



**UNCUYO**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DE CUYO



**FACULTAD  
DE INGENIERÍA**

# Guía de estudio

## Criterios de diseño

### Método LRFD

**Dr. Francisco J. Crisafulli**  
Profesor Titular Construcciones  
Metálicas y de Madera

Marzo 2024

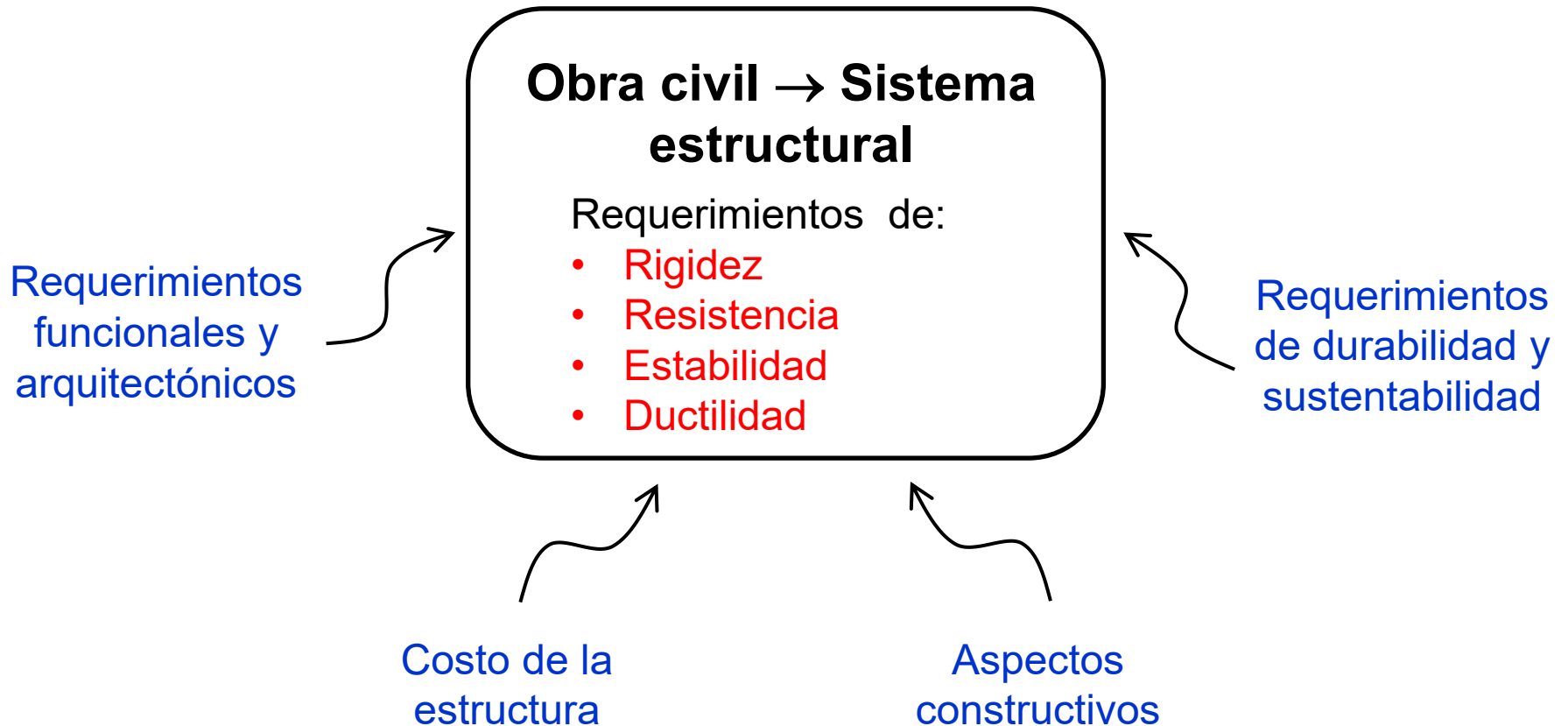
# Diseño estructural

En ingeniería estructural el término “diseño” se emplea usualmente en dos contextos:

- Para definir el proceso por el cual se selecciona y proyecta el sistema estructural de una obra determinada, de modo que ésta sea segura, durable, sustentable y factible de construir.
  - Proceso de diseño estructural
- Para referirse a los métodos de verificación o dimensionamiento de los componentes que integran el sistema estructural (vigas, columnas, etc.)
  - Métodos de diseño



# Diseño estructural



# Diseño estructural

El diseño estructural es un proceso complejo, que implica integrar conocimientos de distintas áreas y que usualmente requiere de iteraciones para alcanzar una solución adecuada:

**Diseño  
conceptual**

**Análisis  
estructural**

**Verificación y  
detallado**

Puente del Alamillo, Sevilla



# Diseño estructural



Puente de la Barqueta, Sevilla



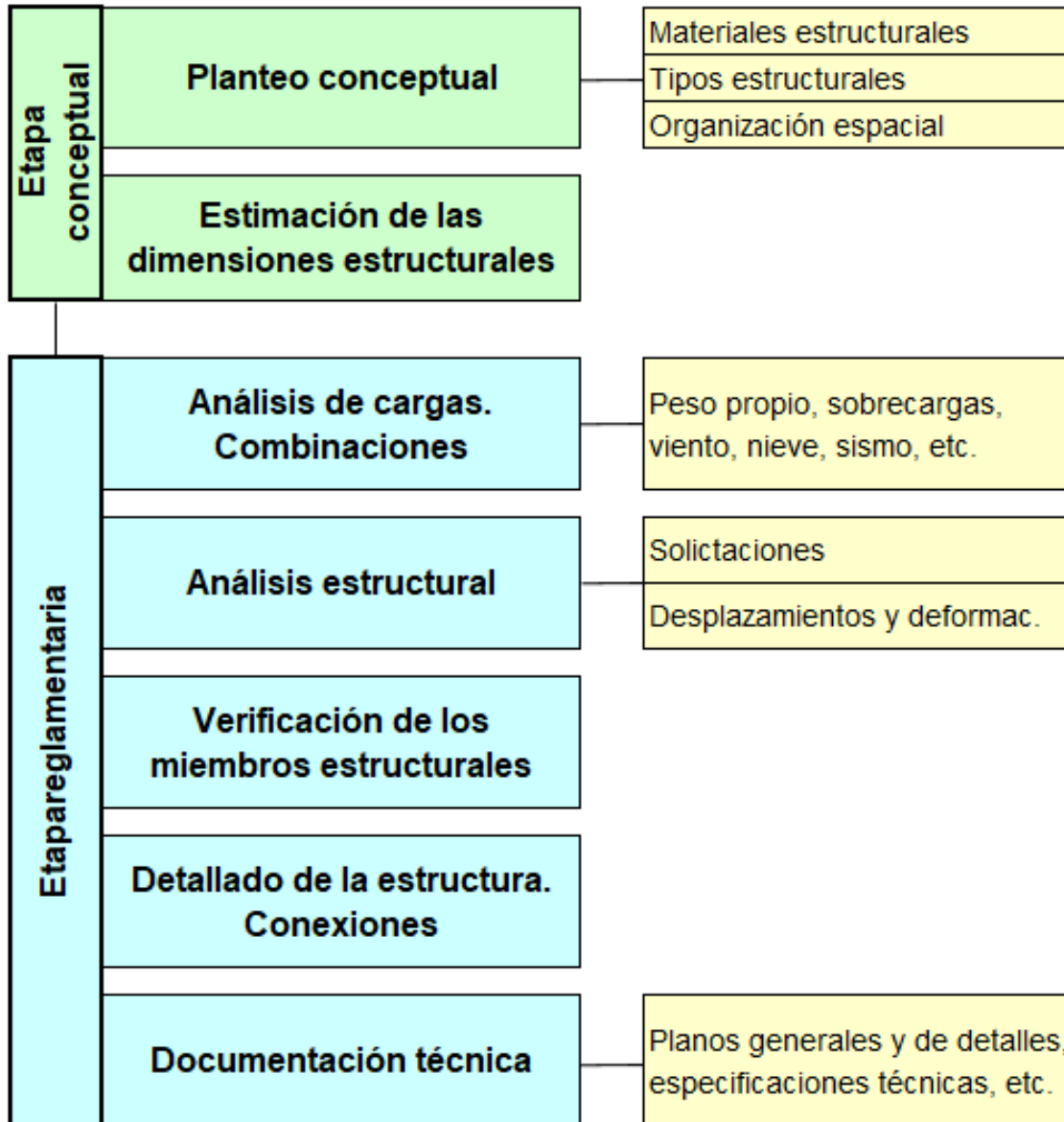
Puente sobre Arroyo Iguazú, Corrientes

# Diseño estructural

adecuada:

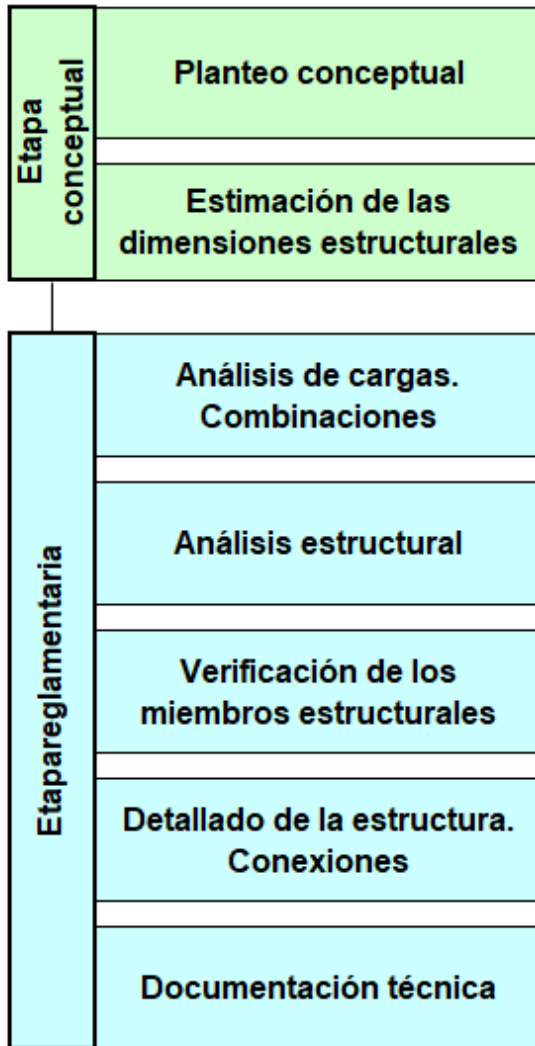


# Proceso de diseño estructural



Ajustes y modificaciones para cumplir con todos los requerimientos y optimizar el diseño

# Diseño estructural, optimización, parametrización



La optimización del sistema estructural de una construcción tiene por objeto encontrar una solución adecuada, que cumpla con los distintos requerimientos y condicionantes del caso.

Tradicionalmente, esa tarea se realiza probando distintas alternativas, en base a la experiencia y conocimientos del diseñador (prueba y error).

Más recientemente, se han desarrollado e implementado algoritmos de cálculo para realizar la optimización estructural, con distintos alcances y complejidad. Este proceso usualmente requiere de la parametrización geométrica del modelo (ejemplo: Rhinoceros 3D, Grasshopper y Kangaroo).

# Métodos de diseño

## Acciones

Conjunto de fuerzas, momentos o deformaciones aplicadas a una estructura. También pueden denominarse estados de cargas o simplemente cargas

- **Acciones permanentes:** pequeñas o infrecuentes variaciones a lo largo de la vida útil de la construcción:
  - ✓ Peso propio de la estructura, de todos los elementos de la construcción y de maquinarias o equipos adheridos, D
  - ✓ Fuerzas debidas a variaciones térmicas, contracción de fraguado, etc., T
  - ✓ Acciones de líquidos de presencia continua, F.
- **Acciones variables:** frecuentes variaciones de magnitud no despreciable a lo largo de la vida útil de la construcción:
  - ✓ Cargas de ocupación y uso, L.
  - ✓ Cargas de uso y mantenimiento de cubiertas, Lr.
  - ✓ Acción del viento, W, de la nieve, S, y a la acción del agua de lluvia o hielo, R.
- **Acciones accidentales:** tienen pequeña probabilidad de actuación, pero con valor significativo, durante la vida útil de la construcción:
  - ✓ Acción del sismo, E.
  - ✓ Tornados, explosiones, avalanchas.

# Métodos de diseño

## Acciones

Otros casos particulares incluido en el CIRSOC 301 son:

- Impacto para vigas carril de puentes grúas, soporte de maquinarias, apoyos de ascensores, etc. (se emplea un incremento de las cargas)
- Fuerzas horizontales en vigas carril de puentes grúas

# Métodos de diseño

## Combinaciones de carga

- Combinaciones de carga en estado de ultimo (cargas mayoradas)

$$1,4 (D + F) \quad (B.2.1)$$

$$1,2 (D + F + T) + 1,6 (L + H) + (f_1 L_r \text{ ó } 0,5 S \text{ ó } 0,5 R) \quad (B.2.2)$$

$$1,2 D + 1,6 (L_r \text{ ó } S \text{ ó } R) + (f_1 L \text{ ó } 0,8 W) \quad (B.2.3)$$

$$1,2 D + 1,5 W + f_1 L + (f_1 L_r \text{ ó } 0,5 S \text{ ó } 0,5 R) \quad (B.2.4)$$

$$1,2 D + 1,0 E + f_1 (L + L_r) + f_2 S \quad (B.2.5)$$

$$0,9 D + (1,5 W \text{ ó } 1,0 E) + 1,6 H \quad (B.2.6)$$

Para edificios industriales con puentes grúas o monorrieles y edificios aporricados de hasta cuatro plantas, se deberá verificar la siguiente combinación de acciones adicional:

$$1,2 D + 1,6 L + (f_1 L_r \text{ ó } 0,5 S \text{ ó } 0,5 R) + 0,8 W \quad (B.2.7)$$

# Métodos de diseño

## Combinaciones de carga

- Combinaciones de carga en estado de servicio:

$$(D + F) + (\Sigma L_i \text{ ó } W \text{ ó } T) \quad (\text{B.2.8})$$

$$(D + F) + 0,7 [(\Sigma L_i + W) \text{ ó } (W + T) \text{ ó } (\Sigma L_i + T)] \quad (\text{B.2.9})$$

$$(D + F) + 0,6 \Sigma L_i + 0,6 W + 0,6 T \quad (\text{B.2.10})$$

siendo:

$$\Sigma L_i = [L + H + (L_r \text{ ó } S \text{ ó } R)] \quad (\text{B.2.11})$$

Aquellas acciones variables que produzcan efectos de sentido contrario no se deberán considerar actuando simultáneamente.

Acciones variables o accidentales con efectos favorables a la seguridad no serán consideradas en las combinaciones

# Métodos de diseño

El diseño de las estructuras se realiza según dos procedimientos generales:

- **Diseño por tensiones admisibles**

Se emplea para estructuras de madera (CIRSOC 601)

Combinaciones de carga en estado de servicio

- **Diseño por estados límites. Método LRFD**

Se emplea para estructuras de acero (CIRSOC 301) y hormigón armado (CIRSOC 201)

Combinaciones de carga en estado de ultimo (cargas mayoradas)

# Métodos de diseño

- **Diseño por tensiones admisibles:** se calculan las tensiones originadas por cargas de servicio en los distintos elementos y se verifica (en forma genérica) como:

$$\sigma \leq \sigma_{\text{adm}} = \sigma_f / \gamma \quad \text{o} \quad f \leq f_{\text{adm}} = f_y / \gamma$$

El coeficiente de seguridad  $\gamma$  es función del destino de la obra, recaudos constructivos y tipo de cargas. Valores usuales entre 1.25 y 1.60.

# Métodos de diseño

- **Diseño por estados límites. Método LRFD:** se verifican distintas condiciones o requerimientos (estados límites) con el objetivo de que los miembros estructurales y toda la estructura cumplan con el comportamiento requerido o esperado. Los estados límites pueden agruparse en:
  - **Estados límites de servicio (ELS):** asegura un comportamiento adecuado de la construcción ante cargas de servicio, deformaciones excesivas, vibraciones, etc.
    - **Funcionamiento de la construcción**
  - **Estados límites últimos o de resistencia (ELU):** se relacionan con la capacidad resistente ante cargas últimas para evitar la falla estructural y los daños severos irreparables.
    - **Seguridad de la construcción**

# Métodos de diseño

## Método LRFD. Verificación de los estados límites de servicio

Las condiciones de servicio se verificarán utilizando combinaciones de acciones nominales (sin mayorar) comparando con valores límites adoptados para cada caso:

$$S_{\text{ser}} \leq S_{\text{lim}}$$

Por ejemplo, para una viga se controla que la flecha máxima (determinada por análisis estructural) no exceda el valor límite reglamentario (Tabla L3.1 del reglamento):

$$f_{\text{max}} \leq L/n$$

Es responsabilidad del diseñador considerar requerimientos especiales de cada caso particular, por ejemplo, en vigas de grandes luces o estructuras que soportan equipos sensibles.

# Métodos de diseño

Tabla L3.1: valores límites para deformaciones y desplazamientos

EDIFICIOS INDUSTRIALES				
	Elemento	Flecha total	Flecha por carga variable	
			debida a:	Valor
Deformaciones verticales	Miembros soportando cubiertas rígidas	L/200	Sobrecarga Útil	L/240
	Miembros soportando cubiertas flexibles	L/150	Sobrecarga Útil	L/180
	Miembros soportando pisos	L/250	Sobrecarga Útil	L/300
	Vigas carril para grúas de capacidad $\geq 200 \text{ kN}$		Rueda sin impacto	L/800 <sup>(c)</sup>
	Vigas carril para grúas de capacidad $< 200 \text{ kN}$		Rueda sin impacto	L/600 <sup>(c)</sup>
Desplazamiento lateral <sup>(d)</sup>	Vigas carril		Frenado transversal	L/600 <sup>(c)</sup>
	Desplazamiento de columnas con respecto a la base por acción de viento	H/150	Viento	H/160
	Desplazamiento de columnas con respecto a base por acción de puente grúa		Frenado puente Grúa	H/400 <sup>(c)</sup>
PARA OTROS EDIFICIOS				
Deformaciones verticales	Cubiertas y techos en general	L/200	Sobrecarga Útil	L/250
	Cubiertas y techos con carga frecuente de personas (no mantenimiento)	L/250	Sobrecarga Útil	L/300
	Pisos en general	L/250	Sobrecarga Útil	L/300
	Miembros de pisos o techos que soporten elementos y revestimientos susceptibles de fisuración	L/300	Sobrecarga Útil	L/350
	Pisos que soporten columnas	L/400	Sobrecarga Útil	L/500
	Donde la deformación puede afectar el aspecto	L/250		
Desplazamiento lateral <sup>(d)</sup>	Desplazamiento total del edificio referido a su altura total		Viento	H <sub>T</sub> /300
	Desplazamiento relativo de pisos cuando cerramientos y divisiones no tienen previsiones especiales para independizarse de las deformaciones de la estructura		Viento	H <sub>P</sub> /400
	Desplazamiento relativo de pisos cuando cerramientos y divisiones tienen previsiones especiales para independizarse de las deformaciones de la estructura		Viento	H <sub>P</sub> /300

# Métodos de diseño

## Método LRFD. Verificación de los estados límites últimos:

El método se basa en:

- Modelo probabilístico,
- Calibración (comparación) con el AISC versión 1978 por tensiones admisibles,
- Evaluación fundamentada en la experiencia y ejemplos desarrollados en estudios de ingeniería estructural.

Las verificaciones se realizan comparando el efecto de las cargas de servicio mayoradas con la resistencia correspondiente a los distintos estados límites (o modos de falla, tales como fluencia, fractura, pandeo, etc). Esta condición puede expresarse como:

$$\text{Resistencia requerida (demanda)} \leq \text{Resistencia de diseño (capacidad)}$$

# Métodos de diseño

## Método LRFD. Verificación de los estados límites últimos

**Resistencia requerida (demanda)  $\leq$  Resistencia de diseño (capacidad)**

Esta condición puede expresarse matemáticamente como:

$$\sum (Q_i + \Delta Q_i) \leq R_n - \Delta R_n$$

$$\sum \lambda_i Q_i \leq \phi R_n = R_d$$

Donde:

$Q_i$ : solicitaciones originadas las acciones cargas actuantes (se expresa usualmente como un momento flector, carga axial, esfuerzo de corte, etc).

$R_n$ : resistencia nominal

$R_d$ : resistencia de diseño

$\lambda_i$ : factor de carga (usualmente mayor que 1.0), consideran la incertidumbre asociada a cada estado de carga.

$\phi$ : factor de resistencia (usualmente menor que 1.0), consideran la incertidumbre vinculada a la determinación de la resistencia nominal (por variaciones en las propiedades los materiales, de las dimensiones en obra, aproximaciones de las expresiones de cálculo, etc.)

$\Delta$ : representa la variación probable de Q o R

# Métodos de diseño

## Método LRFD. Estados límites últimos

### 1. Barras traccionadas:

- Fluencia en la sección bruta
- Rotura en la sección neta

### 2. Columnas y otras barras comprimidas. Barras simples

- Pandeo flexional
- Pandeo torsional o flexotorsional
- Pandeo local o abollamiento

### 3. Columnas y otras barras comprimidas. Barras armadas

- Pandeo global de la barra
- Pandeo de los elementos del cordón
- Falla de los elementos de conexión (celosías, presillas)
- Falla de los medio de unión
- Distorsión de la sección

# Métodos de diseño

## Método LRFD. Estados límites últimos

### 4. Vigas y otras barras en flexión:

- Plastificación de la sección / Fluencia del ala comprimida o fluencia del ala traccionada
- Pandeo lateral-torsional
- Pandeo local del ala
- Pandeo local del alma
- Fluencia del alma por corte
- Pandeo local del alma por corte

### 5. Elementos con cargas concentradas

- Flexión local del ala
- Fluencia local del alma
- Pandeo local del alma
- Pandeo lateral del alma
- Pandeo por compresión del alma
- Fluencia por corte en alma de panel nodal

# Métodos de diseño

## Método LRFD. Estados límites últimos

### 6. Uniones:

- Falla del medio de unión
  - Uniones soldadas: falla del material base o del material de aporte
  - Uniones abulonadas tipo aplastamiento: corte en el bulón, tracción en el bulón, o tracción y corte en el bulón.
  - Uniones abulonadas tipo deslizamiento crítico: falla por deslizamiento (mecanismo de resistencia por rozamiento entre las chapas). La verificación varía según se consideren cargas de servicio o cargas mayoradas.
- Aplastamiento o desgarramiento de las chapas o elementos conectados.
- Rotura por bloque de corte
- Falla de chapa nodal (en los casos que corresponda)

# Métodos de diseño

## Método LRFD. Determinación de la resistencia requerida

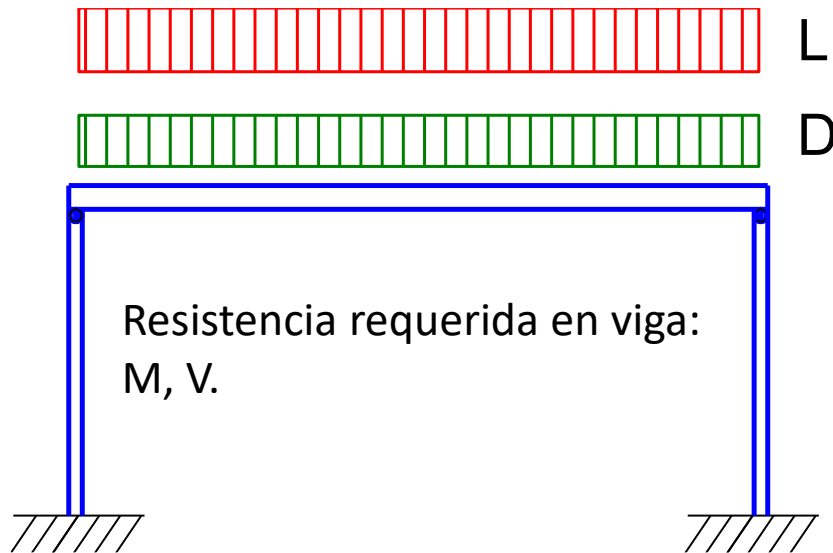
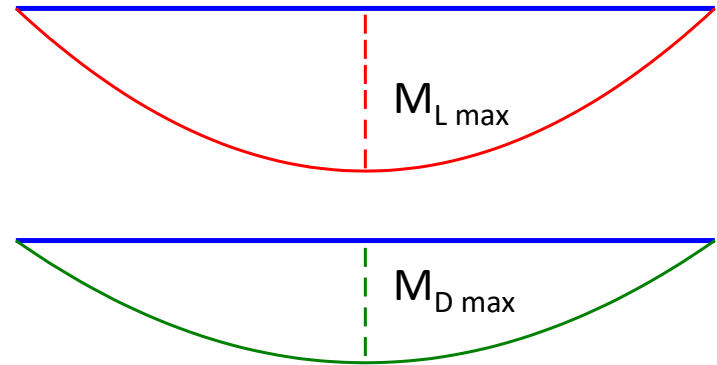


Diagrama de momentos flectores



Las dos cargas, D y L, son del mismo tipo (cargas uniformemente distribuidas en toda la longitud de la viga) y los valores máximos de las sollicitaciones (valores para diseño) se producen en la misma sección.

En este caso se puede realizar las combinaciones de las cargas D y L y luego calcular la sollicitación máxima o calcular las sollicitaciones para cada estado y combinar las sollicitaciones.

Se aplica el mismo criterio para encontrar la resistencia requerida a corte

# Métodos de diseño

## Método LRFD. Determinación de la resistencia requerida

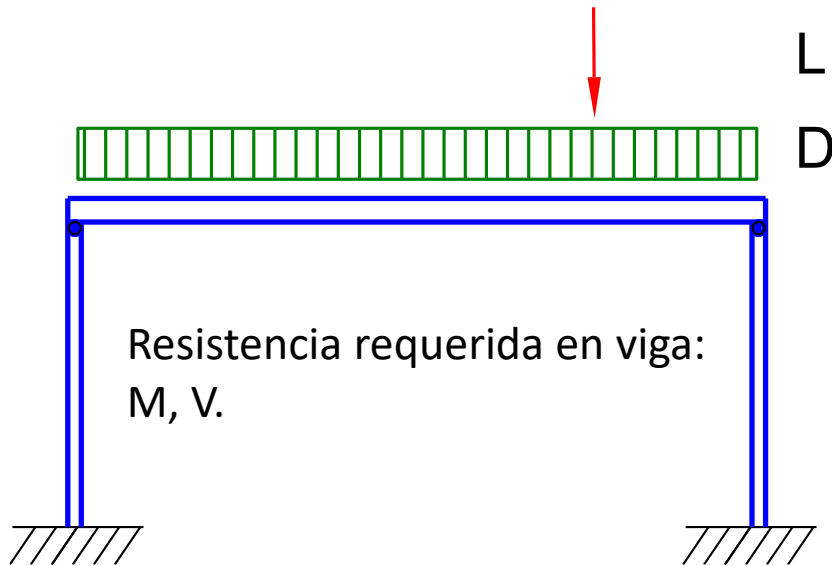
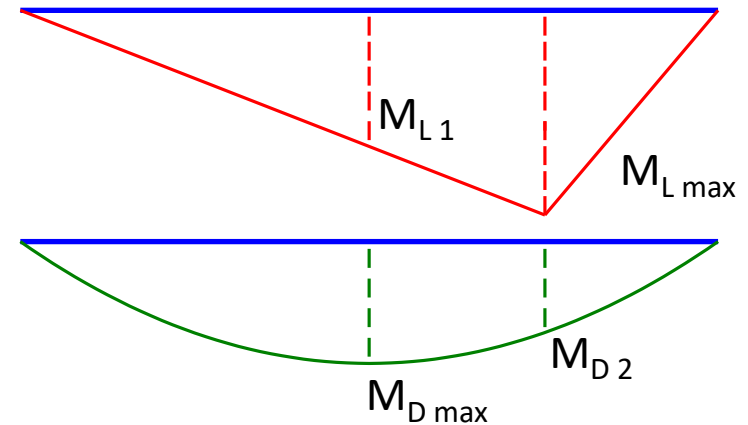


Diagrama de momentos flectores



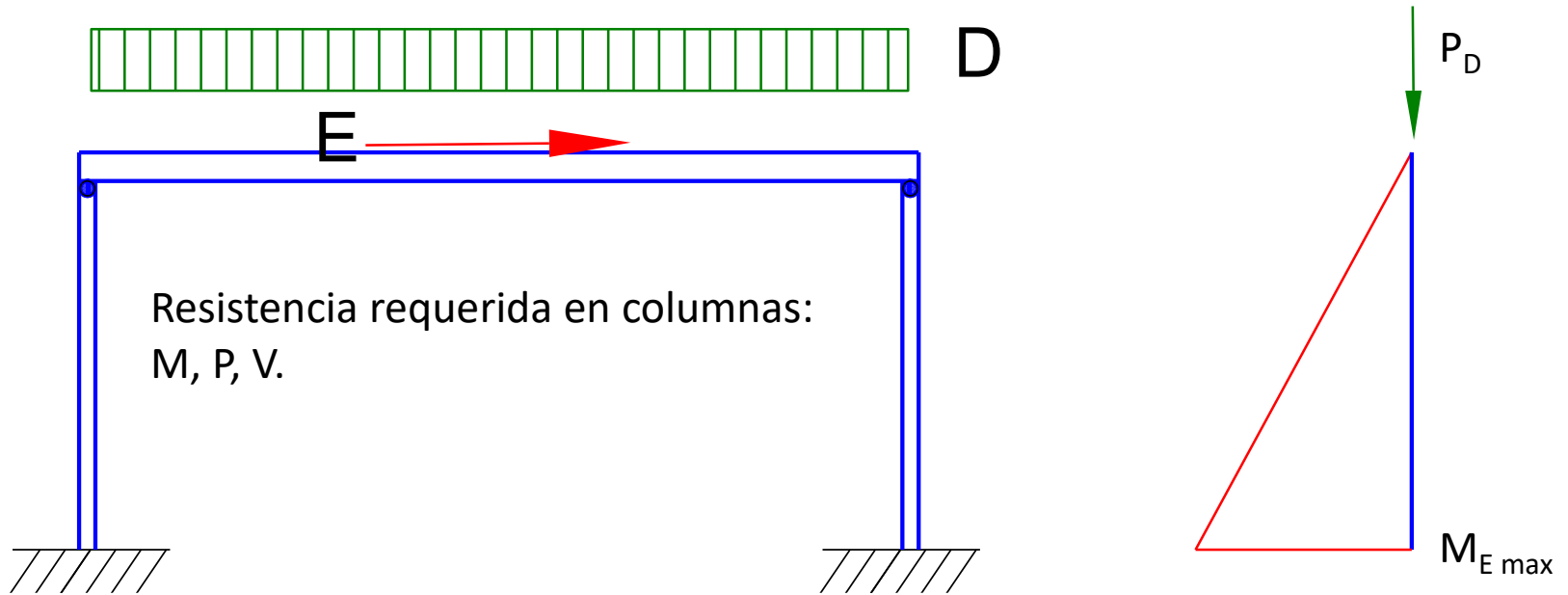
Las dos cargas, D y L, son de distinto tipo y los valores máximos de las solicitaciones (valores para diseño) no se producen en la misma sección.

En este caso se deben calcular las solicitaciones para D y L y luego combinar las solicitaciones en las secciones donde se producen los valores máximos (se obtienen dos valores de M, se considera el valor más desfavorable).

Se aplica el mismo criterio para encontrar la resistencia requerida a corte

# Métodos de diseño

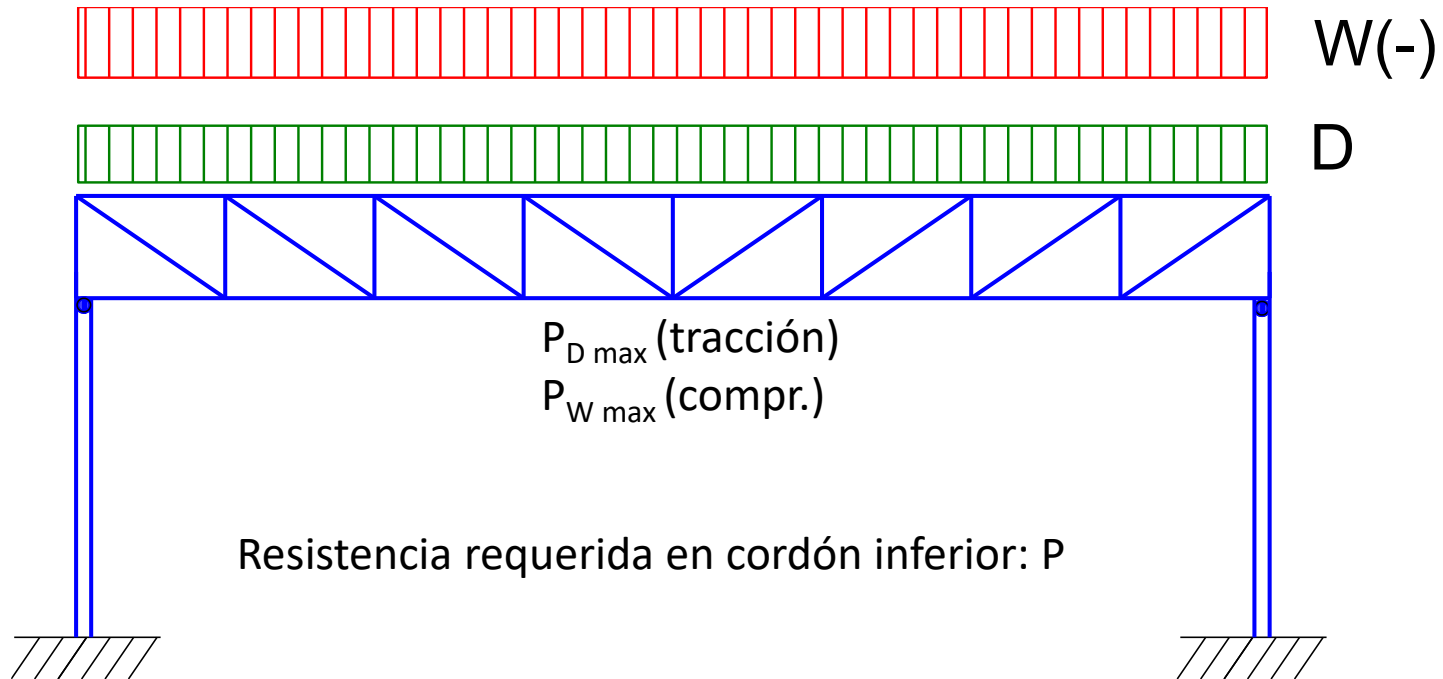
## Método LRFD. Determinación de la resistencia requerida



Las dos cargas,  $D$  y  $E$ , son de distinto tipo y producen esfuerzos diferente en la columna. En este caso se deben calcular las sollicitaciones para  $D$  y  $E$  por separado y luego se aplican los factores de carga que corresponden a cada estado de carga.

# Métodos de diseño

## Método LRFD. Determinación de la resistencia requerida

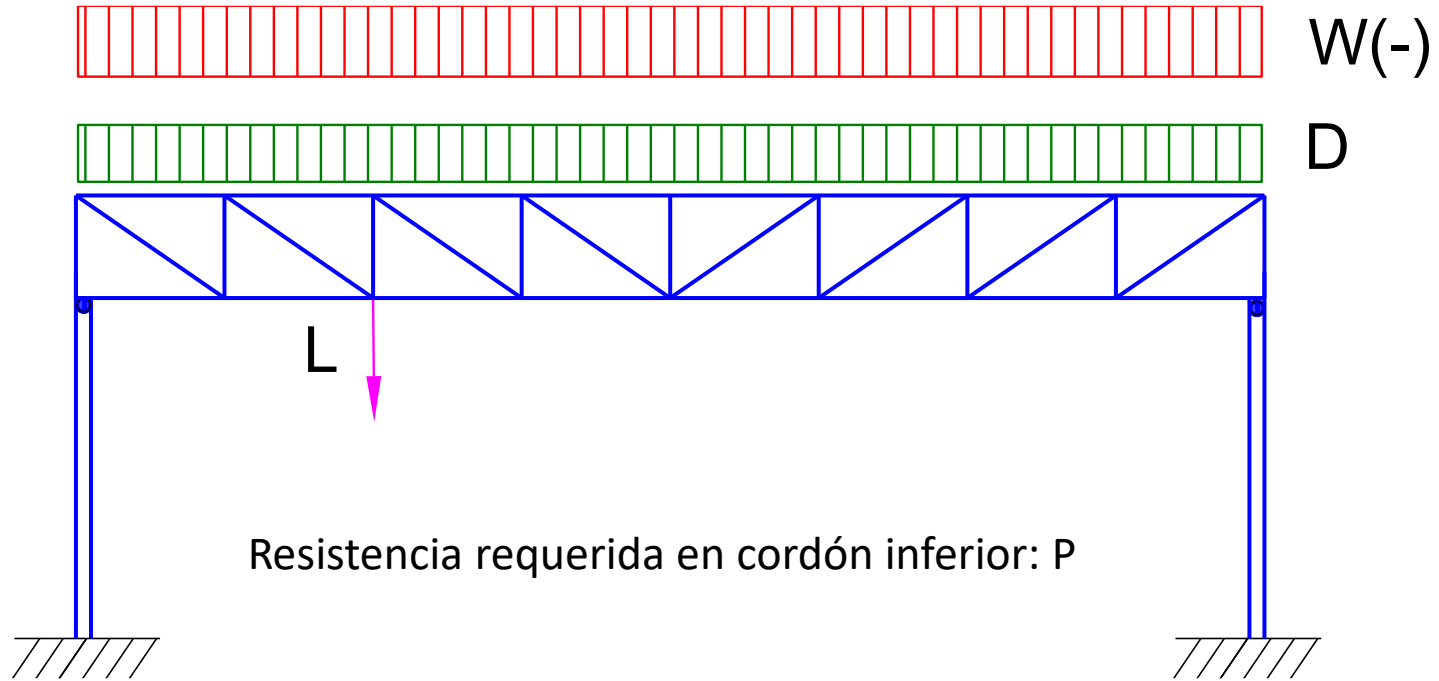


Las dos cargas,  $D$  y  $W$ , son del mismo tipo y producen los esfuerzos máximos en las mismas barras del reticulado.

Las cargas axiales inducidas por  $D$  en el cordón inferior son de tracción y por  $W$  son de compresión. Se deben determinar dos valores de resistencia requerida a carga axial (a compresión y tracción) porque no se sabe a priori cual condiciona el diseño.

# Métodos de diseño

## Método LRFD. Determinación de la resistencia requerida



¿Cuál es el criterio para determinar la resistencia requerida en el cordón inferior?