

COMENTARIOS A LAS FORMULAS PARA LA INTERACCIÓN FLECTOR/CORTANTE EN EL EUROCÓDIGO 3

COMMENTS TO THE SHEAR / BENDING INTERACTION FORMULAS IN EUROCODE 3

Joaquín Obregón Cobo ^a

^a Director Técnico. FRICO AS

RESUMEN

El Eurocódigo 3 maneja la interacción flector/cortante con una fórmula general para cualquier sección y con fórmulas específicas para secciones comunes, incluyendo I (H o doble T). Los resultados de ambas son contradictorios y por ello hemos hecho un análisis profundo de ellas (genérica y doble T).

Los resultados de nuestros trabajos indican discrepancias llamativas para la fórmula específica para secciones I, lo que puede llevar a la conclusión de que la fórmula (6.30) en el EC3 no es siempre segura. También hemos encontrado alguna desviación entre la formulación genérica en el EC3 y la formulación genérica puramente conceptual. En todo caso, creemos razonable abrir una discusión sobre el tema.

ABSTRACT

Eurocode 3 handles bending/shear interaction with a general formula for any section and with specific formulas for common section types (including I and H). The results obtained from both formulas are contradictory and this is why we have made an in-depth analysis of them (generic and I types).

The results of our work seem to indicate remarkable discrepancies for the specific formula for I sections, which may lead to the conclusion that the formula (6.30) in EC3 is not always safe.

We have also found some deviation between the generic formulation in EC3 and the purely conceptual generic formulation. In any case, we believe it is reasonable to open a discussion on the subject.

PALABRAS CLAVE: Acero, Eurocódigo, EC3, Cortante, Flector, Interacción.

KEYWORDS: Steel, Eurocode, EC3, Shear, Bending, Interaction

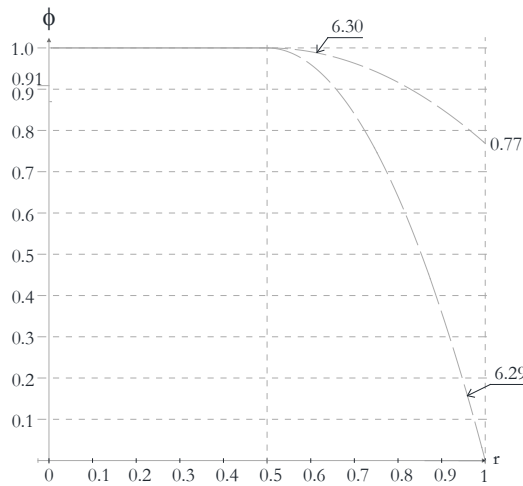
1. Introducción

En lo que sigue me refiero exclusivamente a secciones en de acero laminado en caliente en I (también llamadas H o doble T).

En varias ocasiones he encontrado discrepancias significativas en la capacidad a flexión de la sección cuando se hace la reducción de capacidad a flexión por la presencia de esfuerzos cortantes. Por ejemplo, para un perfil

IPE100 con un esfuerzo cortante igual a la capacidad a cortante de la sección, la reducción genérica (fórmula 6.29) es del 100% y para la fórmula específica 6.30 es solamente del 23%.

En la figura 1 se puede apreciar gráficamente la diferencia entre las distintas reducciones debidas a la interacción flector/cortante.



2. Terminología

- A_{vz} Área de cortante de la sección.
- $EC3$ Abreviatura del Eurocódigo 3, que incluye las normas EN 1993-1-1 y siguientes.
- r, ψ Cociente entre el cortante máximo y el calculado. Coordenada horizontal en el diagrama de interacción.
- TSE Energía de deformación total (en inglés: Total Strain Energy).
- V_{pl} Esfuerzo cortante máximo (plástico).
- V_{el} Esfuerzo cortante máximo (elástico).
- V_{Rd} Esfuerzo cortante máximo (EC3).
- ϕ Cociente entre el flector máximo y el calculado. Coordenada vertical en el diagrama de interacción.
- σ_y Tensión (normal) de fluencia.
- τ_y Tensión tangencial de fluencia, definida como la tensión tangencial que agota el criterio de Von Mises en el caso de cortante puro.

$$\tau_y = \sigma_y / \sqrt{3} \quad (1)$$

3. Modelo de cálculo

El EC3 utiliza un modelo de cálculo simplificado para la capacidad a cortante de una sección. El área de cortante incluye las zonas de transición

entre alma y alas (figura 2.a) y permite la plastificación total de ese área (figura 3.a). Para el flector se usa la capacidad hasta plastificar la sección completa, y para la reducción por cortante de acuerdo a la fórmula 6.30 se elimina la capacidad a flexión del alma (figura 3.a).

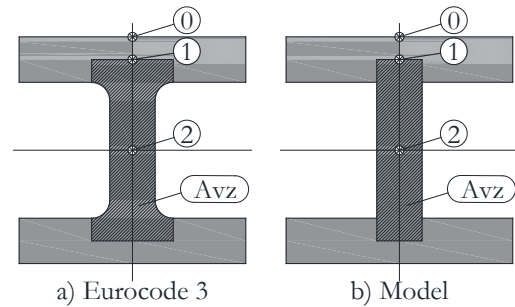


Figura 2. Sección.

El modelo utilizado en nuestros cálculos es el ampliamente conocido modelo de vigas de pared delgada, en el que el flujo de cortante es considerado constante de lado a lado de la pared y nulo en los extremos de la sección, en nuestro caso en las puntas de las alas. El área de cortante no incluye las transiciones entre alma y alas (figura 2.b).

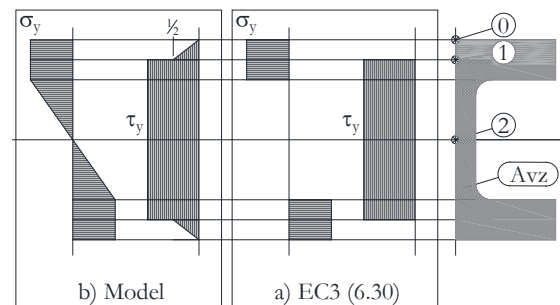


Figura 3. Tensiones Máximas.

$$\tau_0 = \frac{V}{I_y} \cdot \frac{d_f \cdot b}{4} \quad (2)$$

$$\tau_1 = \frac{V}{I_y} \cdot \frac{d_f \cdot b \cdot t_f}{2 \cdot t_w} \quad (3)$$

$$\tau_2 = \frac{V}{I_y} \left(\frac{d_f \cdot b \cdot t_f}{2 \cdot t_w} + \frac{d_f^2}{8} \right) \quad (4)$$

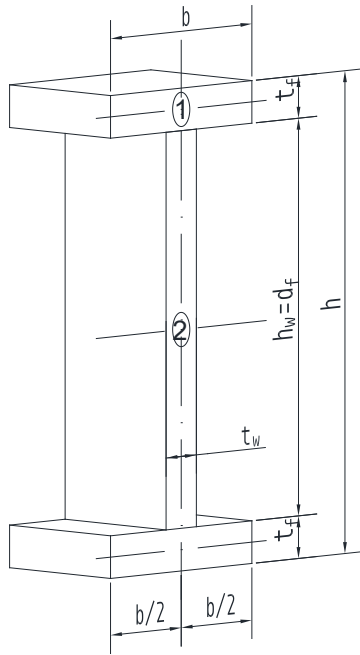


Figura 4. Sección.

Nótese que en las figuras 3 y 5 se ha dibujado la tensión tangencial entre los puntos 0 y 1 como una línea recta, esto no es exacto, se pretende ilustrar que esta tensión tangencial viene de la suma de las tensiones tangenciales en las alas.

4. Análisis de las fórmulas del EC3

4.1 Fórmula Genérica (6.29)

La fórmula genérica se puede ver como una simplificación del criterio general de Von Mises, que incluye un primer tramo para $0 < r < 1/2$ en el que no se reduce la capacidad a flexión, para reducirlo luego con una fórmula cuadrática que se anula por $r=1$. La formulación del EC3, reduce la capacidad a flexión reduciendo el límite elástico según la fórmula 6.29:

$$\rho = \left(\frac{2V_{Ed}}{V_{PL,Rd}} - 1 \right)^2 \quad (5)$$

$$f_{y.Red} = (1 - \rho)f_y \quad (6)$$

$$r = \frac{V_{Ed}}{V_{PL,Rd}} \quad (7)$$

$$\sigma_{y.Red} = (1 - (2r - 1)^2)\sigma_y \quad (8)$$

4.2 Fórmula para perfiles I (6.30)

La fórmula específica para secciones I (fórmula 6.30) incluye igualmente un primer tramo sin reducción cuando el cortante es inferior a la mitad de la capacidad a cortante; para valores mayores se reduce el módulo plástico de la sección:

$$A_w = h_w \cdot t_w \quad (9)$$

$$M_{y.V.Red} = \frac{W_{pl,y} - \frac{\rho \cdot A_w^2}{4t_w}}{\gamma_{M0}} \sigma_y \quad (10)$$

Esta fórmula deduce progresivamente la contribución del alma al módulo plástico de la sección, lo que significa que para una solicitud a cortante igual a la capacidad de la sección, se considera que las alas pueden trabajar con la tensión (normal) de fluencia (figura 3.a).

De acuerdo a la fórmula 6.30 la zona de transición entre el alma y las alas (entre los puntos 1 y 2) está sometida a un estado tensional con una tensión normal igual a la de fluencia al mismo tiempo que la tensión tangencial es máxima. Tendríamos pues fluencia en esa zona:

Cuando las alas tienen la tensión de fluencia, el alma de la sección está sometida a tensiones normales como las mostradas en la figura 3.b). En un estado tensional semejante, solamente la fibra neutra no estaría por encima del criterio de Von Mises.

5. Diagramas de interacción

Visto lo anterior parece interesante hacer un análisis más detallado de los diferentes estados posibles de solicitaciones y tensiones para poder delimitar un diagrama de interacción para el flector y el cortante en la sección.

5.1 Metodología

Se han hecho dos aproximaciones diferentes, una para delimitar el rango elástico y el comienzo de la plastificación de la sección y otro para la capacidad. Se entiende como comienzo de la plastificación a la situación en la que zonas de la sección han plastificado pero no hay un solapamiento de tensiones normales y tangenciales por encima del límite elástico.

Debido a la complejidad de las fórmulas y la formulación diferente entre el cálculo en el EC3 y en el modelo teórico, no se ha sabido obtener formulaciones sencillas para todas las relaciones que darían forma a los diagramas buscados para el rango elástico y el comienzo de la plastificación.

Por ello, se ha procedido a hacer un análisis de las secciones laminadas en caliente más comunes. Con la intención de generar una envolvente con los valores obtenidos que nos permitan delimitar una zona segura. Los cálculos incluyen las series: HEA, HEAA, HEB, HEM, IPE, IPN, UB y UC.

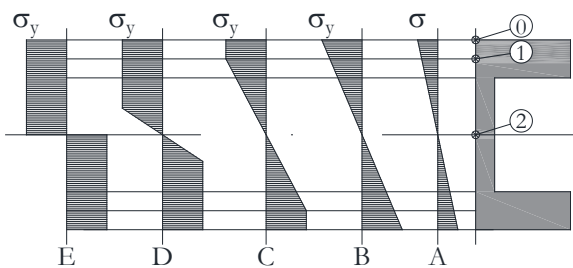


Figura 5. Tensión de flexión.

Los estados tensionales considerados se describen gráficamente en las figuras 5 (tensión normal) y 6 (tensión tangencial de cortante).

Tensiones Normales:

- A. Estado lineal antes de σ_y .
- B. Límite elástico, σ_y en el punto 0.
- C. Media ala plastificada, σ_y en el punto 1
- D. Elasto-plástico intermedio antes de la plastificación total por flexión.
- E. Límite plástico por flexión. Toda la sección a σ_y .

Tensiones tangenciales (de cortante):

- I. Estado lineal antes de τ_y .
- II. Límite elástico, τ_y en el punto 2.
- III. Elasto-plástico intermedio antes de la plastificación total por cortante.
- IV. Límite plástico por cortante. Toda el alma a τ_y .

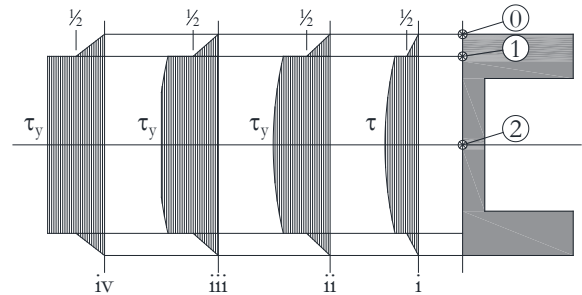


Figura 6. Tensión de cortante.

Se ha procedido a calcular los puntos clave del diagrama de interacción a partir de los diferentes estado tensionales en la sección. Estos puntos se pueden ver señalados en la figura 8 y son:

- iC Corresponde con el estado tensional i en cortante y C en flexión.
- iB Análogamente corresponde con el estado tensional i en cortante y B en flexión.
- Aii El definido por el estado ii en cortante y A en flexión.

En los tramos intermedios se ha considerado que el punto de la sección que lo define va a mostrar un comportamiento similar el de Von Mises para un punto y se ha utilizado líneas cuadráticas a estima.

5.2 Tensión disponible

Para cada uno de los puntos se ha calculado la tensión disponible en función de la tensión conocida y el criterio de Von Mises.

Conocida la tensión normal σ , la tensión de cortante (tangencial) disponible τ_{disp} es:

$$\sigma_y = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau_{disp}^2} \rightarrow$$

$$\rightarrow \tau_{disp} = \sqrt{\frac{\sigma_y^2 - \sigma^2}{3}} \quad (11)$$

Conocida la tensión tangencial τ , la tensión de normal disponible σ_{disp} es:

$$\sigma_y = \sqrt{\sigma_{disp}^2 + 3\tau^2} \rightarrow$$

$$\rightarrow \sigma_{disp} = \sqrt{\sigma_y^2 - 3\tau^2} \quad (12)$$

5.3 Resultados

El objetivo es obtener una envolvente segura para el diagrama de interacción. Para ello se han utilizado los valores mínimos para cada tipo de sección.

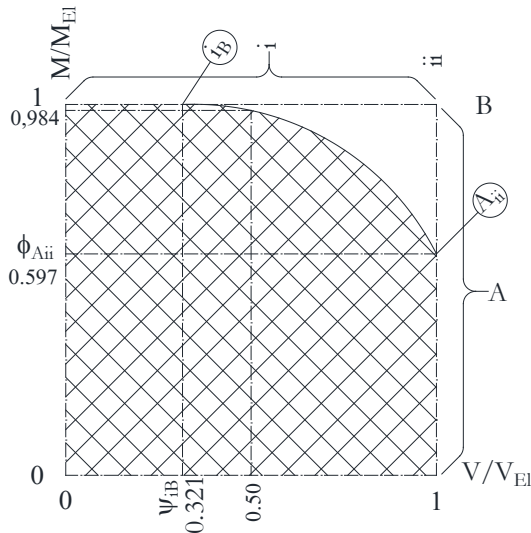


Figura 7. Diagrama elástico.

5.3.1. Resultados Numéricos

Los valores obtenidos son las coordenadas horizontales y verticales de los puntos iC, iB y Aii. Para todos los diagramas estas coordenadas varían entre 0 y 1.

En los diagramas elásticos $\psi=1$ con el cortante para el estado ii y $\phi=1$ para el estado B.

En los diagramas plásticos $\psi=1$ con el cortante para el estado iv y $\phi=1$ para el estado E.

La relación entre ambos depende de las secciones, al variar con los módulos plásticos y elásticos, y las áreas de cortante de las diferentes secciones.

Para los resultados obtenidos estos valores son:

$$\frac{V_{El}}{V_{Pl}} = \psi_{Aii} = 0.860 \quad (13)$$

$$\frac{M_{El}}{M_{Pl}} = \phi_{iB} = 0.756 \quad (14)$$

La tabla 1 contiene los valores significativos y el mínimo de todos ellos.

Tabla 1. Valores Diagrama Interacción.

Tipo	ψ_{iB}	ϕ_{iB}	ϕ_{iC}	ψ_{Aii}	ϕ_{Aii}
HEA	0.322	0.873	0.893	0.909	0.457
HEAA	0.294	0.857	0.869	0.894	0.463
HEB	0.342	0.863	0.892	0.902	0.453
HEM	0.356	0.807	0.892	0.898	0.451
IPE	0.276	0.862	0.878	0.884	0.588
IPEA	0.305	0.868	0.903	0.931	0.585
IPN	0.387	0.849	0.886	0.860	0.586
UB	0.276	0.842	0.868	0.873	0.528
UC	0.337	0.756	0.903	0.911	0.456
MIN	0.276	0.756	0.868	0.860	0.451

5.3.2. Diagrama elástico

Como se puede ver en la figura 7 el criterio establecido por la fórmula 6.30 del EC3 es similar, salvo por el hecho de que ésta fórmula usa W_{Pl} en lugar de W_{El} .

Es significativo que para una sección que alcanza el límite elástico a cortante se encuentra todavía disponible aproximadamente un 60% de la capacidad a flexión elástica. Esto es debido a que se llega al límite elástico en varios puntos de la sección sin permitir que pase ese punto, sin permitir que zonas de la sección plastifiquen.

5.3.3. Diagrama plástico

En la figura 8 se puede ver con trama cruzada la zona segura del diagrama.

5.3.4. Diagrama plástico envolvente/Propuesta

Los diagramas presentados hasta este punto son conceptuales o ilustrativos si se prefiere. Donde las posiciones de los puntos clave son exactas pero no las líneas que los unen.

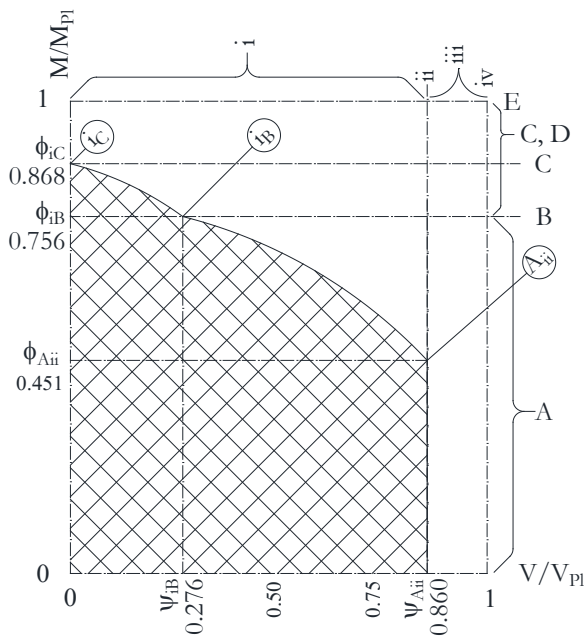


Figura 8. Diagrama plástico.

En la figura 11 se muestran todos los puntos clave del diagrama de interacción calculados para todas las secciones antes citadas. También se presenta una línea envolvente segura que más tarde se presenta como propuesta.

Los puntos clave que definen el diagrama son mostrados en la tabla 2 (y sí corresponden en este caso con puntos “reales” de algunas secciones):

Tabla 2. Puntos Envolvente.

Punto	ψ	ϕ
iC	0,00	0,87
iB	0,28	0,87
iB1	0,69	0,76
Aii	0,85	0,64
Aii1	0,93	0,45
Aii2	0,93	0,00

Con estos valores:

$$\frac{V_{El}}{V_{Pl}} = \psi_{Aii} = 0.93 \quad (15)$$

$$\frac{M_{El}}{M_{Pl}} = \phi_{iB} = 0.87 \quad (16)$$

5.3.5. Diagrama límite conservador

Se han buscado también diagramas que sean directamente comparables con los usados en el

EC3, diagramas que muestren la capacidad de la sección. Como ya se dijo, los criterios del EC3 asumen un cierto “solapamiento” de las tensiones normales y tangenciales al despreciar el efecto de las tensiones normales en el alma.

El problema es entonces encontrar un criterio que nos señale hasta qué punto se puede permitir la acción conjunta de tensiones normales y tangenciales en el peor punto de la sección. Se han usado dos criterios: energía total de deformación (TSE) y energía de distorsión (DSE). Se limita la energía por debajo de la energía total de deformación del ensayo de tracción. Su formulación sería:

TSE del ensayo de tracción:

$$TSE_T = \frac{\sigma_y^2}{2E} \quad (17)$$

TSE de viga sometida a flexión y cortante sin distorsión lateral:

$$TSE_B = \frac{\sigma^2}{2E} + \frac{(\nu + 1) \tau^2}{E} \quad (18)$$

Criterio:

$$\frac{\sigma_y^2}{2E} > \frac{\sigma^2}{2E} + \frac{(\nu + 1) \tau^2}{E} \quad (19)$$

Operando sobre (19) se llega a expresiones del momento flector límite en función del cortante o del cortante límite en función del momento flector:

$$M = \frac{W}{A} \sqrt{A^2 \sigma_y^2 - 2(1 + \nu)V^2} \quad (20)$$

$$V = \frac{A}{W} \sqrt{\frac{(W^2 \sigma_y^2 - M^2)}{2(1 + \nu)}} \quad (21)$$

DSE energía de distorsión:

$$DSE = \frac{(1 + \nu)(3\tau^2 + \sigma^2)}{3E} \quad (22)$$

Criterio:

$$\frac{\sigma_y^2}{2E} > \frac{(1 + \nu)(3\tau^2 + \sigma^2)}{3E} \quad (23)$$

Operando sobre (23) se llega a expresiones del momento flector límite en función del

cortante o del cortante límite en función del momento flector:

$$M = \frac{W}{A} \sqrt{\frac{3\sigma_y^2 A^2}{2(1+\nu)} - 3V^2} \quad (24)$$

$$V = \frac{A}{W} \sqrt{\frac{W^2 \sigma_y^2}{2(1+\nu)} - \frac{M^2}{3}} \quad (25)$$

5.3.6. Diagrama límite

El diagrama conservador descrito en el punto anterior está bastante alejado del criterio 6.30 del EC3 y no incluye ningún tipo de mecanismo de redistribución de tensiones, podríamos decir que es una extrapolación del comportamiento elástico.

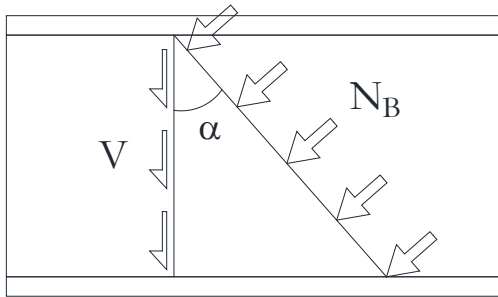


Figura 9. Bielas Alma

Se incluye en esta propuesta un mecanismo resistente alternativo para el cortante en el alma. Se asume la formación de bielas en el alma capaces de transferir un esfuerzo vertical equivalente al del cortante. También se asume, como para el resto del artículo que los esfuerzos que limitan la capacidad de la viga son el flector y el cortante, no hay pandeo ni abolladura.

Usando los mismo criterios energéticos que en el punto anterior se llega a:

Energía total:

$$M = \frac{W}{A} \sqrt{\sigma_y^2 A^2 - V^2} \quad (26)$$

$$V = \frac{A}{W} \sqrt{W^2 \sigma_y^2 - M^2} \quad (27)$$

Energía de distorsión:

$$M = \frac{W}{A} \sqrt{\frac{3\sigma_y^2 A^2}{2(1+\nu)} - V^2} \quad (28)$$

$$V = \frac{A}{W} \sqrt{\frac{3W^2 \sigma_y^2}{2(1+\nu)} - M^2} \quad (29)$$

6. Análisis con elemento finitos

Se han hecho algunos modelos de una viga, en busca del proceso de plastificación de la sección y específicamente en la transición entre alma alas. Las simulaciones se han usado a título cualitativo, los resultados numéricos no se han usado para la elaboración de los modelos numéricos presentados.

7. Propuestas

Este artículo no tiene soporte de ensayos, por lo que las conclusiones no se pueden tomar como definitivas, pero si suficientes para abrir un debate sobre el tema, si es que ha lugar. Siendo el tema el tratamiento de la interacción entre flector y cortante en el EC3, en particular su fórmula 6.30.

Dependiendo del tipo de viga y situación, será recomendable limitar la capacidad de la viga al rango elástico, a una plastificación parcial con todas las tensiones iguales o menores al límite elástico o un estado límite último (rotura).

Los puntos 7.1 y 7.2 presentan dos diagramas de interacción que pretender ser completamente seguros. Son conservadores por basarse en los valores mínimos obtenidos.

El punto 7.3 presenta una propuesta equivalente a la fórmula 6.30 del EC3 pero claramente más conservadora. Está entre las fórmulas 6.29 y 6.30 en cuanto a reducción.

El punto 7.4 presenta un diagrama más próximo al de la fórmula 6.30 del EC3, siendo en algunos casos incluso más generosa con la capacidad de la sección.

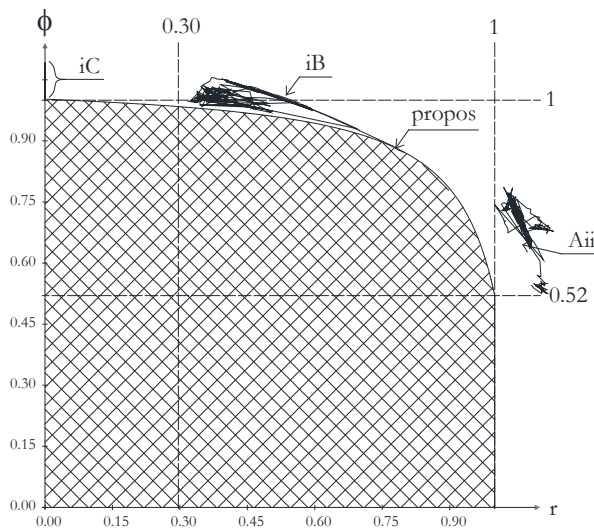


Figura 10. Propuesta - Elástico.

7.1 Régimen elástico

Se propone un diagrama de interacción flector/cortante en el régimen elástico para perfiles doble T (HEA, HEAA, HEB, HEM, IPE, IPN, UB y UC) como el mostrado en la figura 10, cuya expresión analítica es:

Cortante máximo en la sección, elástico:

$$V_{EL} = \frac{\tau_y \cdot I_y}{\frac{d_f \cdot b \cdot t_f}{2 \cdot t_w} + \frac{d_f^2}{8}} \quad (30)$$

Cortante en la sección: V_{Ed}

Capacidad a flexión de la sección, elástico:

$$M_{EL} = W_{EL,y} \cdot \sigma_y \quad (31)$$

La capacidad a flexión de la sección se reduce por la acción conjunta del cortante con $\phi_{V,EL}$

$$M_{EL,Rd} = \phi_{V,EL} \cdot W_{EL,y} \cdot \sigma_y \quad (32)$$

$$\phi_{V,EL} = \frac{0,05471}{\frac{V_{Ed}}{V_{EL}} - 1,103} + 1,052 \quad (33)$$

7.2 Régimen plástico

Como se puede ver en la figura 11, es posible delimitar la zona segura del diagrama de interacción para cualquier perfil de los tipos: HEA, HEAA, HEB, HEM, IPE, IPN, UB y UC.

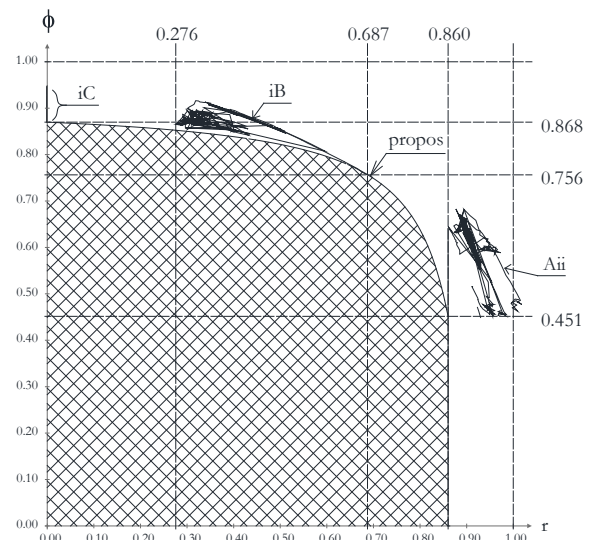


Figura 11. Envolvente/Propuesta - Plástico.

Este diagrama es conservador, ya que describe el comienzo de la plastificación de la sección, es decir, en la zona segura no hay nunca puntos cuyas tensiones sobrepasen el límite de fluencia. Se puede ver cómo algunos perfiles pueden trabajar por encima de él de forma segura (figura 12).

La aplicación práctica de este criterio queda al criterio del usuario que valorará si es admisible que la sección se deforme más allá de ciertos límites. Se recomienda el estudio detallado de la sección para optimizar al máximo el uso de su capacidad. En casos en los que la optimización no sea tan importante o el objetivo sea hacer una reducción segura de una forma simple, esta propuesta es recomendable. La expresión analítica es:

Cortante máximo en la sección, plástico:

$$V_{PL} = \tau_y \cdot t_w \cdot (h - t_f) \quad (34)$$

Cortante en la sección: V_{Ed}

Capacidad a flexión de la sección, plástico:

$$M_{PL,Rd} = \phi_{V,PL} \cdot W_{PL,y} \cdot \sigma_y \quad (35)$$

Si $V_{Ed} < 0,86 V_{PL}$:

$$\phi_{V,PL} = \frac{0,04084}{\frac{V_{Ed}}{V_{PL}} - 0,9484} + 0,9131 \quad (36)$$

Si $V_{Ed} \geq 0,86 V_{PL}$: $\phi_{V,PL} = 0$

7.3 Momento límite (conservador)

En la figura 12 se muestra como ejemplo los diagramas de interacción propuestos para un perfil HEB 500. Se ha incluido también el diagrama correspondiente a la fórmula 6.30 del EC3. Los diagramas conservadores se señalan como “Con Tot” y “Con Dist” para los diagramas basados en energía total y de distorsión respectivamente.

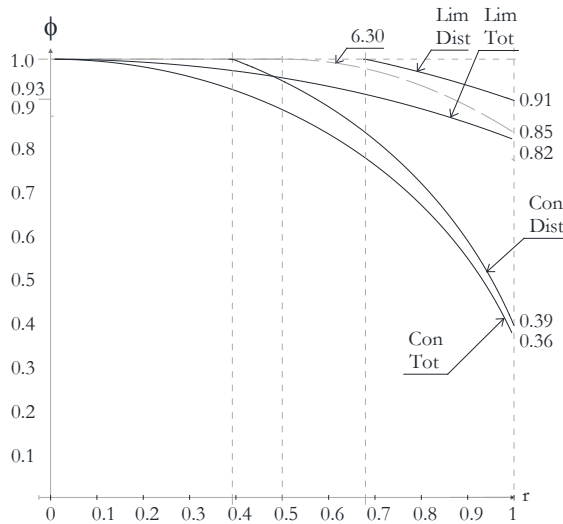


Figura 12. Propuestas Límite.

La expresión analítica sería la especificada por la fórmulas (20), (21) y (24), (25). Donde A es el área de cortante, W el módulo plástico de la sección, σ_y el límite elástico, M el momento flector y V el esfuerzo cortante. Para un módulo de Poisson $\nu=0,3$ las expresiones quedan:

Energía Total:

$$M = \frac{W}{A} \sqrt{A^2 \sigma_y^2 - 2,6 V^2} \quad (37)$$

$$V = \frac{A}{W} \sqrt{\frac{(W^2 \sigma_y^2 - M^2)}{2,6}} \quad (38)$$

$$\phi = \sqrt{1 - 0,867 r^2} \quad (39)$$

Energía de distorsión:

$$M = \frac{W}{A} \sqrt{\frac{3\sigma_y^2 A^2}{2,6} - 3V^2} \quad (40)$$

$$V = \frac{A}{W} \sqrt{\frac{W^2 \sigma_y^2}{2,6} - \frac{M^2}{3}} \quad (41)$$

Usando un criterio como el del EC3, se aplicaría la reducción para valores de $r > 0,39$:

$$\phi = \sqrt{1.154 - r^2} \quad (42)$$

7.4 Momento límite último

En la figura 12 se muestra como ejemplo los diagramas de interacción propuestos para un perfil HEB 500. Se ha incluido también el diagrama correspondiente a la fórmula 6.30 del EC3. Los diagramas límite se señalan como “Lim Tot” y “Lim Dist” para los diagramas basados en energía total y de distorsión respectivamente.

Este diagrama no es conservador, y sería comparable al criterio 6.30 del EC3. Su expresión analítica sería la especificada por la fórmulas (26), (27) y (28), (29). Donde A es el área de cortante, W el módulo plástico de la sección, σ_y el límite elástico, M el momento flector y V el esfuerzo cortante. Para un módulo de Poisson $\nu=0,3$ las expresiones quedan:

Energía total:

$$M = \frac{W}{A} \sqrt{\sigma_y^2 A^2 - V^2} \quad (26)$$

$$V = \frac{A}{W} \sqrt{W^2 \sigma_y^2 - M^2} \quad (27)$$

$$\phi = \sqrt{1 - \frac{r^2}{3}} \quad (43)$$

Energía de distorsión:

$$M = \frac{W}{A} \sqrt{\frac{3\sigma_y^2 A^2}{2,6} - V^2} \quad (44)$$

$$V = \frac{A}{W} \sqrt{\frac{3W^2 \sigma_y^2}{2,6} - M^2} \quad (45)$$

Usando un criterio como el del EC3, se aplicaría la reducción para valores de $r > 0,68$:

$$\phi = \sqrt{1,154 - \frac{r^2}{3}} \quad (46)$$

Como se ve en las figuras 12, el criterio de la fórmula 6.30 del EC3 y el diagrama propuesto en este punto se encuentran mucho más próximos que los anteriores. En la mayoría de los casos la fórmula 6.30 es menos conservadora que el criterio de energía total y muy similar al de energía de distorsión.

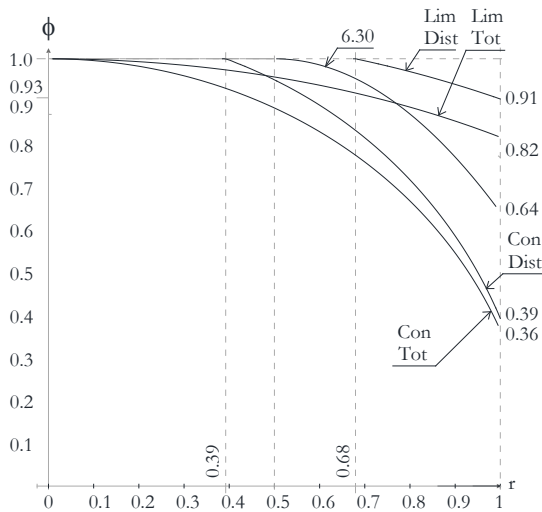


Figura 13. Propuestas Límite UB305X102X25.

Solo para algunos perfiles extremos las diferencias son significativas. La mayor diferencia es 0,27 para el perfil UB305X102X25. La mayor diferencia para un perfil “europeo” es de 0.26 para el perfil HEAA1000.

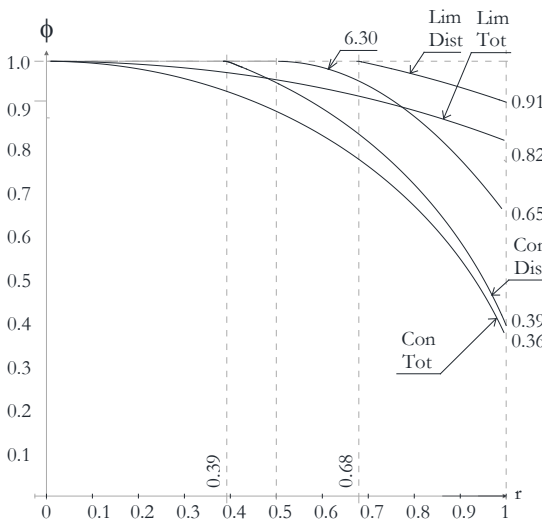


Figura 14. Propuestas Límite HEAA1000.

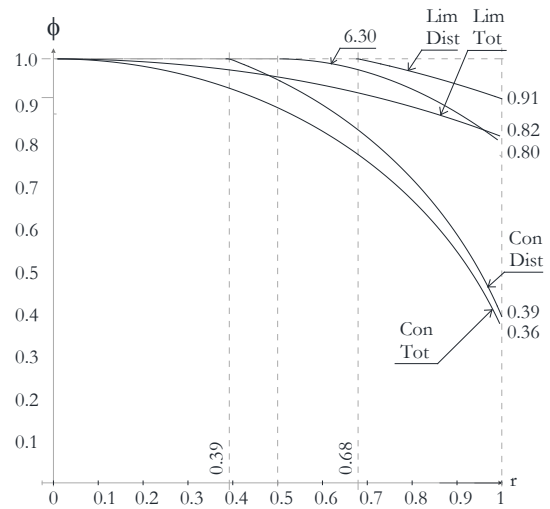


Figura 15. Propuestas Límite IPE80.

Para perfiles más pequeños las diferencias son menores como se puede ver en la figura 15.

7.4 Conclusiones

La propuesta presentada para el tratamiento de la interacción flexión/cortante en régimen elástico puede ser utilizada con garantías de seguridad.

En cuanto al tratamiento para estados límites últimos o de agotamiento de la sección, queda pendiente definir lo acertado de las propuestas, lo que necesitaría de ensayos de laboratorio, simulaciones numéricas y de expertos en el tema. Este artículo no puede ir más allá de despertar el interés de aquellos que puedan resolver la incertidumbre presentada, o mostrar que no hay tal incertidumbre.