

SECCIÓN TRANSFORMADA DE ALAS RIGIDIZADAS LONGITUDINALMENTE

Abolladura LOCAL del panel comprimido con rigidización longitudinal

De acuerdo con el art. 20º de EAE, si se tienen en cuenta los rigidizadores longitudinales, la clasificación de los paneles comprimidos es automáticamente Clase 4.

La diferencia con un panel sin rigidización es que la anchura del panel (c ó b) será la distancia libre entre rigidizadores. Se habla entonces de sub-paneles de ancho b_i .

Se deben obtener los coeficientes de reducción por abolladura local $\rho_{loc,i}$ de cada sub-panel, así como los coeficientes de reducción por abolladura local $\rho_{loc,j}$ de los paneles que conforman cada rigidizador.

Lo habitual es colocar los rigidizadores a distancias tales que no sea necesario reducir el área de los sub-paneles. Es decir, $\rho_{loc,i} = 1$, que ocurre cuando $\bar{\lambda}_{p,i} \leq 0,673$.

Lógicamente, también será habitual dimensionar las chapas de los rigidizadores de forma que no haya que reducirlos ($\rho_{loc,j} = 1$).

Por último, se supone que la separación entre rigidizadores es uniforme y de esa manera todos los $\rho_{loc,i}$ tendrán el mismo valor.

Abolladura GLOBAL del panel comprimido con rigidización longitudinal

Consúltese el Eurocódigo 3, Parte 1-5 (apartado 4.5 y Anejo A) y el proyecto de Instrucción de Acero Estructural EAE (Anejo 6).

El factor de reducción por abolladura global (ρ_c) se obtiene de la ponderación de los factores de reducción por abolladura como placa ortótropa (ρ) y por pandeo como columna (χ_c).

Ahora bien, el Eurocódigo 3, Parte 1-5, apartado 4.5.1.(5) recomienda, del lado de la seguridad, tomar directamente el χ_c para cuantificar la abolladura global. Se adoptará este método en el contexto de la asignatura.

El proceso para calcular el factor χ_c es el siguiente:

1. Determinar las propiedades mecánicas del conjunto chapa-rigidizador más próximo al borde más comprimido del panel rigidizado (ver Fig. 1): posición del centro de gravedad (G_{s+p}), área ($A_{s,l,1}$) y momento de inercia para pandeo-flexión fuera del plano del panel rigidizado ($I_{s,l,1}$).

Aunque no está explicado de manera clara, se tomarán las dimensiones brutas tanto de la chapa como del rigidizador.

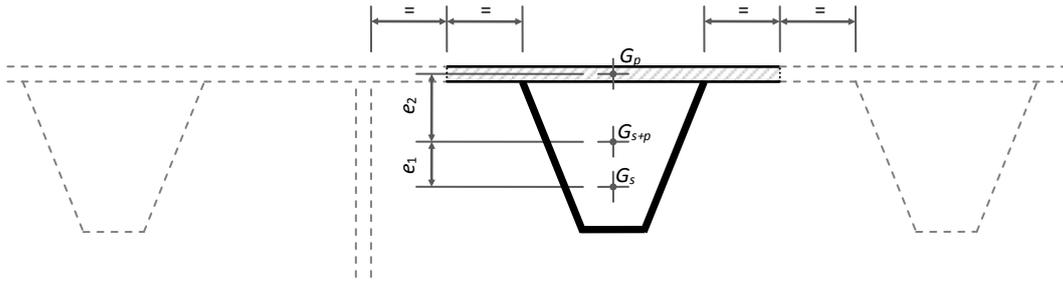


Fig. 1

- Determinar la longitud a del rigidizador que es, precisamente, la distancia entre rigidizadores transversales rígidos que coartan el pandeo tipo columna.

Para el caso de tableros metálicos de losa ortótropa rigidizada longitudinalmente, la RPM-95 (apartado 6.5) clasifica 8 tipos de rigidizadores longitudinales cerrados y establece para cada uno de ellos la longitud a (distancia L_T) que adopta valores entre 3200 mm hasta 4400 mm.

El Eurocódigo 3, Parte 2: Puentes metálicos, recoge una gráfica en su Anejo C (figura C.4) que permite obtener la distancia a en función de la rigidez del conjunto chapa-rigidizador y que da resultados en el mismo orden de magnitud que los de la RPM-95.

- Determinar la tensión crítica de pandeo del conjunto chapa-rigidizador:

$$\sigma_{cr,sl} = \frac{\pi^2 E I_{sl,1}}{A_{sl,1} a^2}$$

- Determinar el factor de reducción por abolladura local del conjunto chapa-rigidizador:

$$\beta_{A,c} = \frac{A_{sl,1,eff}}{A_{sl,1}}$$

donde $A_{sl,1,eff}$ es el área reducida del conjunto chapa-rigidizador, aplicándole los factores de reducción por abolladura local previamente calculados.

- Determinar la esbeltez relativa de la columna:

$$\bar{\lambda}_c = \sqrt{\frac{\beta_{A,c} f_y}{\sigma_{cr,sl}}}$$

- Determinar el coeficiente de imperfección equivalente para el conjunto chapa-rigidizador:

$$\alpha_e = \alpha + 0,09 \frac{e}{i}$$

donde $i = \sqrt{\frac{I_{sl,1}}{A_{sl,1}}}$ (radio de giro del conjunto chapa rigidizador), e es la máxima de las excentricidades e_1 y e_2 (ver Fig. 1) y α adopta el valor 0,34 si el perfil del rigidizador es de sección cerrada ó 0,49 en caso contrario.

7. Determinar el factor de pandeo tipo-columna χ_c :

$$\Phi = 0,5 \left[1 + \alpha_e (\bar{\lambda}_c - 0,2) + \bar{\lambda}_c^2 \right]$$

$$\chi_c = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}_c^2}}$$

Efecto del arrastre por cortante en alas comprimidas con rigidizadores longitudinales

En el caso de alas comprimidas rigidizadas longitudinalmente, la reducción del ancho eficaz por arrastre por cortante es más acusada que en alas exentas de rigidización. Puesto que se clasifican automáticamente en clase 4 el factor de arrastre por cortante debe calcularse como:

$$\psi_{ult} = \psi_{el,i} (\beta')$$

donde:

$$\beta' = \beta \sqrt{\frac{\chi_c (A_{r,loc} + \sum A_{sl})}{bt}}$$

Cuando se trata de paneles de alas con borde libre, $A_{r,loc}$ es el área reducida del panel por abolladura local y b es el vuelo b_1 . El sumatorio de A_{sl} se extiende al área de todos los rigidizadores del borde libre.

Cuando se trata de paneles de alas interiores (entre almas), $A_{r,loc}$ es el área reducida por abolladura local de medio panel y b es la mitad del ancho del panel. En este caso, el sumatorio de A_{sl} se extiende a la mitad de los rigidizadores longitudinales dispuestos entre almas.

Interacción de todos los efectos.

A los efectos de los cálculos posteriores (obtención de la posición de la fibra neutra de la sección, definición del plano de agotamiento y cálculo del momento último) y en el contexto de la asignatura, se propone despreciar el área de los rigidizadores longitudinales en el equilibrio interno de la sección.

El área transformada de cada sub-panel del ala comprimida se obtendrá como:

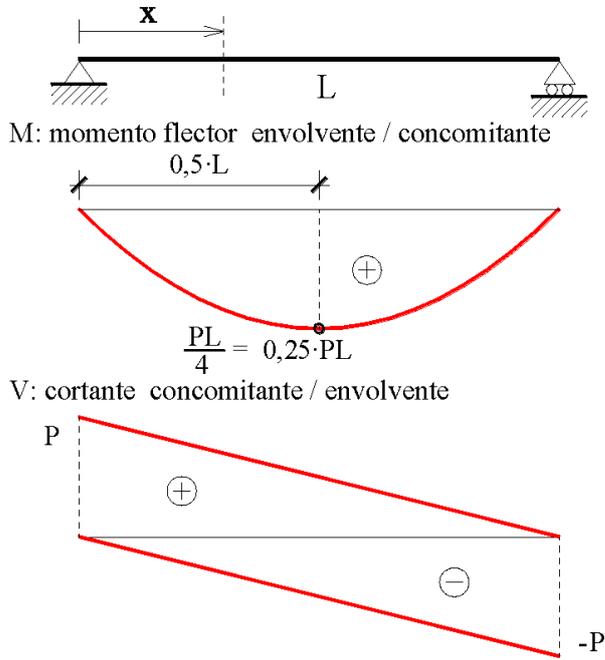
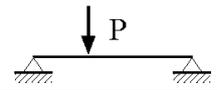
$$A_{tr,i} = \psi_{ult} \chi_c \rho_{loc,i} b_i t$$

ENVOLVENTES DE FLECTORES Y CORTANTES

Fichas de envolventes de esfuerzos cortantes y momentos flectores en vigas simplemente apoyadas de un solo vano y en vigas continuas de dos vanos iguales sometidas a cargas puntuales y uniformemente distribuidas.

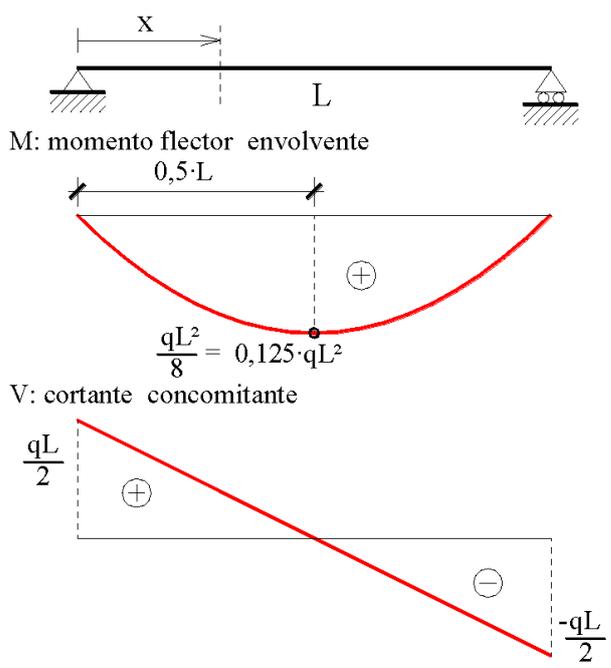
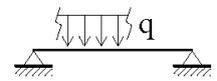
Estas fichas son de gran interés para la resolución de los ejercicios de dimensionamiento de puentes y pasarelas sometidos a las acciones indicadas en la Instrucción IAP, admitiendo como simplificación que la componente del vehículo pesado del tren de cargas se concentre en una única acción puntual.

VIGA SIMPLE 1 VANO APOYADO: CARGA PUNTUAL P.
Envolvente del FLECTOR y CORTANTE



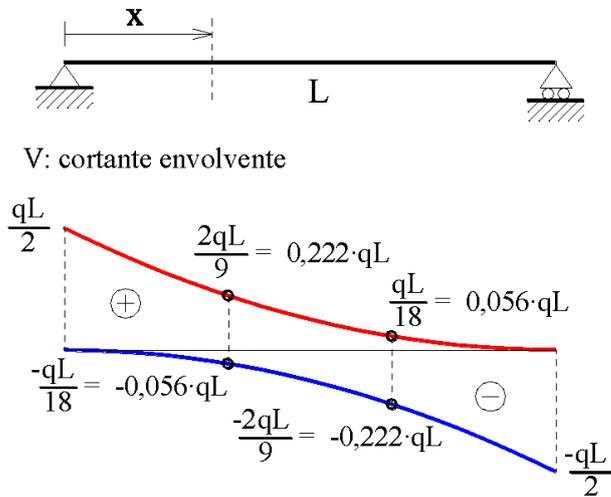
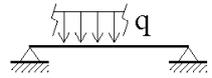
	$0 \leq x \leq L$
$M =$	$\frac{Px}{L} \cdot (L-x)$
$V^{(+)} =$	$\frac{P}{L} \cdot (L-x)$
$V^{(-)} =$	$-\frac{Px}{L}$
<p>En cualquier sección x el máximo momento flector positivo y el máximo cortante, se obtienen simultáneamente colocando la carga P sobre dicha sección.</p>	

VIGA SIMPLE 1 VANO APOYADO: CARGA UNIFORME q.
Envolvente del FLECTOR

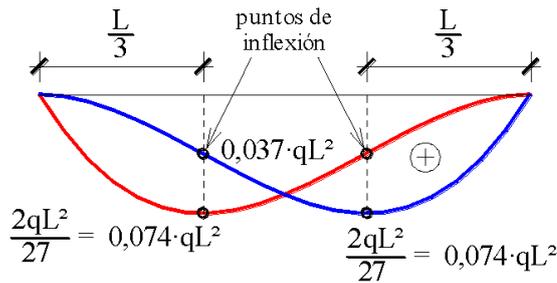


	$0 \leq x \leq L$
$M =$	$\frac{qx}{2} \cdot (L-x)$
$V =$	$\frac{q}{2} \cdot (L-2x)$
<p>En cualquier sección x el máximo momento flector se obtiene con la carga q extendida en toda la luz.</p>	

VIGA SIMPLE 1 VANO APOYADO: CARGA UNIFORME q.
Envolvente del CORTANTE



M: momento flector concomitante



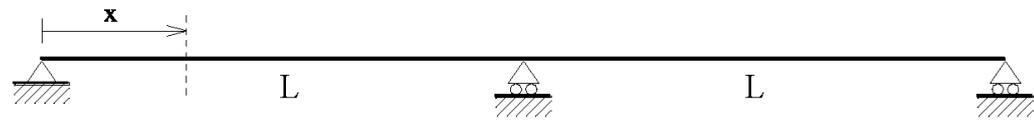
Cortante positivo:

	$0 \leq x \leq L$
$V^{(+)} =$	$\frac{q}{2L} \cdot (L-x)^2$
$M =$	$\frac{qx}{2L} \cdot (L-x)^2$
<p>Carga q extendida des de x hasta L.</p>	

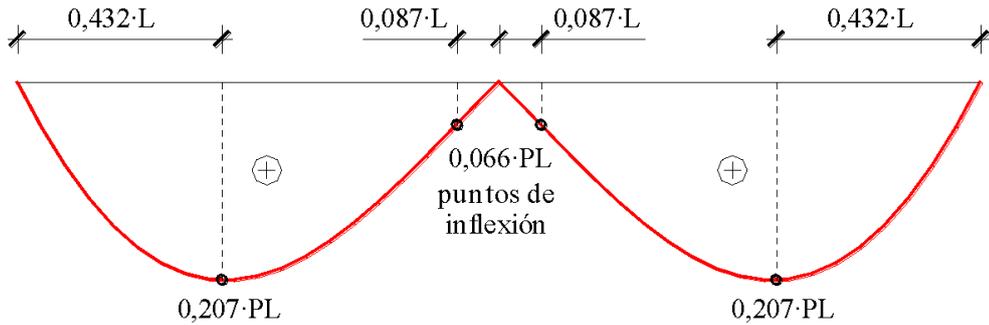
Cortante negativo:

	$0 \leq x \leq L$
$V^{(-)} =$	$-\frac{qx^2}{2L}$
$M =$	$\frac{qx^2}{2L} \cdot (L-x)$
<p>Carga q extendida des de 0 hasta x.</p>	

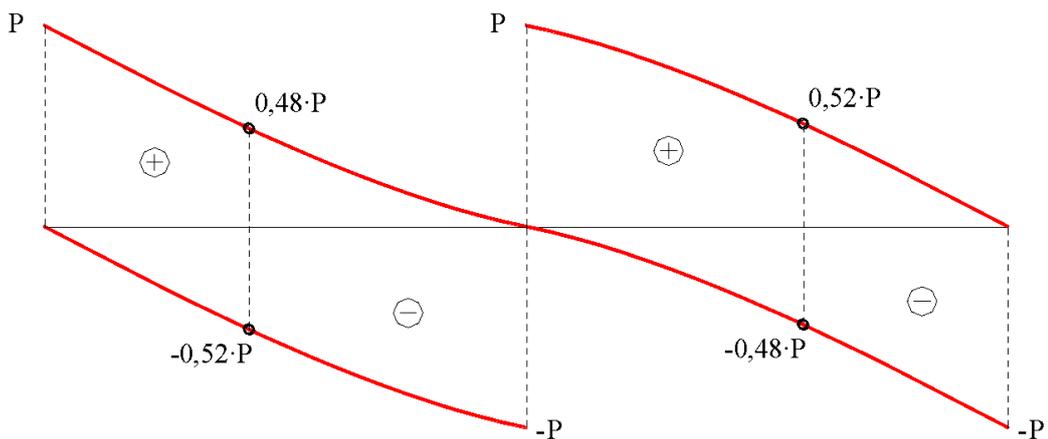
VIGA CONTÍNUA 2 VANOS IGUALES: CARGA PUNTUAL P.
Envolvente del FLECTOR POSITIVO (+)



M: momento flector (+) envolvente

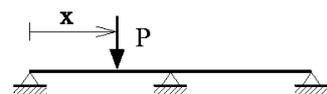


V: cortante concomitante



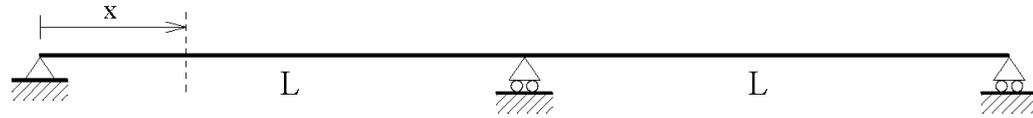
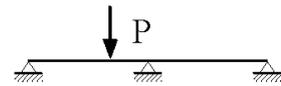
	$0 \leq x \leq L$	$L \leq x \leq 2L$
M =	$\frac{Px}{4L^3} \cdot (x^3 - 5L^2x + 4L^3)$	$\frac{P(x-2L)}{4L^3} \cdot (x^3 - 6Lx^2 + 7L^2x - 2L^3)$
V ⁽⁺⁾ =	$\frac{P}{4L^3} \cdot (x^3 - 5L^2x + 4L^3)$	$\frac{P(x-2L)}{4L^3} \cdot (x^2 - 4Lx - L^2)$
V ⁽⁻⁾ =	$\frac{Px}{4L^3} \cdot (x^2 - 5L^2)$	$\frac{P(x-L)}{4L^3} \cdot (x^2 - 5Lx + 2L^2)$

En cualquier sección x el máximo momento flector positivo se obtiene colocando la carga puntual P sobre dicha sección.

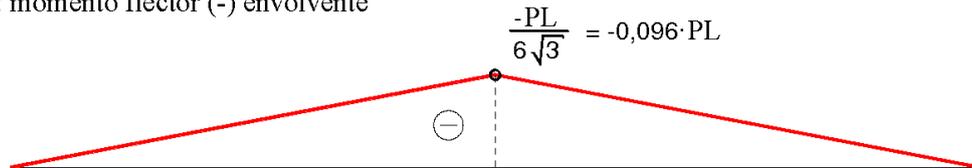


NOTA: V⁽⁺⁾ corresponde al cortante dorsal y V⁽⁻⁾ corresponde al cortante frontal.

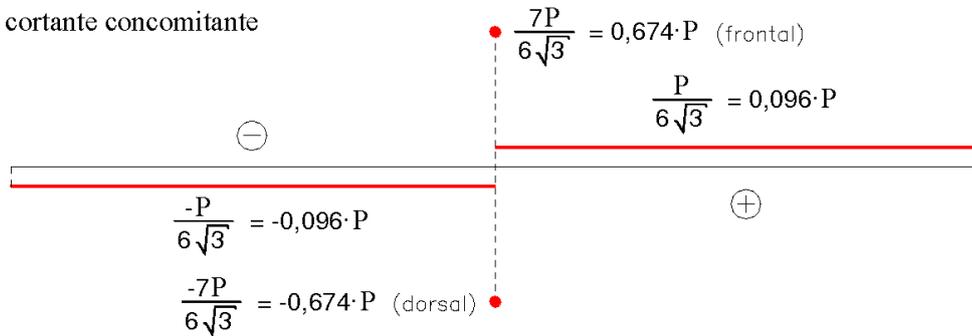
VIGA CONTÍNUA 2 VANOS IGUALES: CARGA PUNTUAL P.
Envolvente del FLECTOR NEGATIVO (-)



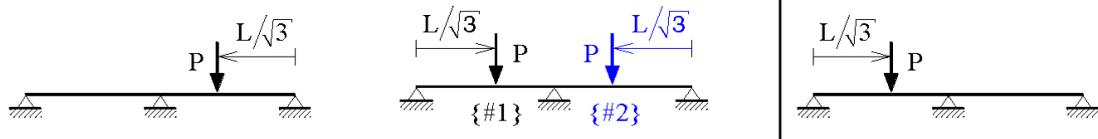
M: momento flector (-) envolvente



V: cortante concomitante



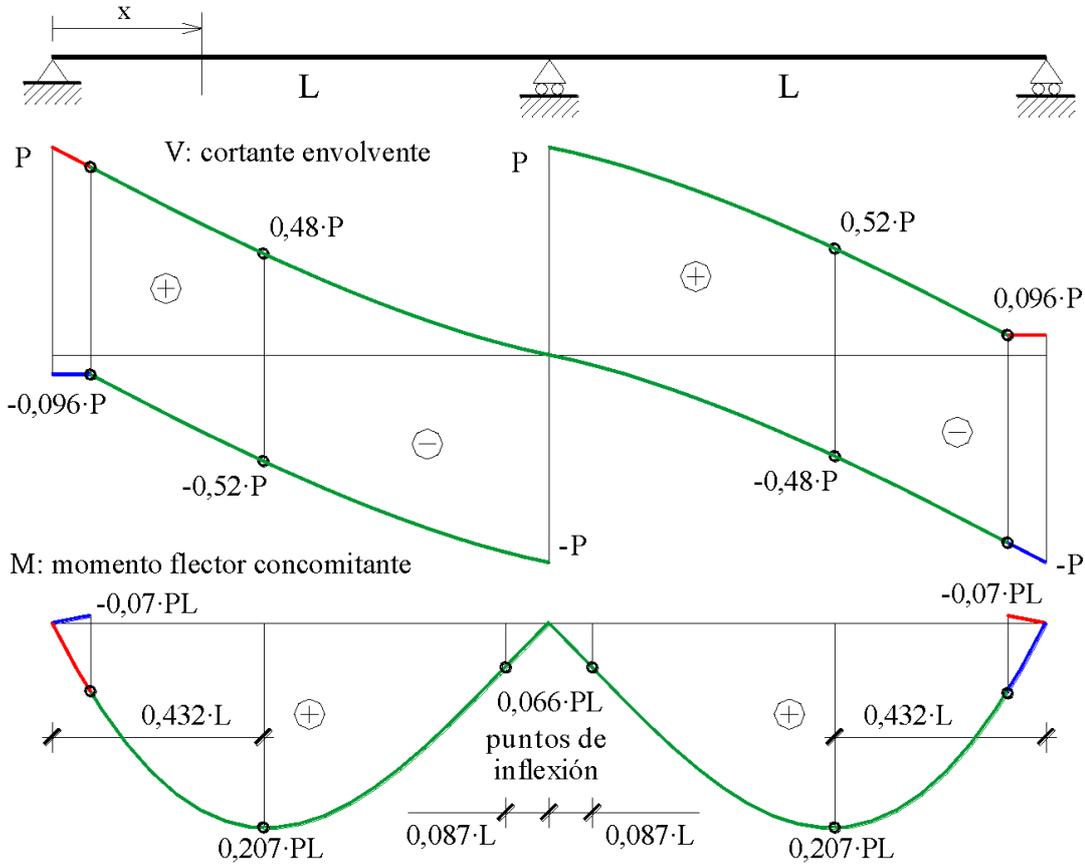
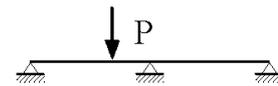
	$0 \leq x < L$	$x = L^{(-)}$	$x = L^{(+)}$	$L < x \leq 2L$
M =	$-\frac{Px}{6\sqrt{3}}$	$-\frac{PL}{6\sqrt{3}}$		$\frac{P}{6\sqrt{3}} \cdot (x - 2L)$
V =	$-\frac{P}{6\sqrt{3}} = -0,096P$	$-\frac{7P}{6\sqrt{3}}$ {#1} $-\frac{P}{6\sqrt{3}}$ {#2}	$\frac{P}{6\sqrt{3}}$ {#1} $\frac{7P}{6\sqrt{3}}$ {#2}	$\frac{P}{6\sqrt{3}} = 0,096P$



En una sección x cualquiera de un vano, el máximo momento flector negativo se obtiene colocando la carga puntual P en el vano contiguo, situada a una distancia $L/\sqrt{3}$ del apoyo extremo más cercano.

En $x=L$ el máximo momento flector negativo puede obtenerse colocando la carga P en ambas posiciones, lo que conduce a poder escoger dos valores posibles para el cortante concomitante.

VIGA CONTÍNUA 2 VANOS IGUALES: CARGA PUNTUAL P.
Envolvente del CORTANTE



Cortante positivo:

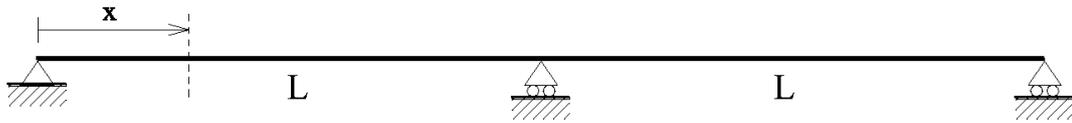
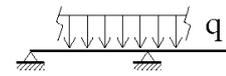
	$0 \leq x \leq L$	$L \leq x \leq 1,923L$	$1,923L \leq x \leq 2L$ ^[1]
$V^{(+)} =$	$\frac{P}{4L^3} \cdot (x^3 - 5L^2x + 4L^3)$	$\frac{P(x-2L)}{4L^3} \cdot (x^2 - 4Lx - L^2)$	$\frac{P}{6\sqrt{3}} = 0,096P$
$M =$	$\frac{Px}{4L^3} \cdot (x^3 - 5L^2x + 4L^3)$	$\frac{P(x-2L)}{4L^3} \cdot (x^3 - 6Lx^2 + 7L^2x - 2L^3)$	$\frac{P}{6\sqrt{3}} \cdot (x-2L)$

Cortante negativo:

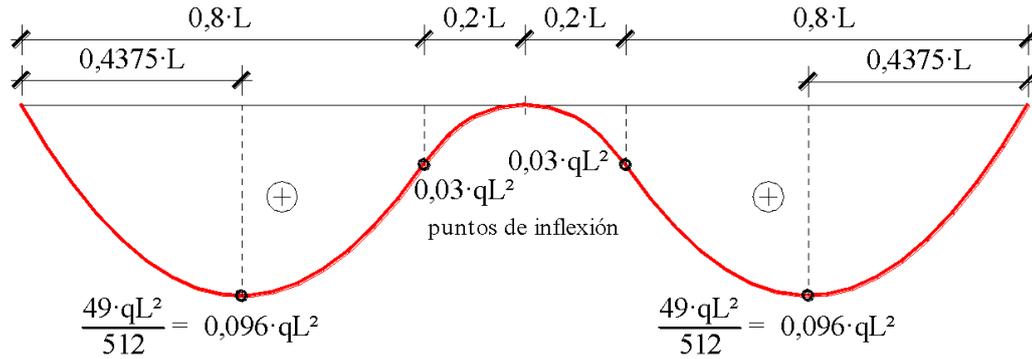
	$0 \leq x \leq 0,077L$ ^[1]	$0,077L \leq x \leq L$	$L \leq x \leq 2L$
$V^{(-)} =$	$-\frac{P}{6\sqrt{3}} = -0,096P$	$\frac{Px}{4L^3} \cdot (x^2 - 5L^2)$	$\frac{P}{4L^3} \cdot (x^3 - 6Lx^2 + 7L^2x - 2L^3)$
$M =$	$-\frac{Px}{6\sqrt{3}}$	$\frac{Px}{4L^3} \cdot (x^3 - 5L^2x + 4L^3)$	$\frac{P(x-2L)}{4L^3} \cdot (x^3 - 6Lx^2 + 7L^2x - 2L^3)$

[1] En la práctica estos casos no se usan, coincidiendo todo con la envolvente de M(+).

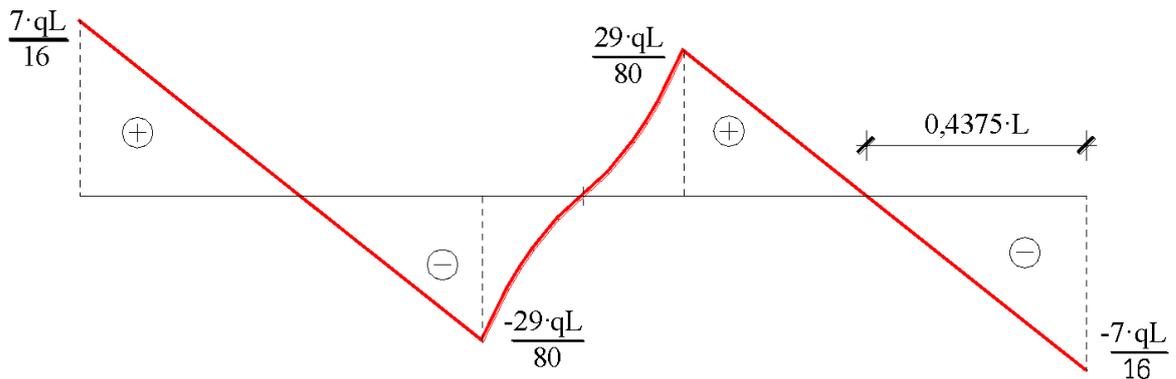
VIGA CONTÍNUA 2 VANOS IGUALES: CARGA UNIFORME q .
Envolvente del FLECTOR POSITIVO (+)



M: momento flector (+) envolvente

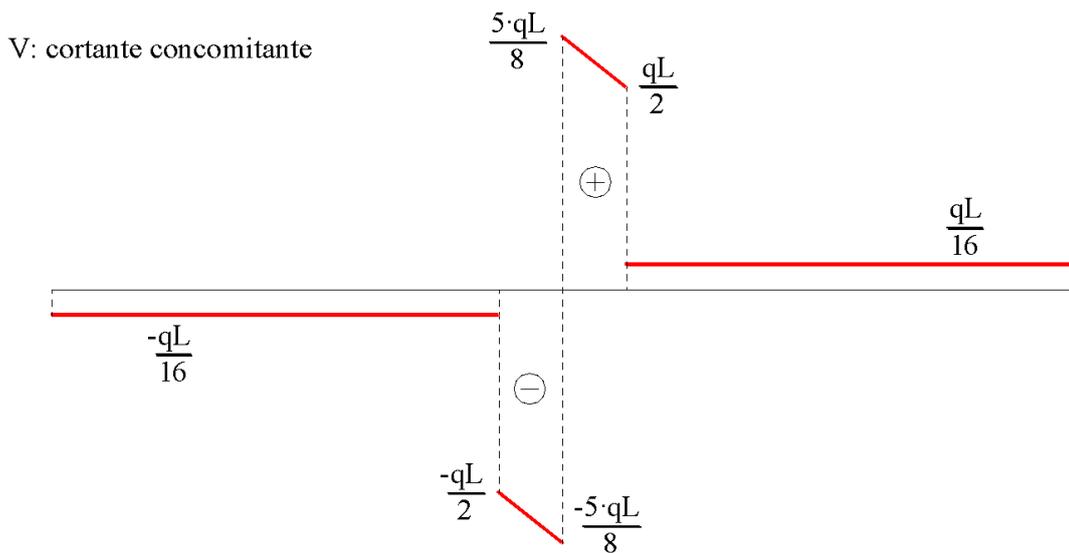
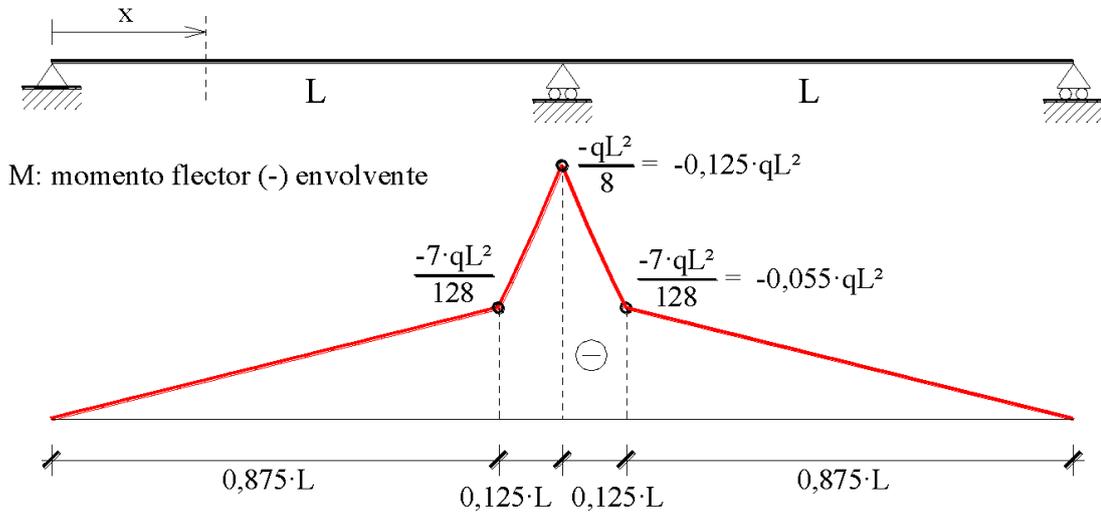
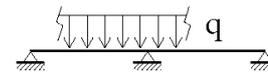


V: cortante concomitante



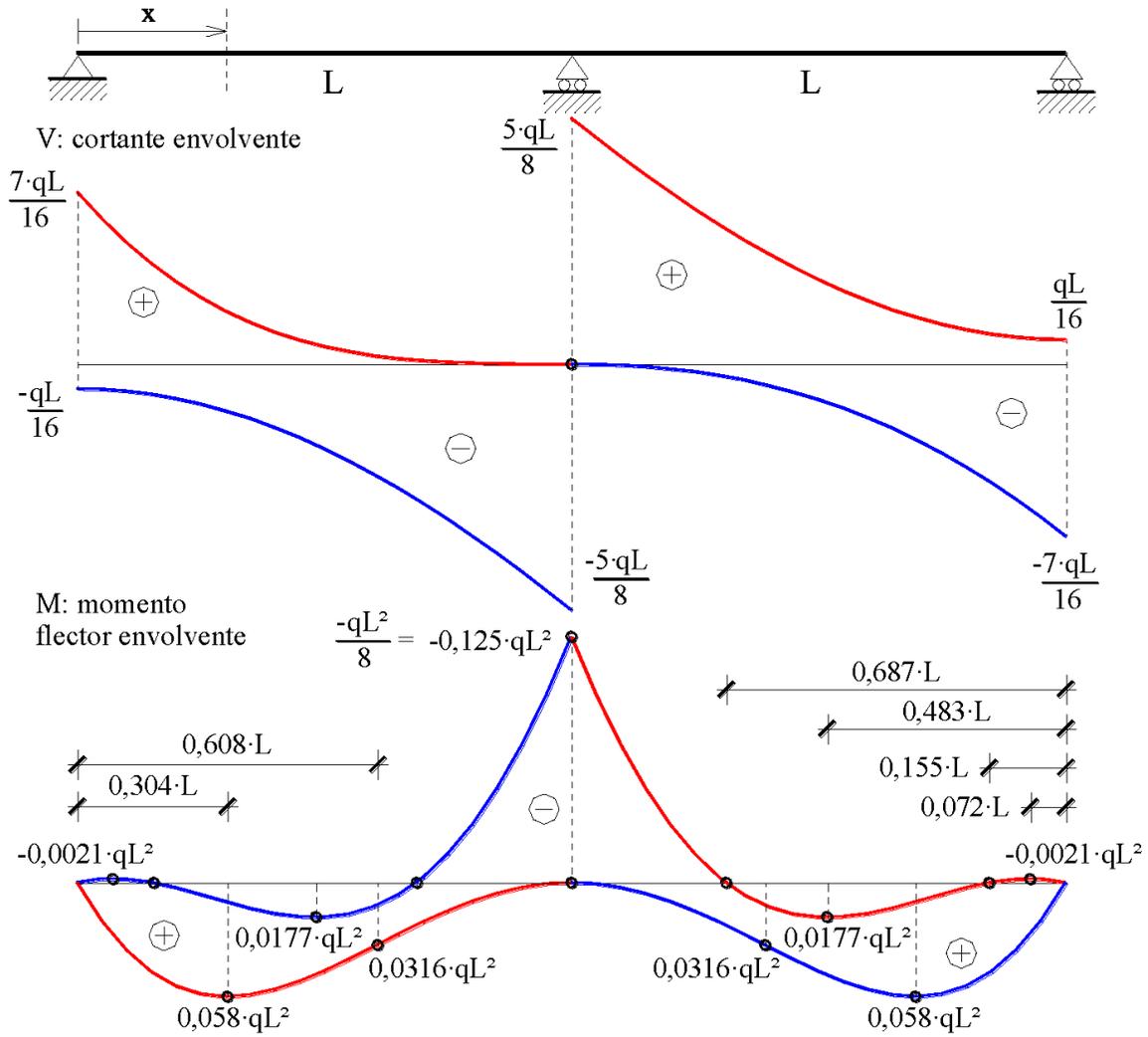
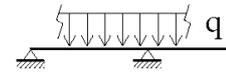
	$0 \leq x \leq 0,8L$	$0,8L \leq x \leq L$	$L \leq x \leq 1,2L$	$1,2L \leq x \leq 2L$
M =	$\frac{qx}{16} \cdot (7L - 8x)$	$\frac{q}{2x} \cdot (2L - x)(x - L)^2$	$\frac{qx}{2} \cdot \frac{(x - L)^2}{2L - x}$	$\frac{q}{16} \cdot (2L - x)(8x - 9L)$
V =	$\frac{q}{16} \cdot (7L - 16x)$	$q \left(2L - \frac{L^3}{x^2} - x \right)$	$q \left[\frac{L^3}{(2L - x)^2} - x \right]$	$\frac{q}{16} \cdot (25L - 16x)$
	 Carga q extendida en todo el primer vano.	 q extendida desde d hasta L : $d = L \sqrt{5 - 4 \frac{L}{x}}$	 q extendida desde L hasta $2L - d$: $d = L \sqrt{\frac{6L - 5x}{2L - x}}$	 Carga q extendida en todo el segundo vano.

VIGA CONTÍNUA 2 VANOS IGUALES: CARGA UNIFORME q .
Envolvente del FLECTOR NEGATIVO (-)



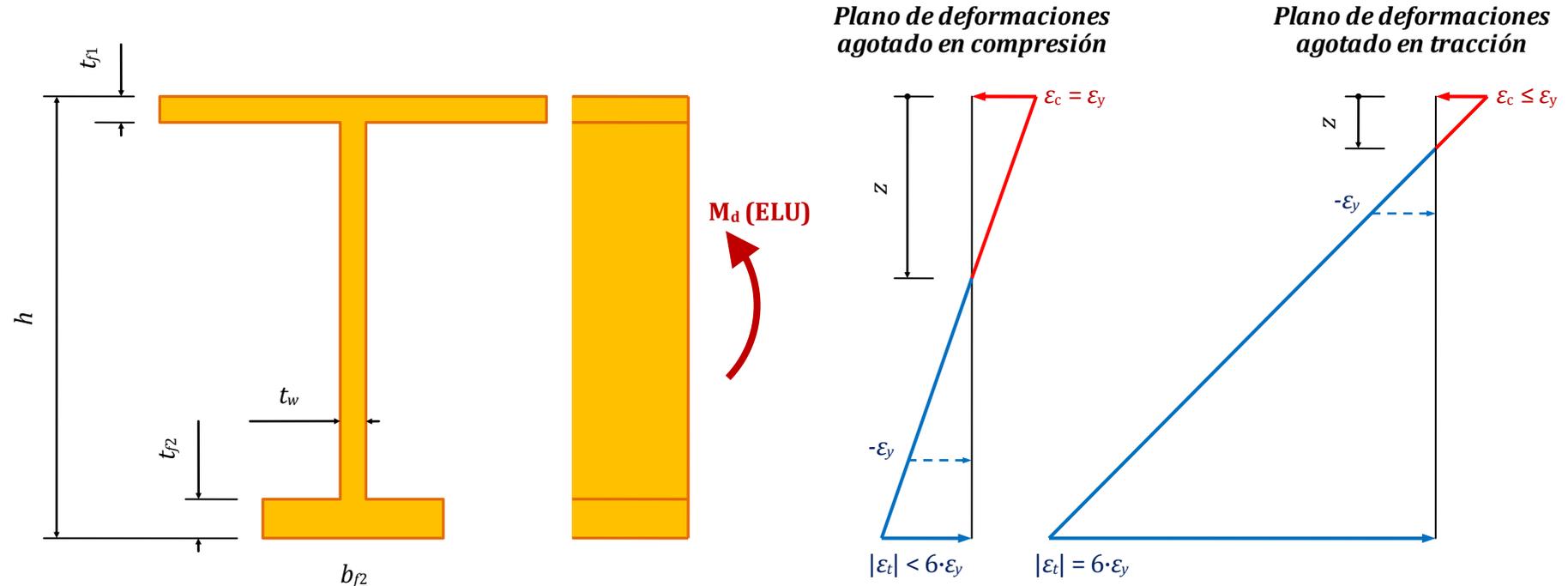
	$0 \leq x \leq \frac{7}{8}L = 0,875L$	$0,875L \leq x \leq L$	$L \leq x \leq \frac{9}{8}L = 1,125L$	$1,125L \leq x \leq 2L$
M =	$-\frac{qL}{16} \cdot x$	$\frac{q}{8} \cdot (3L - 4x)x$	$\frac{q}{8} \cdot (x - 2L)(5L - 4x)$	$\frac{qL}{16} \cdot (x - 2L)$
V =	$-\frac{qL}{16}$	$\frac{q}{8} \cdot (3L - 8x)$	$\frac{q}{8} \cdot (13L - 8x)$	$\frac{qL}{16}$
	 Carga q extendida en todo el segundo vano.	 Carga q extendida en toda la viga.	 Carga q extendida en todo el primer vano.	

VIGA CONTÍNUA 2 VANOS IGUALES: CARGA UNIFORME q.
Envolvente del CORTANTE



		$0 \leq x \leq L$	$L \leq x \leq 2L$
V positivo	$V^{(+)} =$	$\frac{q(L-x)^2}{16L^3} \cdot (7L^2 - 2Lx - x^2)$	$\frac{qL}{16} + \frac{q(2L-x)^2}{16L^3} \cdot (6L^2 + 4Lx - x^2)$
	$M =$	$\frac{q(L-x)^2}{16L^3} \cdot (7L^2 - 2Lx - x^2) \cdot x$	$\frac{q(2L-x)}{16L^3} \cdot (x^4 - 8Lx^3 + 14L^2x^2 - 9L^4)$
		Carga q extendida des de x hasta L.	Carga q extendida en el vano 1º y des de x hasta 2L.
V negativo	$V^{(-)} =$	$\frac{q}{16L^3} \cdot [(x^2 - 10L^2)x^2 - L^4]$	$\frac{q(x-L)^2}{16L^3} \cdot (x^2 - 6Lx + L^2)$
	$M =$	$\frac{qx}{16L^3} \cdot [(x^2 - 10L^2)x^2 + 8L^3x - L^4]$	$\frac{q(x-L)^2}{16L^3} \cdot (x^2 - 6Lx + L^2) \cdot (x - 2L)$
		Carga q extendida des de 0 hasta x y en el vano 2º.	Carga q extendida des de L hasta x.

FIBRA NEUTRA EN SECCIONES EN DOBLE T DISIMÉTRICAS SOMETIDAS A FLEXIÓN PURA CASOS DE SECCIONES CON ALAS COMPRIMIDAS DE CLASES 3 Ó 4 Y ALMAS PLASTIFICADAS EN TRACCIÓN



1. Plano de deformaciones agotado en compresión (*)

$$z = \frac{K + \sqrt{K^2 + 4 \cdot (A_1 - t_{f1} \cdot t_w) \cdot t_{f1} \cdot t_w}}{4 \cdot t_w}, \quad z \geq t_{f1} \text{ y } z \leq \frac{h - t_{f2}}{2}, \quad \text{siendo } K = A - 2 \cdot (A_1 - t_{f1} \cdot t_w)$$

2. Plano de deformaciones agotado en tracción, con deformación unitaria igual a $-6 \cdot \varepsilon_y$ (*)

$$z = \frac{-K + \sqrt{K^2 + t_w \cdot [A \cdot h/3 - (A_1 - t_w \cdot t_{f1}) \cdot (h/3 - t_{f1}) - 1/36 \cdot t_w \cdot h^2]}}{5/6 \cdot t_w}, \quad z \geq t_{f1}, \quad \text{siendo } K = A/5 + A_1 + t_w \cdot (h/6 - t_{f1})$$

(*) A es el área transformada de la sección, A_1 es el área transformada del ala(s) comprimida(s).