras o equipos de acero

b = 1,1

Estructuras o equipos de hormigón

b = 1,4

NCh2369 of.2003

- Combinaciones de carga (ASD)
 1. $CP + a(SC) + SO + SA \pm SH \pm SV$
 2. $CP + SA \pm SH \pm SV$

TIPO DE RECINTO	<u>a</u>
Bodegas y en general zonas de acopio con baja tasa de rotación	0,50
Zonas de uso normal, plataformas de operación	0,25
Diagonales que soportan cargas verticales	1,00
Pasarelas de mantención y techos	0

SEI/ASCE 7-10

- Combinaciones de carga (LRFD)
 1. $1.4(D + F)$
 2. $1.2(D + F + T) + 1.6(L + H) + 0.5(L_r \text{ or } S \text{ or } R)$
 3. $1.2D + 1.6(L_r \text{ or } S \text{ or } R) + (L \text{ or } 0.8W)$
 4. $1.2D + 1.6W + L + 0.5(L_r \text{ or } S \text{ or } R)$
 5. $1.2D \pm 1.0E + L + 0.2S$
 6. $0.9D + 1.6W + 1.6H$
 7. $0.9D \pm 1.0E + 1.6H$

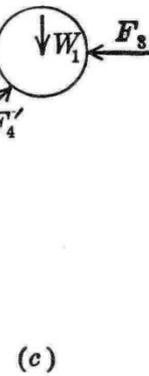
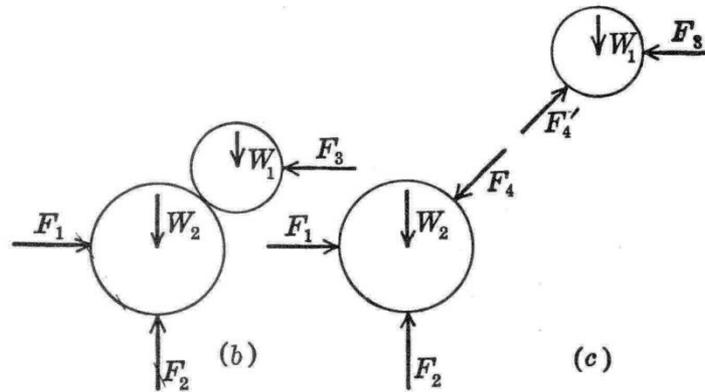
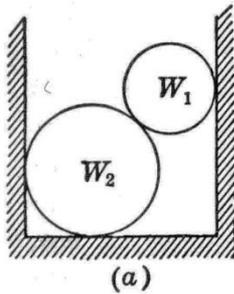
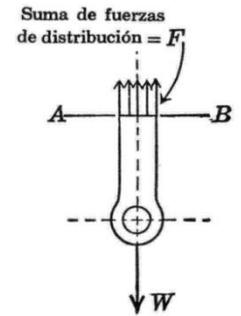
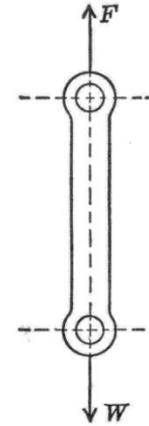
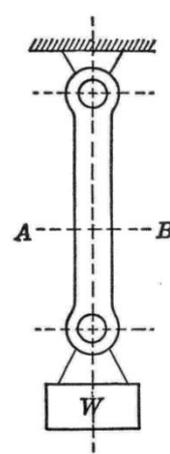
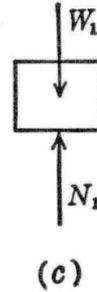
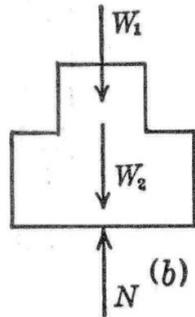
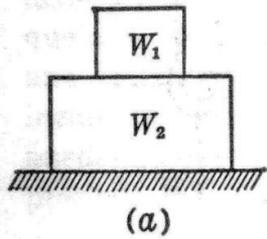
SEI/ASCE 7-10

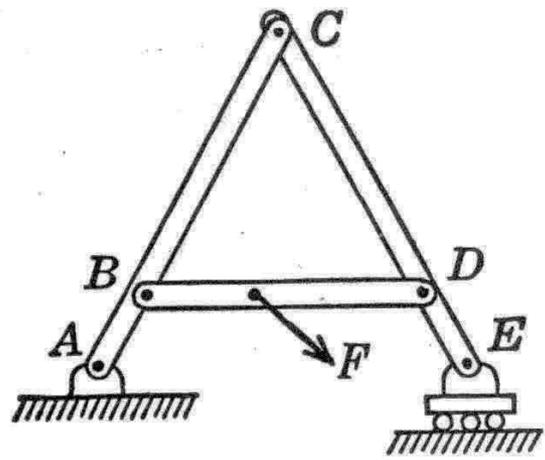
- Combinaciones de carga (ASD)
 1. $D + F$
 2. $D + H + F + L + T$
 3. $D + H + F + (L_r \text{ or } S \text{ or } R)$
 4. $D + H + F + 0.75(L + T) + 0.75(L_r \text{ or } S \text{ or } R)$
 5. $D + H + F + (W \text{ or } 0.7E)$
 6. $D + H + F + 0.75(W \text{ or } 0.7E) + 0.75L + 0.75(L_r \text{ or } S \text{ or } R)$
 7. $0.6D + W + H$
 8. $0.6D + 0.7E + H$

Diagrama de cuerpo libre (DCL)

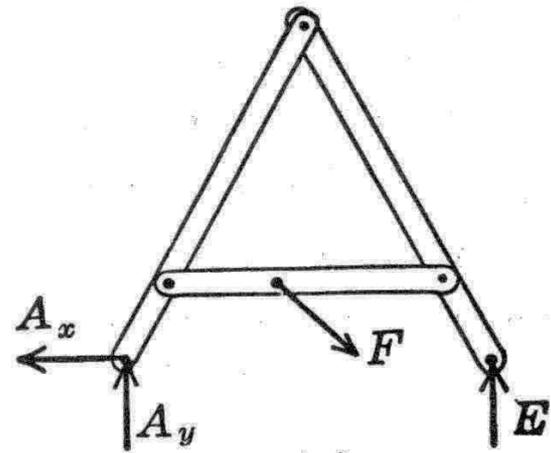
- Diagrama de la estructura o parte de ella en que se representan todas las acciones, reacciones y esfuerzos internos que están actuando sobre ella.
 - **Acciones:** efectos externos sobre la estructura
 - **Reacciones:** fuerzas o momentos ejercidos por los apoyos sobre la estructura.
 - **Esfuerzos internos:** fuerzas y momentos que aparecen al cortar una sección de la estructura.

Diagrama cuerpo libre

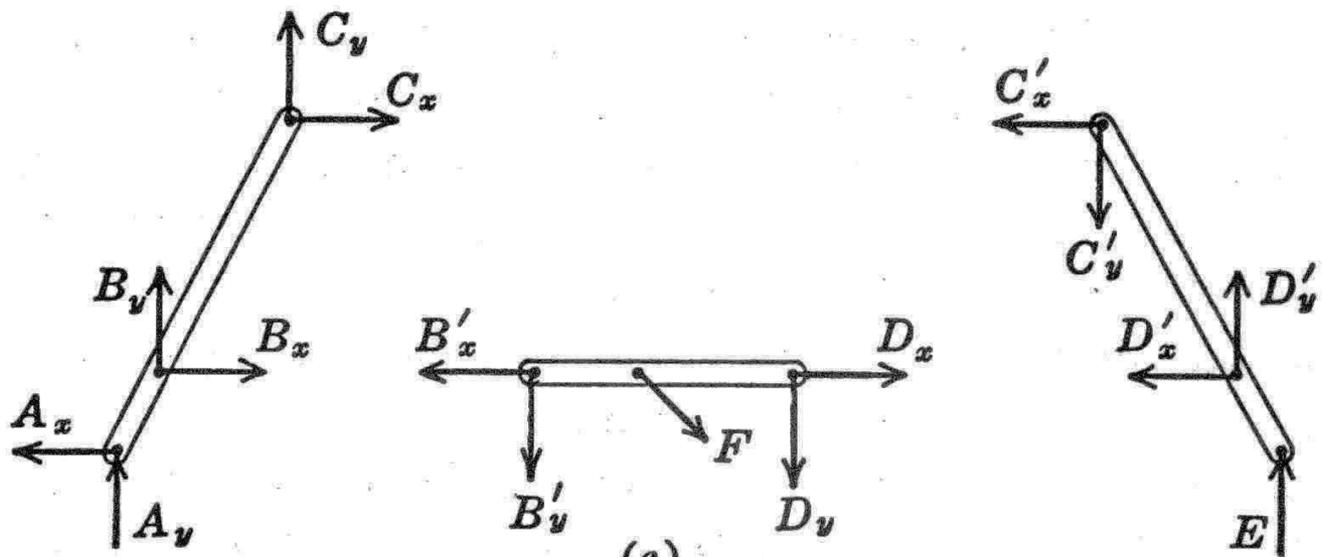




(a)



(b)

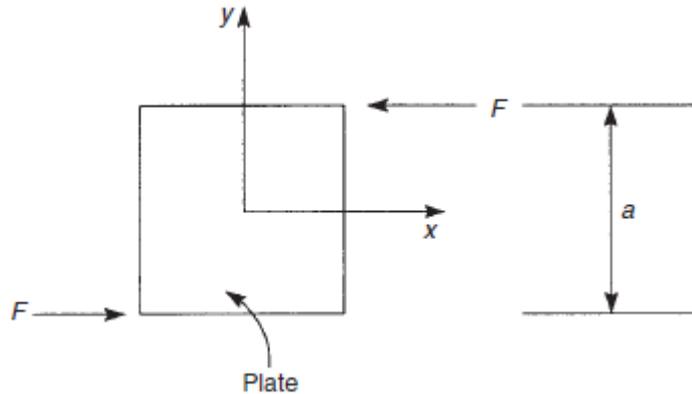


(c)

Ecuaciones de equilibrio

$$\sum F_x = 0 \quad \sum F_y = 0$$

Son suficientes estas dos ecuaciones para la figura?



$$\sum M_z = 0$$

$$\sum F_x = 0 \quad \sum F_y = 0 \quad \sum M_z = 0 \quad \text{Ecuación de equilibrio sistema 2-dim}$$

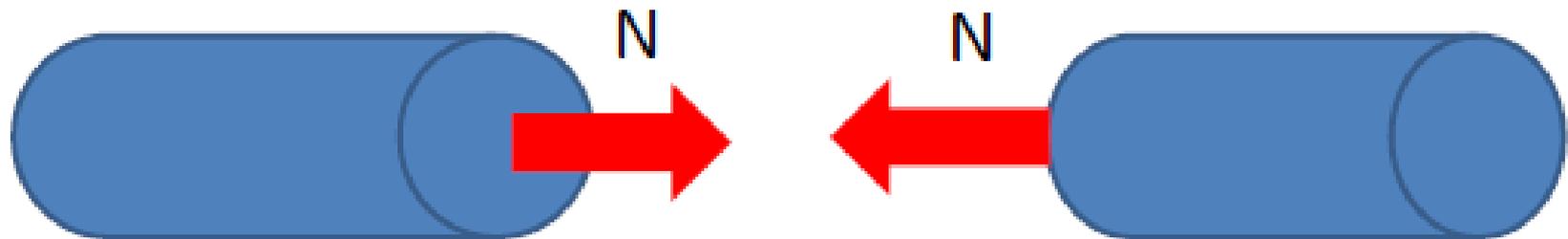
$$\left. \begin{array}{l} \sum F_x = 0 \quad \sum F_y = 0 \quad \sum F_z = 0 \\ \sum M_x = 0 \quad \sum M_y = 0 \quad \sum M_z = 0 \end{array} \right\} \text{Ecuación de equilibrio sistema tridimensional}$$

Esfuerzos Internos

➤ **ESFUERZO AXIAL (N)** → Corresponde a la carga que se transmite según el eje principal del elemento, es decir, es la carga interna normal a la sección transversal del elemento.

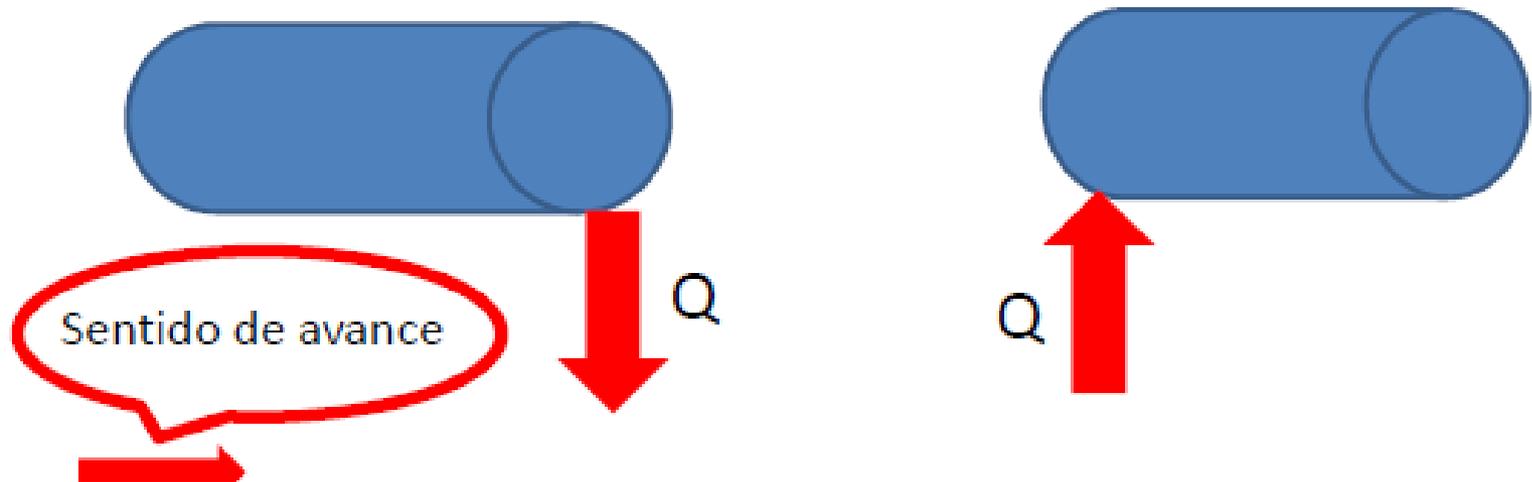
Convección de signos :

- ❖ Positivo Tracción (estiramiento)
- ❖ Negativo Compresión (aplastamiento)



Esfuerzos Internos

- **ESFUERZO DE CORTE (Q) o CORTANTE** → Corresponde a la carga que se transmite perpendicular al eje principal del elemento, es decir, es la carga tangencial a la sección transversal del elemento. Convección de signos :
 - ❖ Positivo hacia abajo en la sección de la dirección de avance
 - ❖ Negativo hacia arriba en la sección complementaria

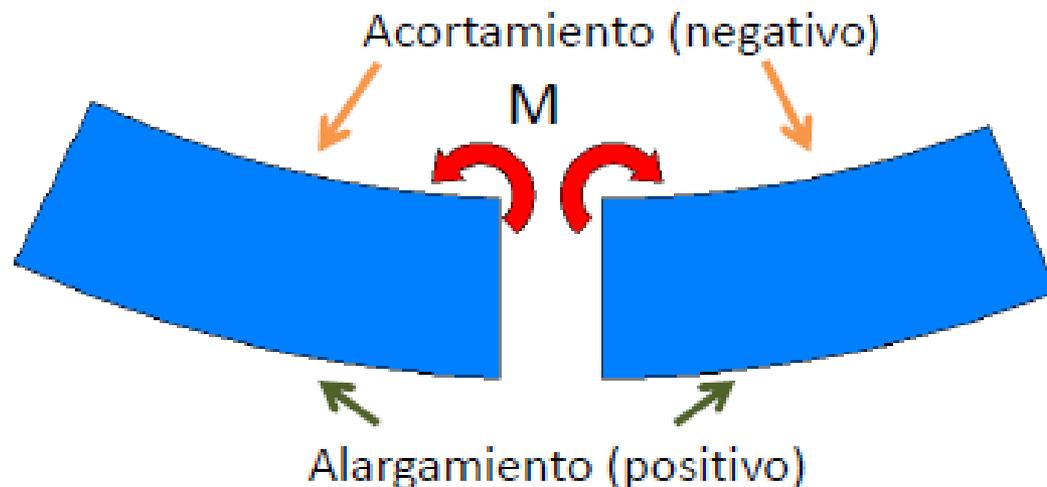


Esfuerzos Internos

- **MOMENTO O ESFUERZO DE FLEXION (M)** → Corresponde a la sollicitación que tiende hacer que un sección de un elemento gire o se combe dentro de su plano.

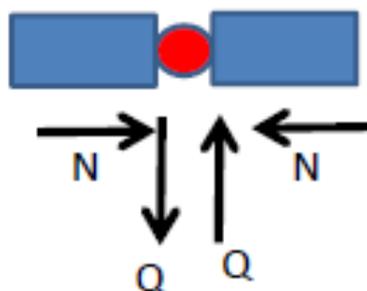
Convección de signos :

- ❖ Positivo en la zona traccionada (que se estira o alarga)
- ❖ Negativo en la zona comprimida (que se aplasta o acorta)



EQUILIBRIO

¿ Que pasa en las uniones internas?

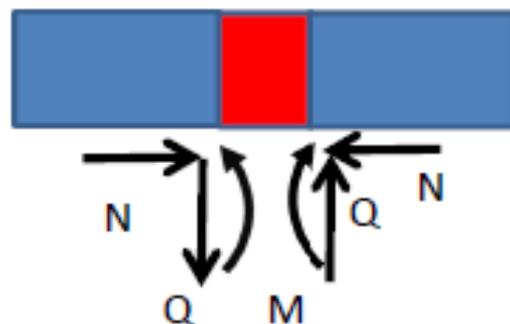


Unión Rotulada

$$M = 0$$

Transmite solo

- Esfuerzo Axial (N)
- Esfuerzo de Corte (Q)



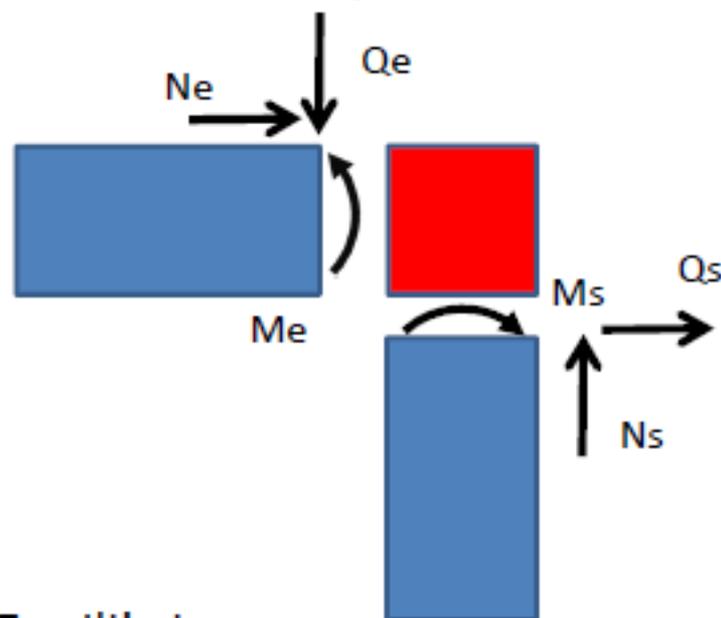
Unión Empotrada

Transmite

- Esfuerzo de Flexión (M)
- Esfuerzo Axial (N)
- Esfuerzo de Corte (Q)

EQUILIBRIO

¿ Que pasa en las uniones internas?



Equilibrio

$$N_e + Q_s = 0$$

$$- Q_e + N_s = 0$$

$$- M_e + M_s = 0$$

Cambios en una Unión

Cambios en una Unión Empotrada con diferentes sentidos

- Esfuerzo de Flexión entrante (M_e) es igual al Esfuerzo de Flexión saliente (M_s) si no hay Momentos externos
- Esfuerzo Axial entrante (N_e) es igual al esfuerzo Cortante saliente (Q_s) con signo cambiado por equilibrio si no hay cargas
- Esfuerzo de Cortante entrante (Q_e) es igual al Esfuerzo Axial saliente (N_s) con signo cambiado por equilibrio si no hay cargas

EQUILIBRIO

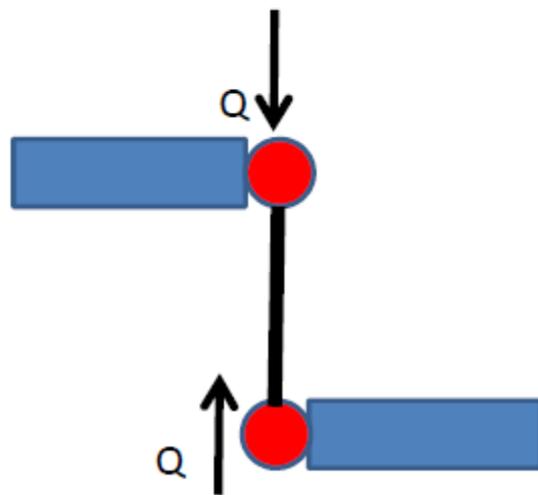
¿ Que pasa en las uniones internas?

BIELA → Caso Particular (Solo conduce un tipo de esfuerzo interno)
generalmente Esfuerzo Axial



Solo transmite Esfuerzo Axial

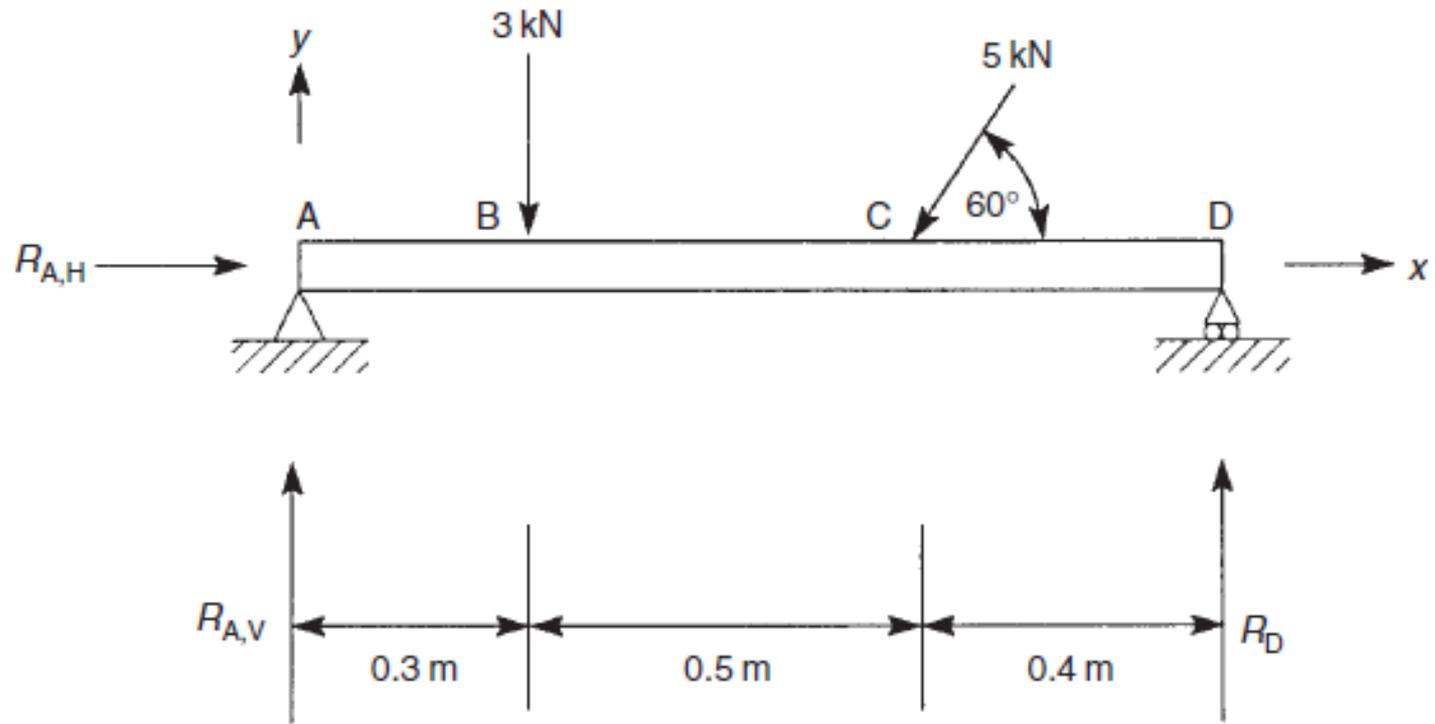
- $M = 0$
- $Q = 0$



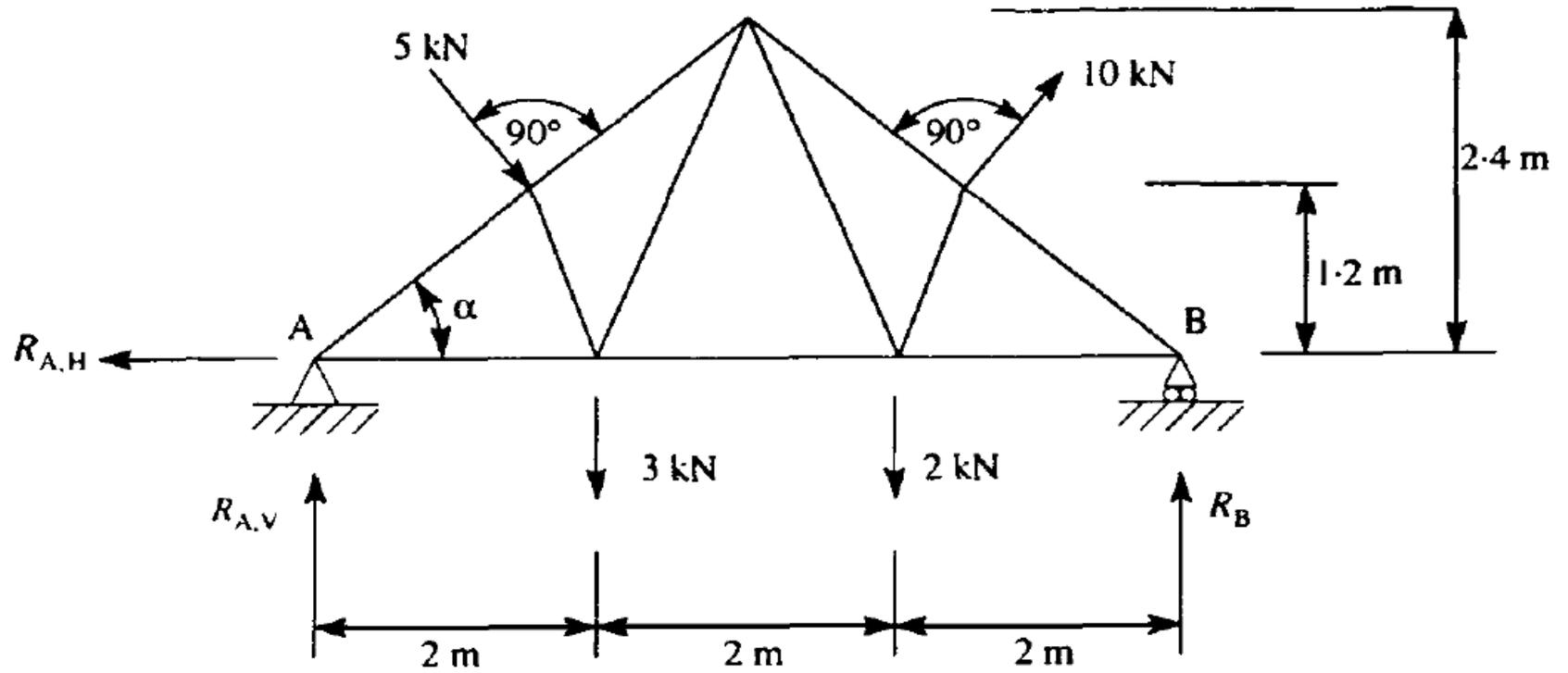
Transmite Esfuerzo de Corte

- $M = 0$
- $N = 0$ en los elementos
pero la biela esta sometida a N

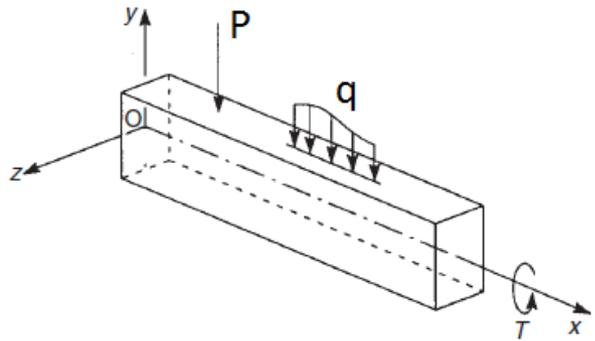
Ejemplo Reacciones



Ejemplo



Esfuerzos internos



- Convención de notación y signos

P : carga puntual

q : Carga distribuida (ej: kgf/m)

T : torsión

Fuerzas internas actuando en dos secciones de una viga

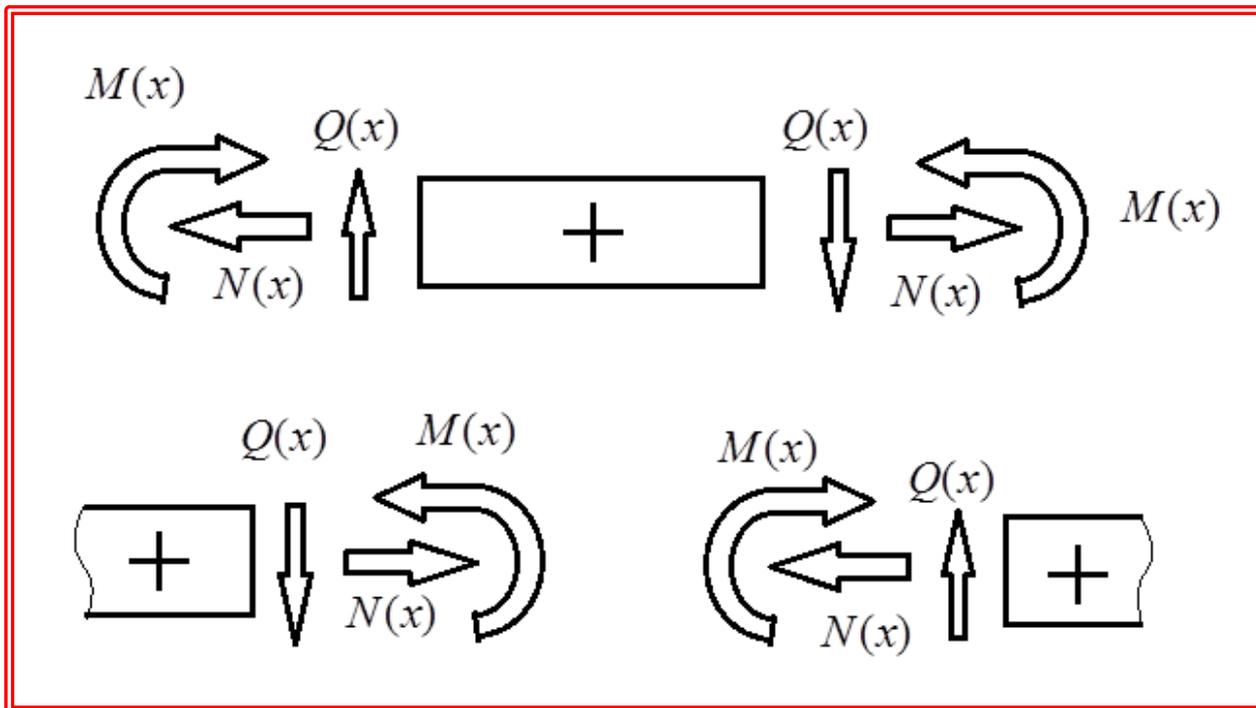
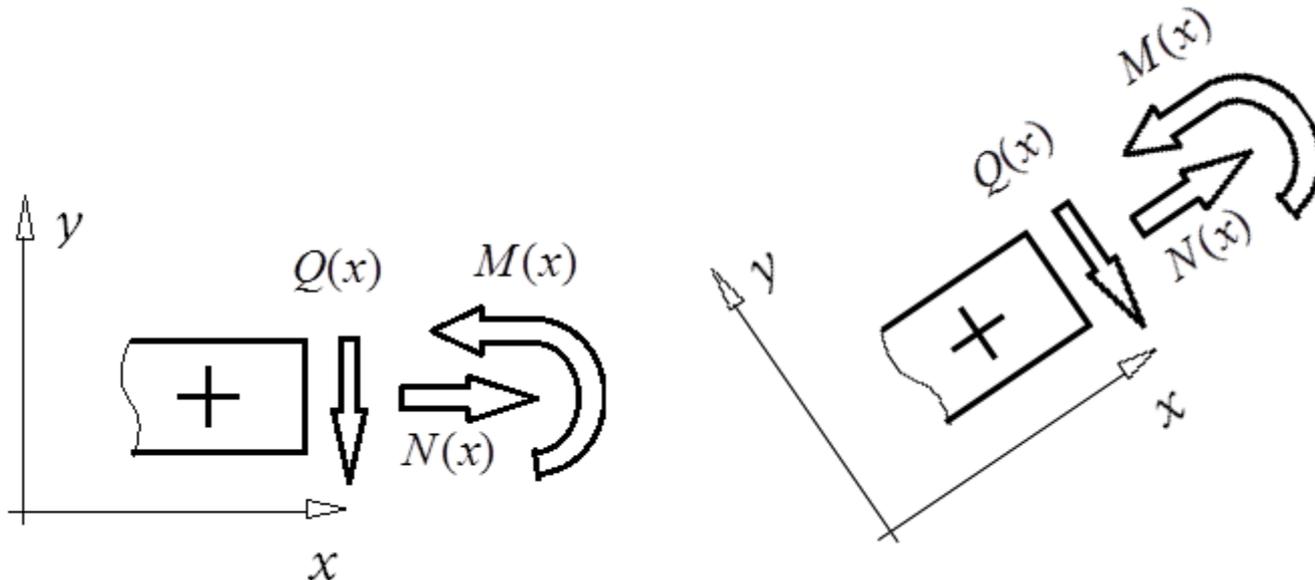


Diagrama de esfuerzos internos

- Diagrama del elemento estructural donde se representa los esfuerzos internos producidos por fuerzas externas. Se dibuja un diagrama por cada tipo de esfuerzo interno, normalmente usando el eje longitudinal del elemento uniaxial.

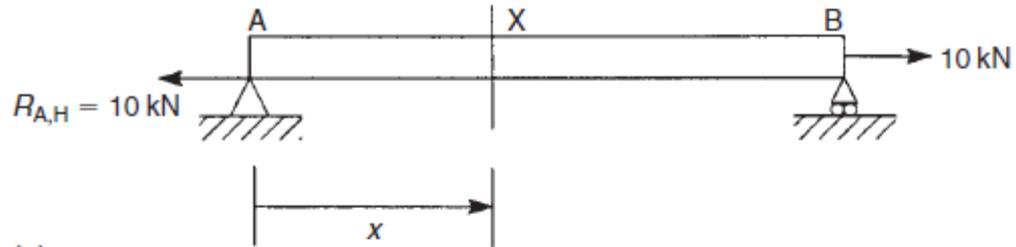


$N(x) = \text{Esfuerzo axial (positivo } \Rightarrow \text{ tracción)} [F]$

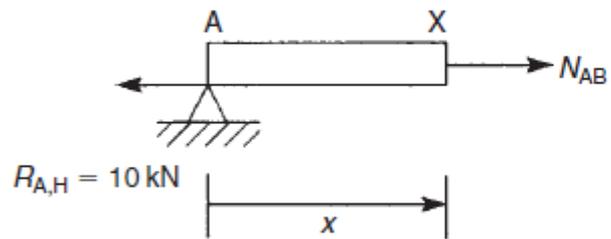
$Q(x) = \text{Esfuerzo de Corte } [F]$

$M(x) = \text{Momento de flexión } [F \cdot L] \text{ (positivo tracción en fibras inferiores)}$

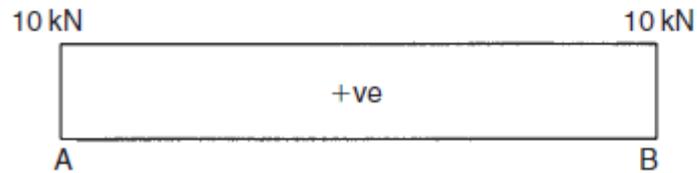
Diagrama esfuerzo normal



(a)

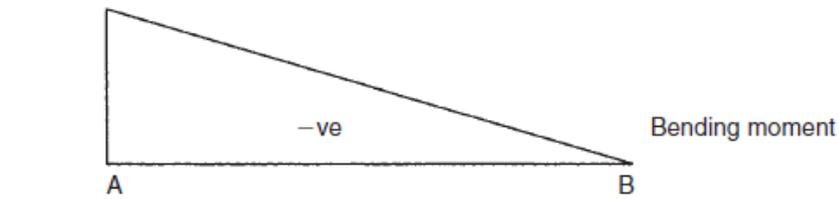
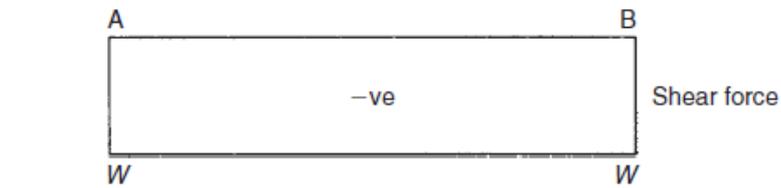
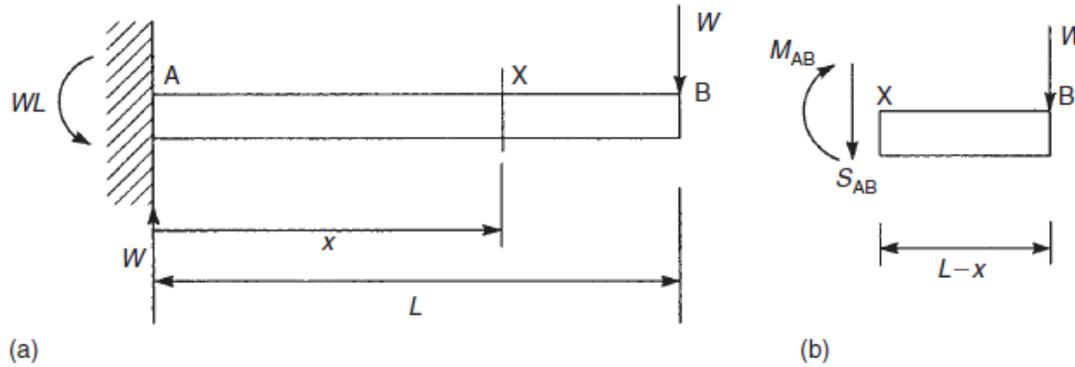


(b)



(c)

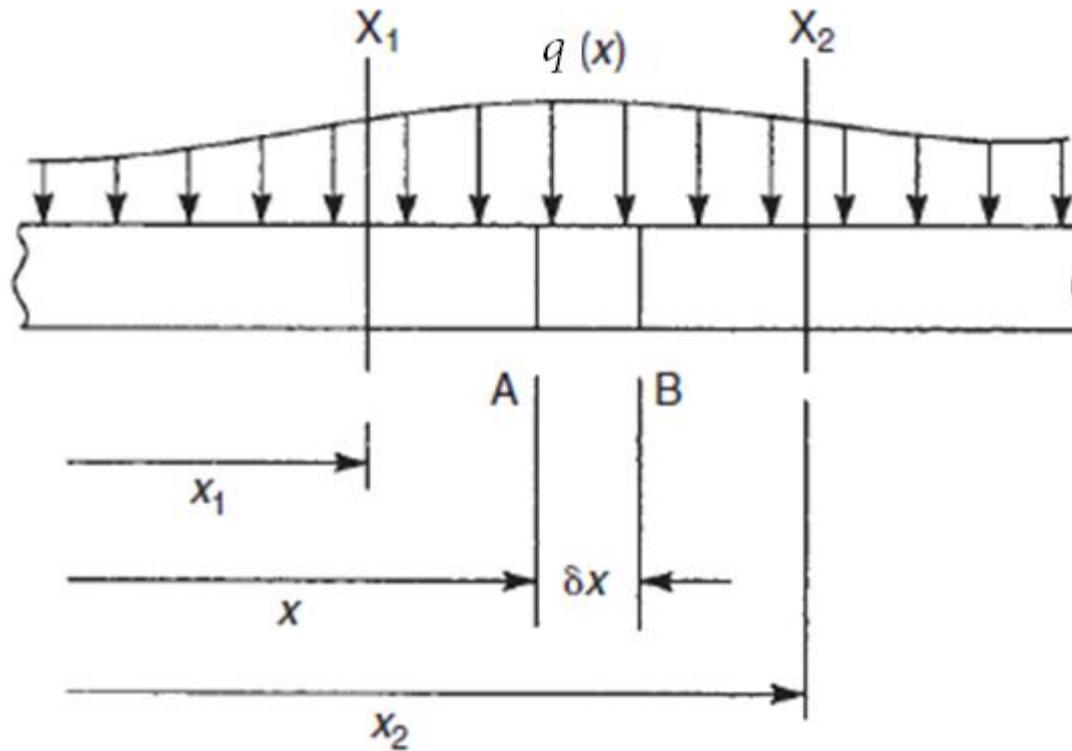
Momento flector (M) y esfuerzo de corte (V)



(d)

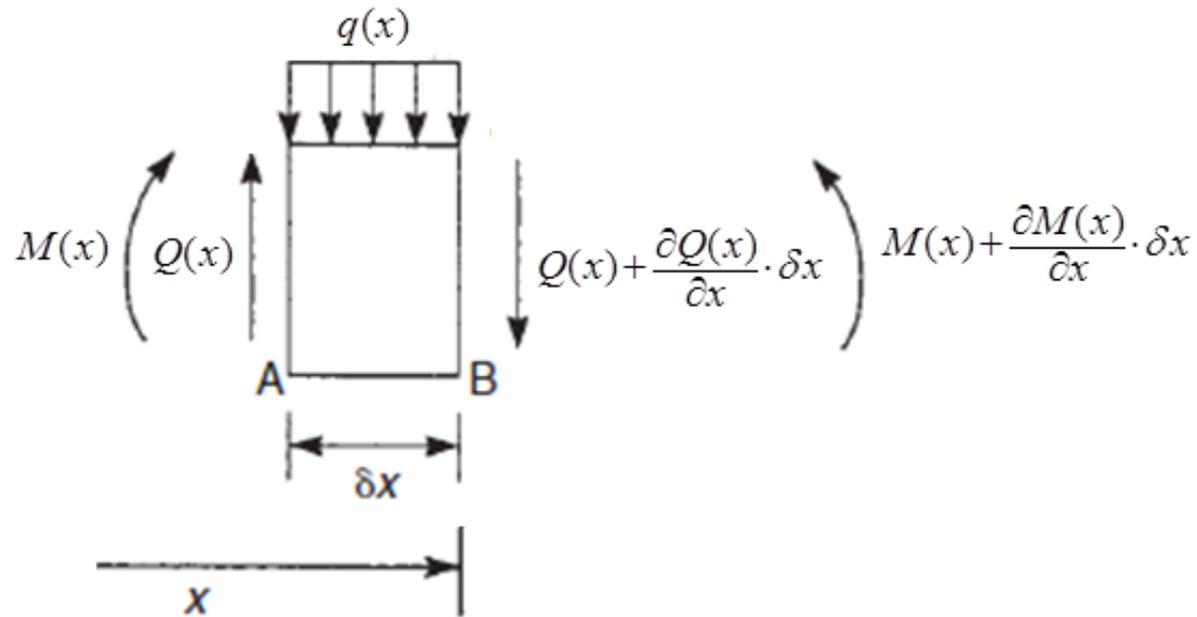
Relación M-Q-q

Consideremos la viga de la figura



Relación M-S-w

Segmento de longitud δx



$$\frac{\partial Q(x)}{\partial x} = -q(x) \quad ; \quad \frac{\partial M(x)}{\partial x} = Q(x) \quad ; \quad \frac{\partial^2 M(x)}{\partial x^2} = -q(x)$$

Nota: El eje X se define de izquierda a derecha (en sentido de las manillas del reloj)