



Curvas de interacción

Tutorial SectionPro: diagramas de interacción 2D clásicos
con verificación de combinaciones de carga

BridgeKernel · 2026

Introducción

El módulo de curvas de interacción calcula diagramas de interacción 2D clásicos para secciones de hormigón armado. Fijando una componente de esfuerzo (N , M_z o M_y) en un valor determinado, SectionPro calcula la frontera de resistencia en el plano de las dos componentes restantes. Las combinaciones de carga se representan sobre el diagrama: las cargas situadas dentro de la curva aparecen en **verde** (seguras), y las situadas fuera en **rojo** (no verificadas). Esto proporciona una comprobación visual directa sin necesidad de calcular factores de seguridad numéricos.

Hay dos modos disponibles. En el modo de componente fija, una componente se establece en un valor específico (p. ej. $N = 0$) y la curva de interacción se traza en el plano restante. El valor fijo debe estar dentro del dominio de resistencia de la sección; de lo contrario, no existe ninguna curva a ese nivel.

En el modo envolvente, SectionPro traza dos curvas: una para el valor máximo de la componente fija en todas las combinaciones de carga, y otra para el valor mínimo. Esto permite validar múltiples casos de carga con diferentes valores de la componente fija en una única figura, sin generar una curva separada para cada valor. Los valores de la componente fija de todas las combinaciones de carga deben estar dentro del dominio de resistencia de la sección. En este modo se utiliza un tercer color:

- **Verde:** dentro de ambas curvas, seguro en ambos extremos de la componente fija.
- **Rojo:** fuera de ambas curvas, no verificado en ambos extremos.
- **Gris:** entre las dos curvas, incierto. La carga puede ser segura o no según su valor real de la componente fija. Se requiere verificación adicional: fijando la componente en el valor real, inspeccionando la superficie 3D o usando el solver de equilibrio interno.

Resultados calculados

Curva de interacción

Componente fija (N , M_z o M_y)
Frontera de resistencia 2D cerrada
Modo envolvente (mín/máx)

Verificación visual

Puntos de carga sobre el diagrama
Verde (seguro) / Rojo (falla) /
Gris (incierto)

Exportaciones

PDF: curva 2D + cargas representadas
XLS: coordenadas de la curva
TXT: resultados tabulares (columnas)

Sección octogonal (Eurocode 2)

Datos de entrada

La geometría de la sección, la armadura y las leyes de material son idénticas a las utilizadas en los artículos #4-6:

Hormigón

- Sección transversal octogonal
- $b_1 = 2.00$ m, $b_2 = 0.50$ m
- $h_1 = 1.00$ m, $h_2 = 0.60$ m

Armadura

- 48 barras, separación uniforme de 150 mm
- Diámetro $\varphi = 32$ mm, recubrimiento 50 mm

Leyes de material (EC2)

- Hormigón C30/37: $f_{ck} = 30$ MPa
- Acero B500B: $f_{yk} = 500$ MPa

The screenshot shows a software interface for defining an octagonal solid section. It includes input fields for concrete properties (Width b1, Width b2, Height h1, Height h2) and reinforcement properties (Bar spacing, Bar diameter, Concrete cover, Layers). There are 'Submit' and 'Infos' buttons and a diagram of the octagonal section with reinforcement dots.

Figura 1: Sección transversal octogonal.

Curvas de interacción

La primera curva muestra la capacidad de flexión biaxial con axil nulo ($N = 0$) en el estado límite de servicio (ELS-C), mientras que la segunda muestra la interacción clásica axil-flexión con momento fuera del plano nulo ($M_y = 0$) en el estado límite último (ELU-F).

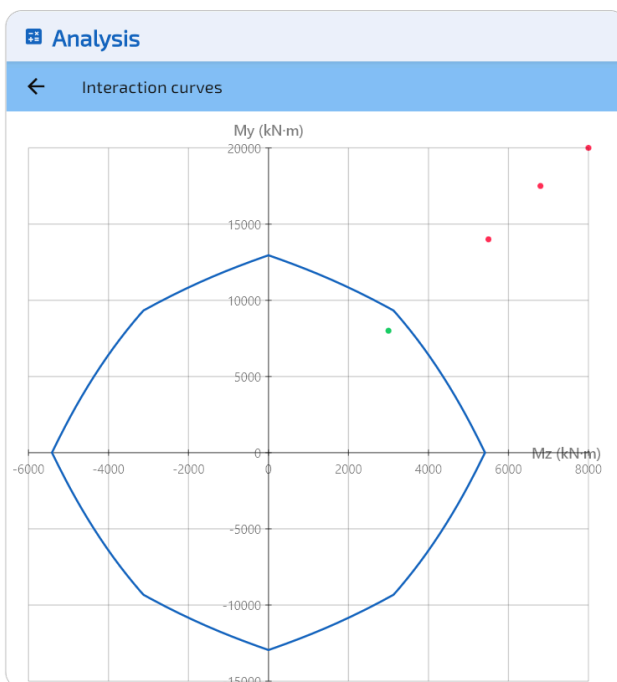


Figura 2: Servicio (característica): M_z - M_y con $N = 0$.

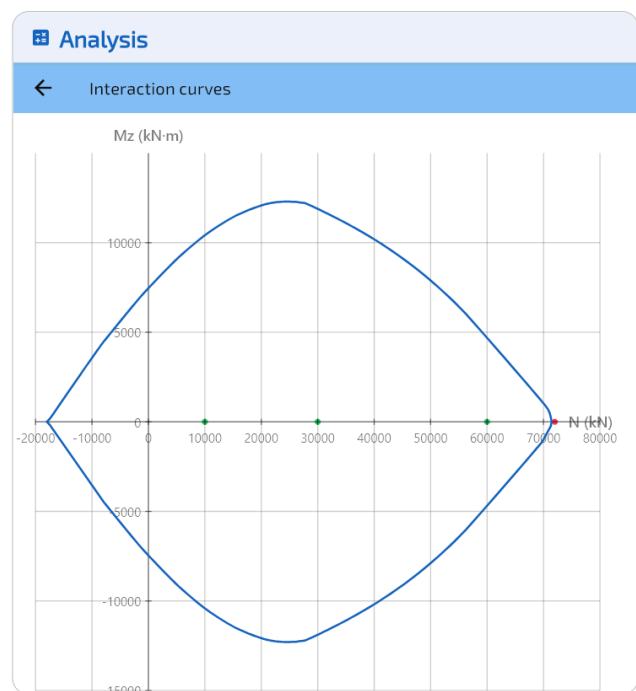


Figura 3: Último (fundamental): N - M_z con $M_y = 0$.

Las 30 combinaciones de carga son las mismas que en el artículo de distancias (15 ELU-F, 15 ELS-C). Todas las cargas en verde tenían $\eta < 1$ en el análisis 3D, y todas las cargas en rojo tenían $\eta > 1$: las curvas 2D son totalmente coherentes con los resultados de distancias 3D.

Modo envolvente

El modo envolvente requiere que los valores de la componente fija de todas las combinaciones estén dentro del dominio de resistencia. Algunas de las 30 cargas originales lo superan: la carga #4 en ELU-F tiene $N = 72000$ kN frente a una resistencia axial de 70700 kN. Por ello se emplea aquí un conjunto reducido de cargas internas.

Las dos figuras muestran la envolvente para ELS (N fija, plano M_z-M_y) y ELU (M_y fija, plano $N-M_z$). Cada envolvente consta de una curva al valor mínimo y otra al valor máximo de la componente fija.

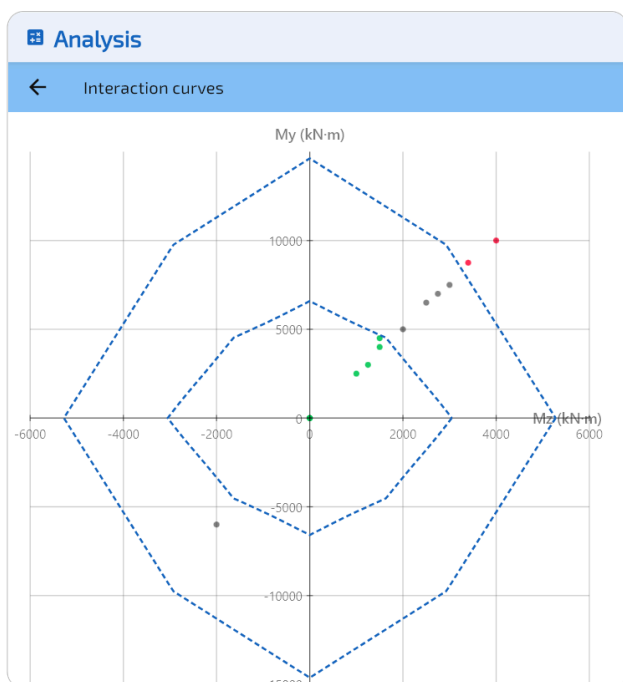


Figura 4: Servicio: envolvente sobre N .

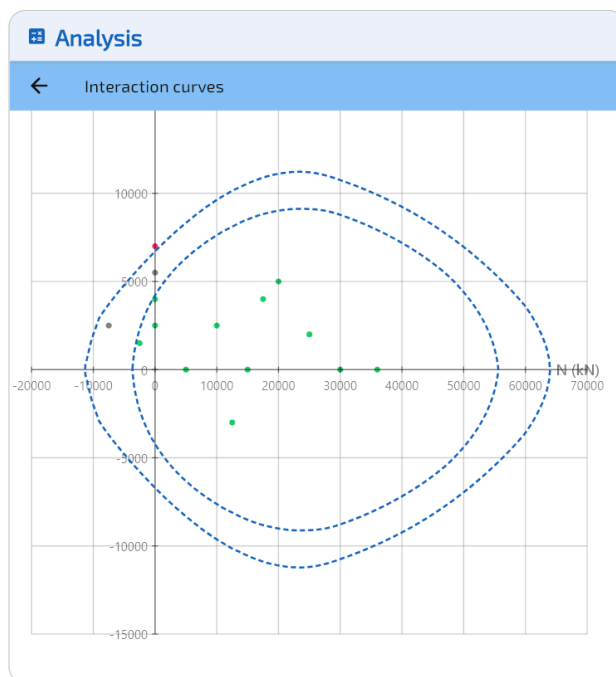


Figura 5: Último: envolvente sobre M_y .

Los marcadores verdes caen dentro de ambas curvas: verificados seguros en ambos extremos de la componente fija. Los marcadores rojos caen fuera de ambas curvas: superan la capacidad en ambos extremos. Los marcadores grises quedan entre las dos curvas: dentro del dominio en un extremo pero no en el otro. Su estado es ambiguo; el ingeniero debe verificarlos con el modo de componente fija, la superficie 3D o el solver de equilibrio interno.

Sección elíptica (ACI 318)

Datos de entrada

Hormigón

- Sección transversal elíptica
- Ancho = 3.00 m, Altura = 2.00 m

Armadura

- 40 barras a lo largo del perímetro
- Diámetro $\varphi = 40$ mm, recubrimiento 50 mm

Leyes de material (ACI 318)

- Hormigón: $f'_c = 30$ MPa
- Acero: $f_y = 500$ MPa

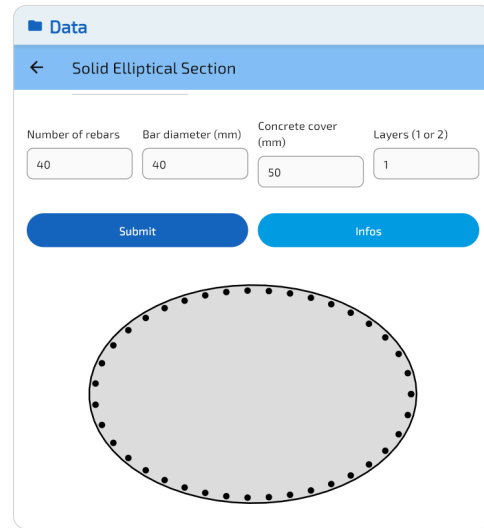


Figura 6: Sección transversal elíptica.

Curvas de interacción

La primera curva muestra la capacidad de flexión biaxial con axil nulo ($N = 0$) en el estado límite de servicio, mientras que la segunda muestra la interacción axil-flexión con $M_y = 0$ en el estado límite último. El bloque de tensiones de Whitney y los factores φ se aplican de forma nativa a la curva última.

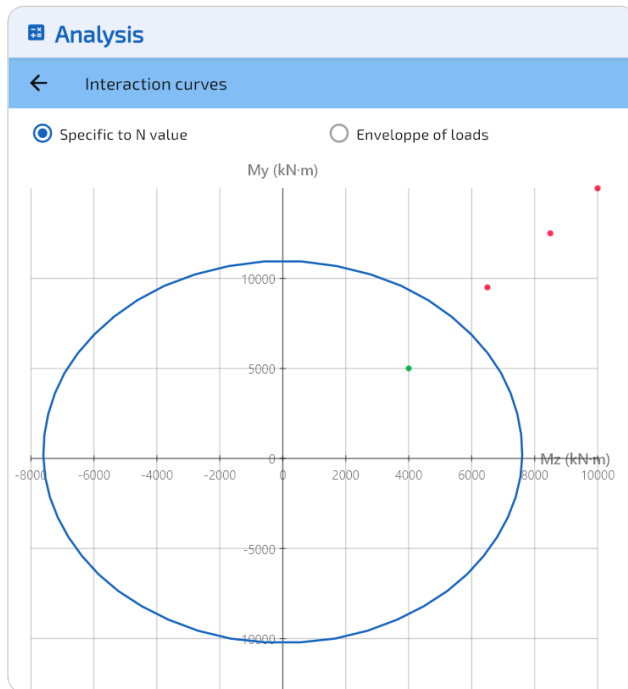


Figura 7: Servicio: M_z - M_y con $N = 0$.

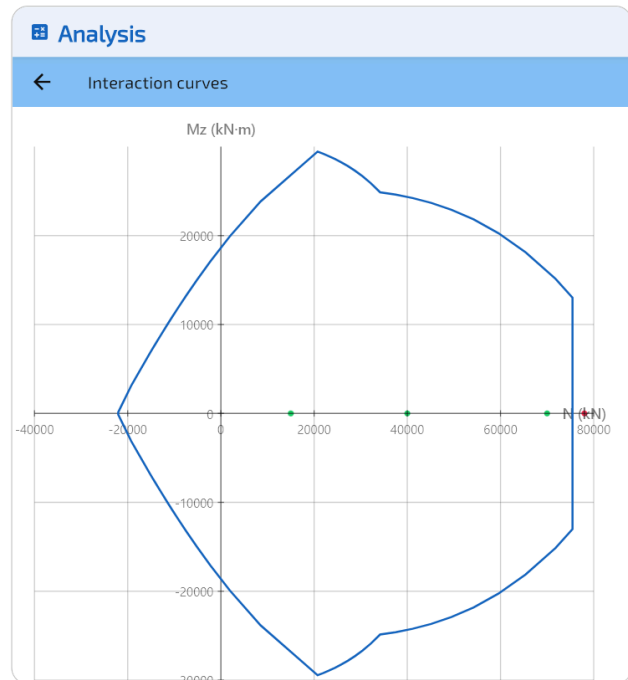


Figura 8: Último: N - M_z con $M_y = 0$ (Whitney).

La curva última (derecha) refleja la formulación del bloque de Whitney según ACI 318. La compresión máxima está limitada a $\varphi P_{n,max}$: frontera vertical plana donde la curva se detiene abruptamente, expresión de la reducción máxima de carga axial ($\varphi_c \times 0.80$ para pilares con cercos). La transición

entre la zona controlada por tracción ($\varphi = 0.90$) y la controlada por compresión ($\varphi = 0.65$) se aprecia como un cambio de curvatura cerca del punto equilibrado. La curva de servicio (izquierda) emplea leyes elásticas lineales sin factores de reducción, produciendo una forma suave y simétrica.

Modo envolvente

Se utiliza el mismo conjunto reducido de cargas. La envolvente calcula dos curvas a los valores mínimo y máximo de la componente fija: N para el contorno M_z - M_y (servicio) y M_y para el contorno N - M_z (último, Whitney). Se aplica la misma clasificación de tres colores.

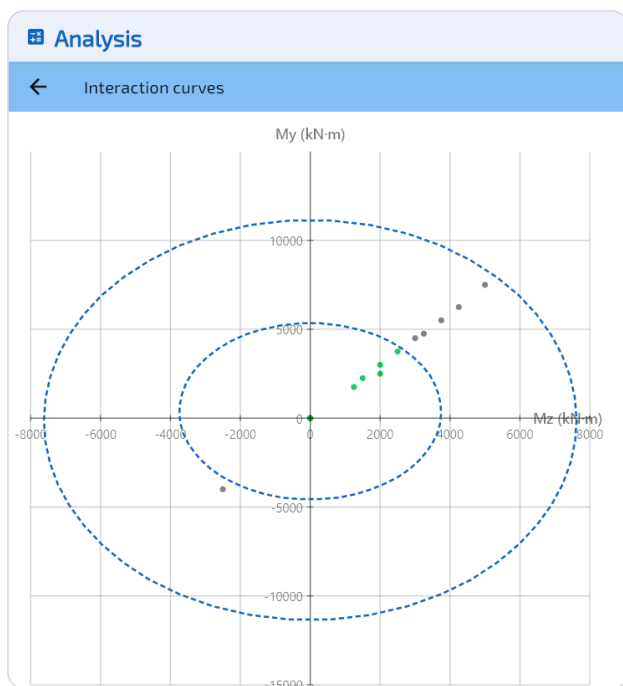


Figura 9: Servicio: envolvente sobre N .

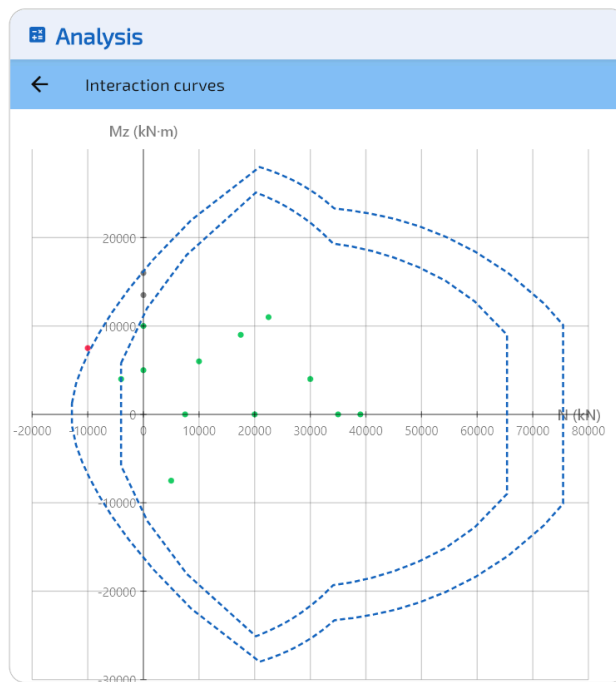


Figura 10: Último: envolvente sobre M_y (Whitney).

Rendimiento de cálculo

El tiempo de cálculo depende de la resolución de malla. Las resoluciones más altas producen curvas más suaves a costa de mayor tiempo. La tabla muestra el tiempo total (mediana de 3 ejecuciones) para ambas secciones.

Resolución de malla	Octogonal EC2 (ms)	Elíptica ACI (ms)
51×50	8.5	6.5
101×100	11.0	7.0
201×200	14.5	9.0

Todos los cálculos se completan en menos de 15 ms incluso a la resolución más alta, lo que hace que las curvas de interacción sean prácticamente instantáneas para el ingeniero.

Conclusión

Las curvas de interacción 2D proporcionan los diagramas de ingeniería clásicos que complementan la superficie 3D:

- Las cargas representadas sobre la curva muestran de inmediato cuáles son seguras (verde) y cuáles superan la capacidad (rojo), sin necesidad de calcular factores de seguridad numéricos.
- La clasificación Interior/Exterior obtenida en la evaluación de distancias 3D es totalmente coherente con la posición en la curva 2D.
- Las curvas 2D para ACI 318 se calculan con el bloque de Whitney y los factores ϕ de forma nativa.
- El modo envolvente valida múltiples casos de carga con diferentes valores de la componente fija en una única figura, utilizando la clasificación de tres colores (verde/gris/rojo).
- Las curvas se generan en milisegundos, incluso a resoluciones de malla elevadas.

El módulo de curvas de interacción no calcula actualmente un factor de seguridad numérico (η) para cada carga: esto lo proporciona el módulo de distancias (artículo #5). Una versión futura podrá combinar ambos: la curva 2D visual con los valores η por carga anotados directamente sobre el diagrama.

Exportación

SectionPro exporta las curvas de interacción en formatos PDF, TXT y XLS. El informe PDF incluye la curva 2D con los puntos de carga representados y una tabla de resultados adjunta.

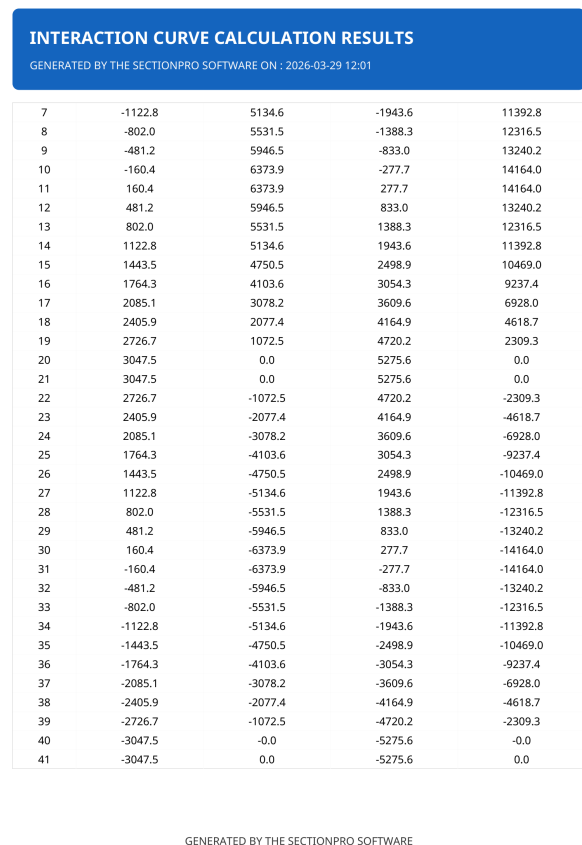
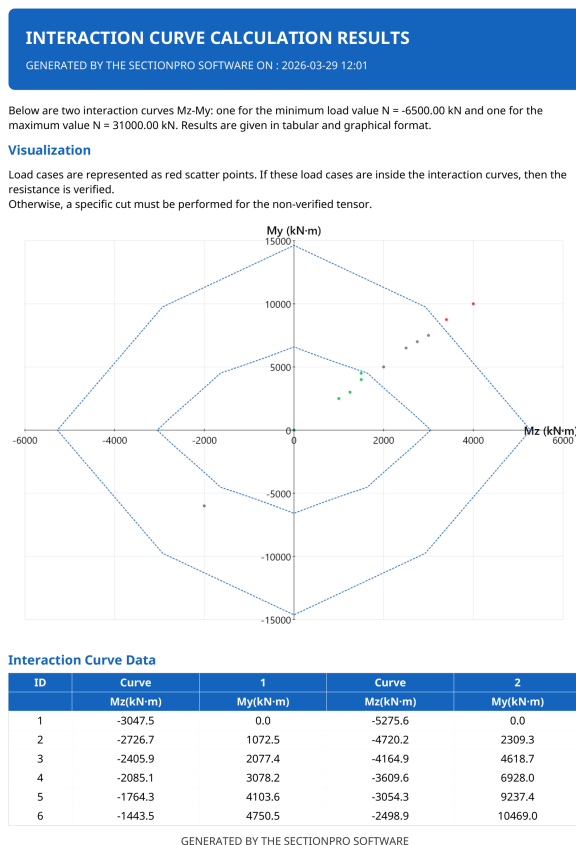


Figura 11: Exportación PDF, página 1: curva de interacción con cargas.

Figura 12: Exportación PDF, página 2: coordenadas de la curva.