

New



Sika® CarboDur®

FRP strengthenings of reinforced concrete elements

MANUAL DEL USUARIO - SOFTWARE SIKA® CARBODUR® BASADO EN TR 55 Y EC2

ENERO 2026 V. 1.0 / SIKA S.A.U. / SULEIMAN MESTO

REFURBISHMENT

INDICE

1	INTRODUCCIÓN	3
2	ANTECEDENTES TEORICOS	3
2.1	CONSIDERACIONES GENERALES DE DISEÑO	3
2.1.1	FACTORES PARCIALES QUE COMPONEN LAS FRP (TR55, §5.6.3, §5.6.4 AND §5.6.5)	3
2.1.2	LIMITES DE REFUERZO (TR55, §6.2.2)	4
2.1.3	DISEÑO DE FRP EN CASO DE INCENDIO (TR55, §5.7.1)	5
2.2	REFUERZO A FLEXIÓN	6
2.2.1	LÍMITES DE REFUERZO	8
2.2.2	SERVICIO (TR55, §6.9)	8
2.3	REFUERZO A CORTANTE	9
2.3.1	LIMITES DE REFUERZO	13
2.4	CONFINAMIENTO DE PILAR	13
2.4.1	LIMITES DEL REFUERZO	14
2.4.2	CONDICIONES EN SERVICIO (TR55, SECCIÓN §8.8)	14
3	USO DEL SOFTWARE SIKA® CARBODUR®	15
3.1	INTRODUCCIÓN	15
3.2	REGISTRO	15
3.3	PÁGINA DE INICIO	17
3.4	INFORMACIÓN GENERAL	20
3.5	CONFINAMIENTO DE PILAR	23
3.5.1	HORMIGÓN	23
3.5.2	ACERO	24
3.5.3	SECCIÓN DE LA COLUMNA	24
3.5.4	CARGAS	25
3.5.5	REFUERZO	26
3.5.6	RESISTENCIA AL FUEGO	27
3.5.7	INFORME	28
3.6	REFUERZO FLEXIONAL DE SECCIÓN	29
3.6.1	HORMIGÓN	29
3.6.2	ACERO	30
3.6.3	SECCIÓN TRANSVERSAL	30
3.6.4	CARGA	31
3.6.5	REFUERZO	33
3.6.6	INCENDIO	35
3.6.7	INFORME	36
3.7	REFUERZOS A CORTANTE DE SECCIÓN	37
3.7.1	HORMIGÓN	37
3.7.2	ACERO	37
3.7.3	SECCIÓN DE LA VIGA	38
3.7.4	CARGAS	38
3.7.5	REFUERZO	39
3.7.6	INCENDIO	41
3.7.7	INFORME	42
4	NOTAS LEGALES	43

1 INTRODUCCIÓN

El objetivo de este software es ayudar al usuario a dimensionar los elementos de CFRP requeridos para proporcionar (a) refuerzo frente a esfuerzos de flexión, (b) refuerzo frente a esfuerzos cortantes y (c) confinamiento de pilar. Estos tres temas se analizan en los siguientes apartados, que presentan la base teórica de los cálculos.

Los procedimientos de cálculo utilizados en este programa se basan en el Informe Técnico N° 55 de La Sociedad de Hormigón, tercera edición (2012): "Diseño de guías para el refuerzo de estructuras de hormigón utilizando materiales compuestos de fibra".

Los métodos de cálculos adicionales y auxiliares se toman de los siguientes documentos: Eurocode 2: Design of concrete structures.

- Eurocódigo 2: Diseño de estructuras de hormigón.
- Informe de la EMPA 116/7.

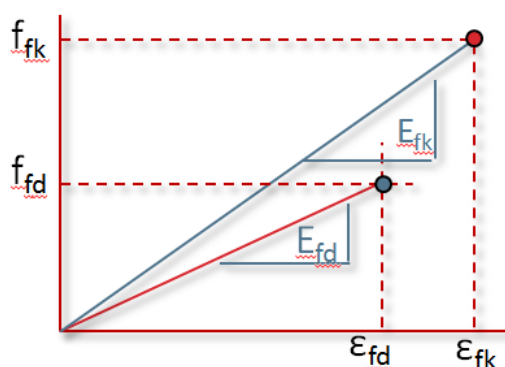
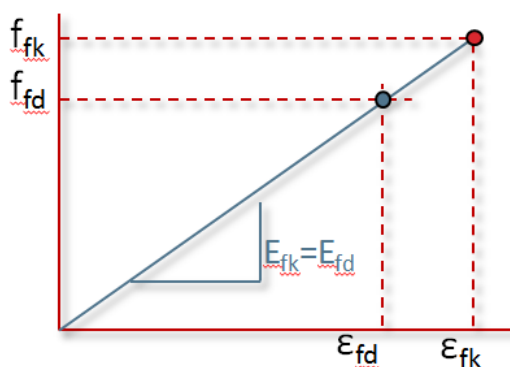
2 ANTECEDENTES TEORICOS

2.1 CONSIDERACIONES GENERALES DE DISEÑO

2.1.1 FACTORES PARCIALES QUE COMPONEN LAS FRP (TR55, §5.6.3, §5.6.4 AND §5.6.5)

El TR55 tiene en cuenta una combinación de coeficientes de seguridad según los siguientes parámetros, que se aplican sobre los valores característicos para determinar los valores de diseño. La determinación de los coeficientes de seguridad se basa en las siguientes cuestiones:

- Tipo de material de FRP: Tabla 1 & 3
- Tipo de sistema de FRP: método de aplicación/ fabricación: Tabla 2



Enfoque existente en otras directrices de las FRP: Los valores de diseño a adoptar en los cálculos se refieren a la resistencia y deformación última del FRP. Sin embargo, la característica o valor medio se toma como módulo-E de diseño.

Enfoque TR55: a diferencia de otras directrices de FRP existentes, los coeficientes de seguridad no sólo limitan la resistencia y la deformación última final para el diseño, sino que también conduce a un módulo-E de diseño reducido.

Los coeficientes de seguridad pueden tomarse las siguientes tablas:

TABLA 1

Factor de seguridad para el módulo de Young en el estado límite ultimo (todas las situaciones de diseño), $\gamma_{FRP,E}$

FRP de Carbono	1.1
FRP de Aramida	1.1
FRP de Fibra de Vidrio E	1.6

FRP de Fibra de Vidrio - AR	1.8
FRP de Basalto	1.8

TABLA 2

Factor de seguridad parcial adicional según el método de fabricación/ aplicación, $\gamma_{FRP,m}$	
Laminados	
Pultrusionados	1.05
Preimpregnados	1.05
Preconformados	1.1
Tejidos	
Aplicación controlada por maquina	1.05
Aplicación al vacío	1.1
Aplicación en húmedo	1.2
Prefabricado	
Cordones	1.05
Moldes de resina	1.1
Aplicación manual	1.2
Aplicación por proyección	1.5

TABLA 3

Factor de seguridad parcial adicional para la deformación en el estado último, $\gamma_{FRP,\epsilon}$	
FRP de Carbono	1.25
FRP de Aramida	1.35
FRP de Fibra de Vidrio E	1.85
FRP de Fibra de Vidrio - AR	1.95
FRP de Basalto	1.95

Mediante la aplicación de los coeficientes de seguridad apropiados, los valores de diseño para el FRP se determinan como:

Ecuaciones de TR55

$$E_{fd} = \frac{E_{fk}}{\gamma_{FRP,mE}} = \frac{E_{fk}}{\gamma_{FRP,E} \gamma_{FRP,m}} \quad (2.1.a)$$

donde E_{fd} es el módulo-E de diseño del FRP y E_{fk} es su valor característico,

$$\epsilon_{fd} = \frac{\epsilon_{fk}}{\gamma_{FRP,m\epsilon}} = \frac{\epsilon_{fk}}{\gamma_{FRP,\epsilon} \gamma_{FRP,m}} \quad (2.1.b)$$

donde ϵ_{fd} es la deformación última del diseño del FRP y ϵ_{fk} es su valor característico, por lo tanto, la resistencia de diseño f_{fd} se calcula como:

$$f_{fd} = E_{fd} \cdot \epsilon_{fd} \quad (2.1.c)$$

2.1.2 LÍMITES DE REFUERZO (TR55, §6.2.2)

Antes del refuerzo, el proyectista debe evaluar el posible efecto de una pérdida accidental del refuerzo resultante de un accidente, impacto, etc. De esta manera, el fallo del refuerzo no conducirá a un fallo de la estructura.

Debido a esto, el refuerzo se tendrá en cuenta únicamente el caso de que la resistencia última del elemento no reforzado (existente) en una situación accidental, tal como se define en el Eurocódigo 2, Parte 1-1, sección 2.4.2.4 sea igual o superior a la combinación frecuente de acciones, tal como se indica en el Eurocódigo 0, secciones

A.1.4.1 y A.1.4.2. Esta verificación limita efectivamente las nuevas cargas adicionales que puede asumir el elemento reforzado, independientemente del rendimiento del sistema FRP.

$$R_d \geq E_d \quad (2.1.d)$$

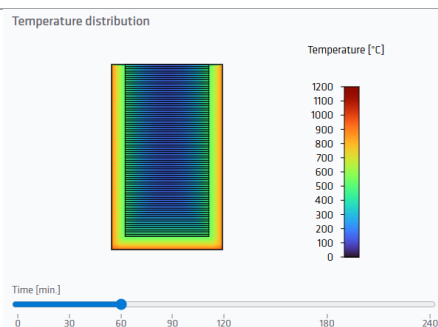
2.1.3 DISEÑO DE FRP EN CASO DE INCENDIO (TR55, §5.7.1)

Un incendio representa una situación accidental que implica condiciones de diseño excepcionales para la estructura y las cargas actuantes. En caso de incendio, el CFRP sin protector perderá su eficacia debido a la presencia de altas temperaturas. Por lo tanto, el elemento no reforzado estará sujeto a una determinada combinación de cargas de diseño reducidas, tales como la combinación cuasi-permanente de cargas de servicio, como se indica en el *Eurocódigo 1, Parte 1-2: Acciones generales - Acciones en estructuras expuestas al fuego, sección 4.3.1*.

El software incluye un análisis preliminar de la resistencia del elemento no reforzado en caso de incendio. La resistencia a la rotura de la pieza se determina de acuerdo con la resistencia real del hormigón y el acero, suponiendo un coeficiente parcial para estos materiales $\gamma_{f,i} = 1$ (*Eurocódigo 2, Parte 1-2: Reglas generales - diseño estructural contra incendios, la sección 2.3*), y deberá ser superior a la combinación de cargas bajo un escenario de incendio (*Eurocódigo 1, Parte 1-2: acciones generales - acciones en estructuras expuestas al fuego, sección 4.3.1*).

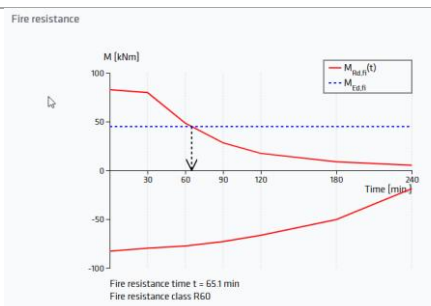
$$R_{d,fi} \geq E_{d,fi} \quad (2.1.e)$$

Bajo esta condición, el CFRP no sería necesario en caso de incendio, por lo que no requiere protección contra incendio. Sin embargo, se puede requerir una cierta protección para el elemento reforzado para lograr una calificación de fuego necesaria. El software también incluye un cálculo detallado opcional que permite determinar la resistencia al fuego del elemento de hormigón original sin la contribución del FRP, de acuerdo con los perfiles de temperatura de las losas, vigas y pilares y el método Isotherm 500 (*Eurocódigo 2, Parte 1-2: Normas generales - Diseño de incendios estructurales, anexo A y anexo B*).



En caso de incendio, la sección del elemento se calentará progresivamente. Debido a esto, se producirán diferentes gradientes de temperatura en la sección, lo que conducirá a una reducción del rendimiento mecánico del hormigón y de las barras de refuerzo de acero.

El método Isotherm 500 es un método simplificado y no tabulado que no tiene en cuenta la contribución mecánica de la sección de hormigón que presenta una temperatura superior a 500°C.



Esta nueva sección efectiva -de menor tamaño desarrolla una resistencia reducida, que debe superar la combinación de cargas en caso de incendio. La clasificación de fuego del elemento corresponde al período de tiempo en el que se cumple esta condición.

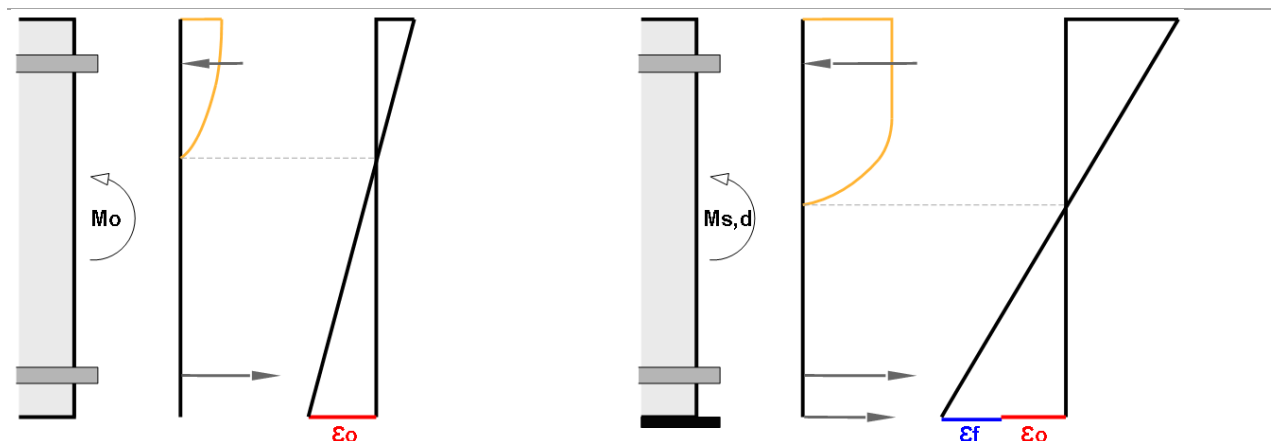
El software Sika® CarboDur® evalúa la resistencia del elemento no reforzado en caso de incendio, calculando los rangos de temperatura previstos en la sección de hormigón y la resistencia al fuego real según las cargas de incendio, como se muestra en la sección 5.7.1 del TR55.

2.2 REFUERZO A FLEXIÓN

Los elementos de hormigón armado, como vigas, columnas y pilares, pueden ser reforzados a flexión mediante el uso de compuestos de FRP unidos con un adhesivo epoxi a sus zonas traccionadas, con la dirección de las fibras paralelas al eje del elemento. Los cálculos descritos a continuación se refieren tanto al ELU (Estado límite ultimo) como al ELS (Estado límite de servicio).

Para los elementos reforzados a flexión, deben ser considerados los siguientes aspectos:

- Determinación de la deformación de la sección bajo flexión en el momento del refuerzo, teniendo en cuenta los efectos de la fluencia en el módulo-E del hormigón. El software establece el módulo-E para esta verificación como $\frac{E_{cm}}{1+\varphi_{ef}}$, donde φ_{ef} es el coeficiente de fluencia efectivo.



Determinación de la deformación inicial en extremo de la fibra (izquierda), y su influencia en el elemento reforzado (derecha)

- Se debe garantizar la compatibilidad de las deformaciones y el equilibrio de fuerzas en la sección reforzada, considerando la deformación existente de las fibras extremas del hormigón en el momento del refuerzo, ε_0

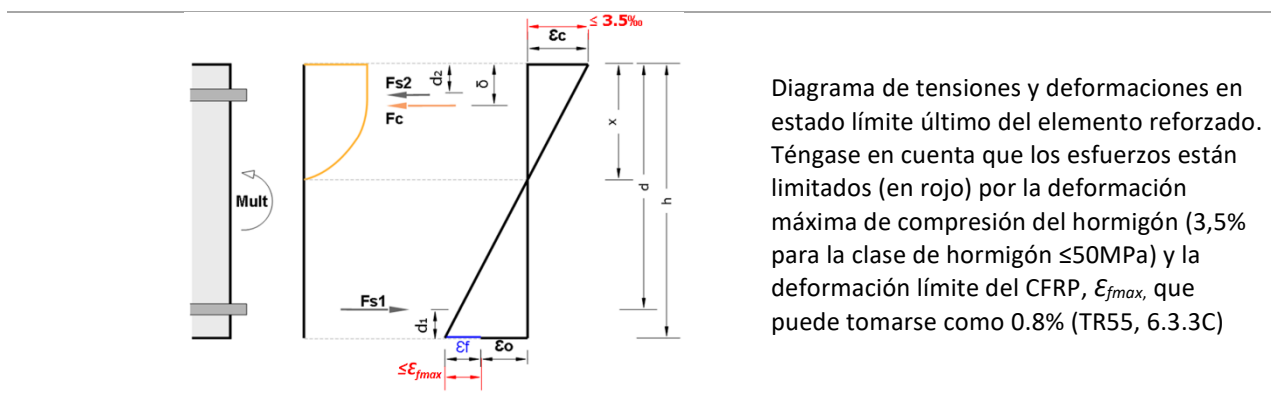


Diagrama de tensiones y deformaciones en estado límite último del elemento reforzado. Téngase en cuenta que los esfuerzos están limitados (en rojo) por la deformación máxima de compresión del hormigón (3,5‰ para la clase de hormigón $\leq 50\text{MPa}$) y la deformación límite del CFRP, ε_{fmax} , que puede tomarse como 0.8% (TR55, 6.3.3C)

- La resistencia última de la sección reforzada puede ser limitada por la rotura del hormigón a compresión (correspondiente a la deformación del 0,35‰) o el despegue del laminado CFRP (inducido por un esfuerzo cortante longitudinal excesivo a lo largo del FRP, o un anclaje insuficiente del laminado en el extremo). En el caso de aplicaciones de NSM, se deben evaluar mecanismos de fallo adicionales (por ejemplo, fallo de despegue del adhesivo o arrancamiento del hormigón de recubrimiento de las armaduras).
- Ductilidad del elemento reforzado.

- Cumplimiento de los límites de tensión para los diferentes materiales (hormigón, acero y FRP) bajo los estados límite de servicio pertinentes.

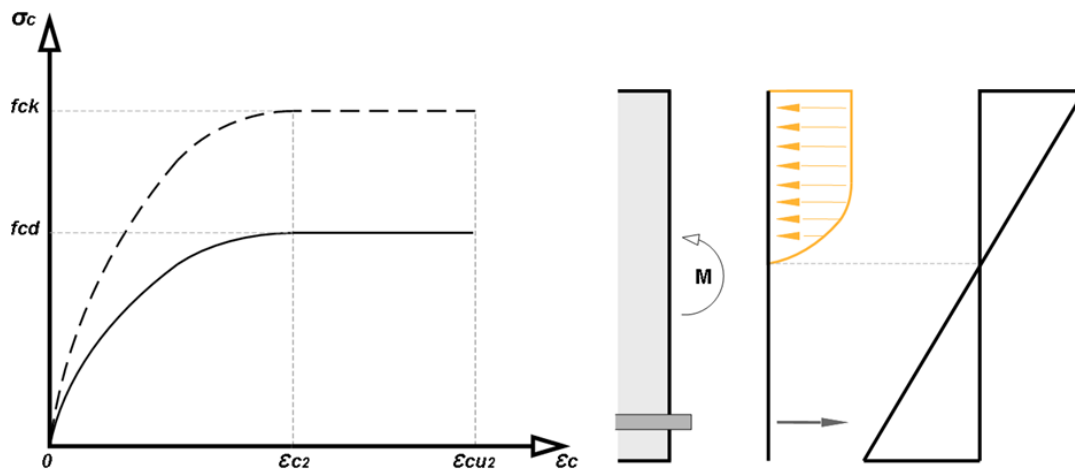
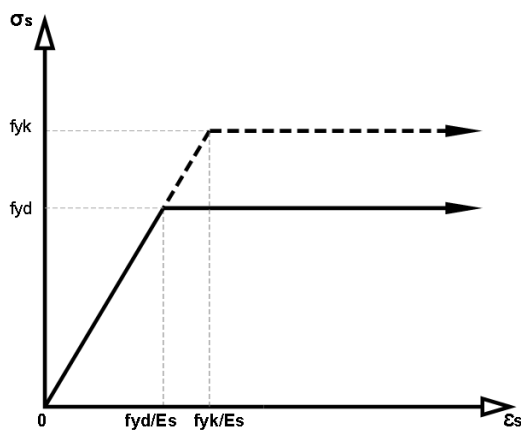


Diagrama parábola-rectángulo para hormigón bajo compresión (izquierda) y sección de una viga bajo flexión (derecha)

Los elementos de hormigón armado, tales como vigas, losas y pilares, pueden ser reforzados a flexión mediante el uso de compuestos de FRP unidos con adhesivos de epoxi estructurales en sus zonas de tracción, con la dirección de las fibras paralelas a la dirección de mayores tensiones (eje del elemento).



Simplified design stress-strain diagram for reinforcing steel (tension and compression)

De cara al diseño, el software utiliza el método parábola-rectángulo para determinar la relación entre la tensión de compresión y deformación del hormigón a lo largo de la altura de la sección. La resistencia de diseño del hormigón se determina como:

$$f_{cd} = \frac{\alpha_{cc} f_{ck}}{\gamma_c} \quad (2.2.a)$$

Donde γ_c es el coeficiente parcial para el hormigón, α_{cc} es el coeficiente que tiene en cuenta los efectos a largo plazo sobre la resistencia a compresión, según el Eurocódigo 2.

Los valores de diseño para el acero son los valores característicos, f_{yk} . En el caso de las comprobaciones de los ELU, el software utiliza un diagrama bilineal simplificado, con una rama horizontal que se extiende desde el punto donde se obtiene f_{yd} .

$$\sigma_s = E_s \epsilon_s \quad (2.2.b)$$

Para el diseño, el valor del módulo de elasticidad, E_s , será de 200 GPa como predeterminado.

El cálculo del refuerzo de FRP a flexión, sigue los principios expuestos en el Eurocódigo 2 y TR55 (2012), Sección 6, con la siguiente modificación:

- En el caso de laminados Sika® CarboDur® S postensados, la deformación máxima efectiva para el laminado CFRP se limitará al 1.26% (valor validado experimentalmente para el sistema Sika® CarboStress system)

$$\varepsilon_{fd,postensioned} \leq 1.26\%$$

2.2.1 LÍMITES DE REFUERZO

Consulte la sección 2.1.2.

2.2.2 SERVICIO (TR55, §6.9)

Rotura por fatiga:

Bajo la combinación característica de acciones, el nivel máximo de tensión en el laminado no debe exceder de los valores obtenidos en las siguientes expresiones:

Tensión máxima en FRP bajo cargas de servicio, con respecto a la resistencia de diseño.

FRP de Carbono	$65\% \times f_{fd}$
FRP de Aramida	$40\% \times f_{fd}$
FRP de Fibra de Vidrio	$45\% \times f_{fd}$
FRP de Basalto	$35\% \times f_{fd}$

Refuerzo bajo cargas dinámicas:

Si se espera que el endurecimiento del adhesivo ocurra bajo cargas dinámicas, el rendimiento del adhesivo puede verse afectado (TR55, 6.9.4). En estas circunstancias, si la fuerza de adherencia reducida es menor que la resistencia a la tracción axial del hormigón, entonces la existencia de cargas vivas durante el curado del adhesivo debe estar restringidas.

Deformación bajo el efecto de cargas vivas en la interfaz FRP-Hormigón durante el curado (10^{-6})	Reducción de la resistencia a la tracción del adhesivo
20	10%
50	12%
100	16%
150	22%
200	32%

Elementos de hormigón armado (Eurocódigo 2, Parte 1-1, apartado 7.2):

La tensión de tracción efectiva del acero del elemento reforzado con FRP bajo la combinación característica de cargas se limita a:

$$\begin{aligned} &\leq 0.80 f_{yk} \text{ en caso de acero pasivo} \\ &\leq 0.75 f_{pk} \text{ en caso de acero pretensado} \end{aligned}$$

La tensión de compresión en el hormigón (de un elemento reforzado con FRP) bajo la combinación cuasi-permanente de cargas se debe limitar a $0.45 f_{ck}$ cuando el elemento estructural está expuesto a cloruros o ciclos hielo/deshielo.

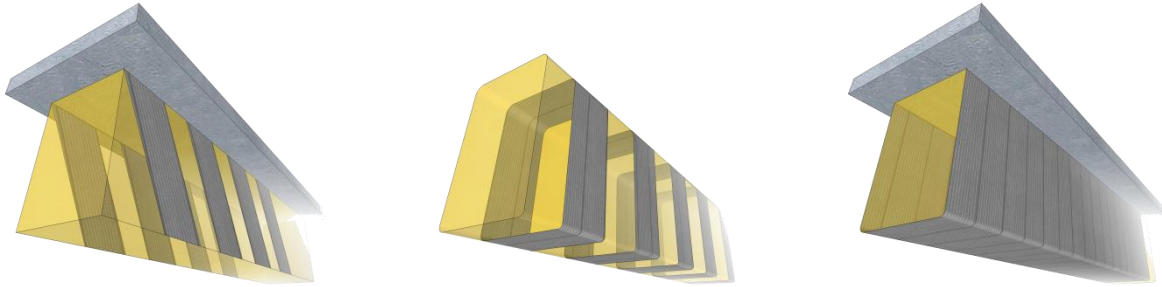
Laminados postensados CFRP:

La deformación efectiva para el laminado CFRP bajo cargas de servicio se limitará al 0,92% (valor validado experimentalmente para el sistema Sika® CarboStress).

2.3 REFUERZO A CORTANTE

El refuerzo a cortante de elementos de hormigón armado que utilizan FRP se produce mediante la adhesión de un refuerzo externo con la dirección de las fibras principales dispuestas lo más paralelo posible a los esfuerzos máximos principales, de manera que se maximice la efectividad del FRP. Para el caso más común de elementos estructurales sometidos a cargas verticales, las principales trayectorias de tensiones máximas en las zonas de cortante crítico forman un ángulo con el eje del elemento que puede ser aproximadamente igual a 45° . En estas ocasiones suele ser habitual aplicar el refuerzo a ambos lados de la viga.

Sin embargo, para esquemas de refuerzo que envuelven al elemento en forma de U, normalmente es más práctico disponer el refuerzo de FRP con su fibra principal lo más perpendicular posible a la dirección de la viga.



Las vueltas completas o las tiras debidamente ancladas son siempre preferibles en comparación con las vueltas en U, ya que en este último caso podría desprenderse el refuerzo de forma prematura; reduciéndose así la efectividad del FRP. La configuración a 2 caras proporciona un rendimiento menos efectivo debido al riesgo de que se despegue, y por tener la longitud efectiva más pequeña.

Para la configuración de bandas discretas, la separación máxima entre centros de bandas consecutivas está limitado al menor de:

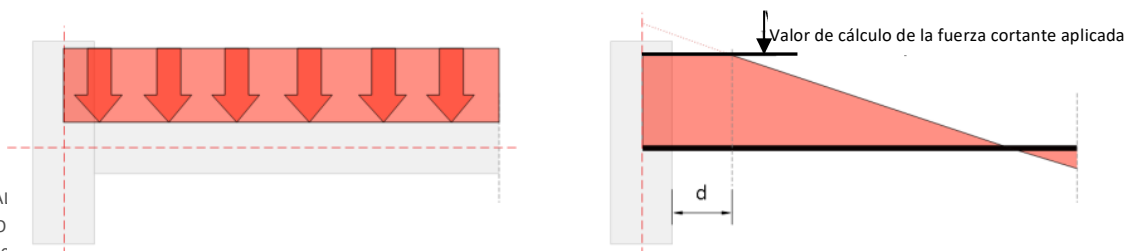
- $0.8d_f$
- $d_f - (n_s/3)l_{t,max} \cos \beta$
- $b_f + d_f/4$

Donde:

- d_f es la longitud efectiva del refuerzo de FRP frente a esfuerzos cortantes
- n_s es el factor de anclaje del refuerzo de cortante (TR55, sección 7.2.). Su valor es igual a:
 - 0 para una viga en la que el refuerzo la envuelve completamente,
 - 1.0 cuando el FRP está adherido únicamente de forma continua a los lados y al fondo de una viga (envuelta en U) y
 - 2.0 cuando está adherido únicamente a los 2 lados de una viga
- $l_{t,max}$ es la longitud máxima de anclaje para el esquema de FRP (TR55, Sección 6.3)).
- b_f es el ancho del laminado de FRP, y
- β es el ángulo entre las fibras principales del FRP y una línea perpendicular al eje longitudinal del elemento

Obsérvese que estas limitaciones impiden el uso de bandas discretas en el caso de vigas con una altura disponible limitada y/o tejidos de FRP anchos.

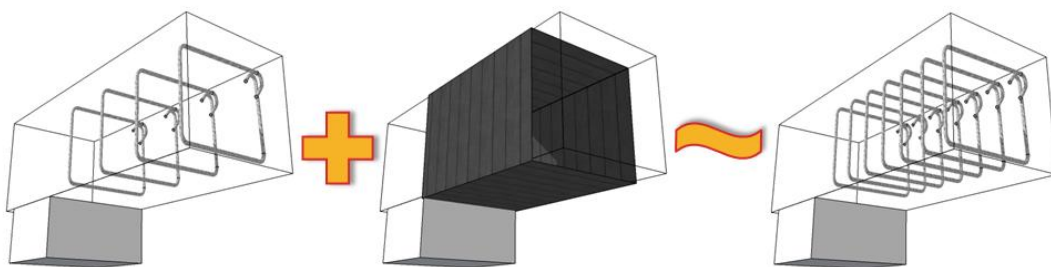
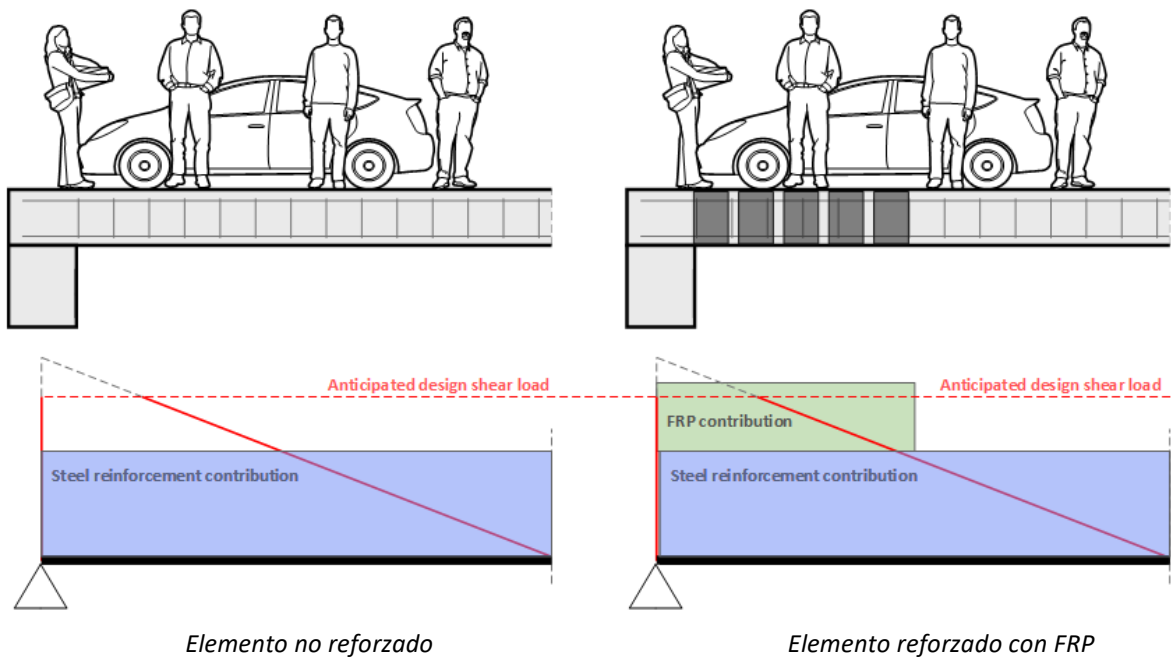
Para los elementos sometidos a cargas predominantes uniformemente distribuidas, el cálculo del esfuerzo cortante para la determinación de la sección de FRP requerido, no será necesario realizarlo a una distancia inferior a d desde la cara del soporte.



El refuerzo externo de FRP puede ser tratado análogamente al acero interno (aceptando que el FRP transmite únicamente esfuerzos normales en la dirección principal del material de FRP), asumiendo que en el estado límite último a cortante el FRP desarrolla una deformación efectiva en la dirección del material principal ϵ_{fse} que no debe exceder de:

- $\epsilon_{fd}/2$, donde ϵ_{fd} es la deformación última de diseño del FRP.
- $0.5 \sqrt{\frac{f_{ck}}{E_{fd} t_f}}$, donde E_{fd} es el módulo E de diseño del FRP y t_f es el espesor total del sistema FRP.
- 0.4%

La resistencia a cortante de la pieza reforzada se basa en la superposición de la contribución de FRP y el acero frente a esfuerzos cortantes, y la limitación de las tensiones en el acero, el hormigón y el FRP asegurando que no supera su valor de diseño.



Además, también debe comprobarse que la fuerza cortante puede ser soportada por el elemento, limitado por el fallo a compresión oblicua del hormigón (apartado 6.2.3 del Eurocódigo 2, Parte 1-1).

Según el Eurocódigo, la resistencia de una sección de hormigón es el mínimo entre la resistencia del puntal de compresión de hormigón $V_{Rd,c}$ y la resistencia máxima de la armadura interna $V_{Rd,s}$ para un ángulo determinado del puntal de compresión.

$$V_{Rd} = \min (V_{Rd,c}; V_{Rd,s})$$

El método para determinar la resistencia de diseño de una sección de hormigón armado no reforzada permite al proyectista elegir el ángulo del entramado dentro de un rango comprendido entre el límite inferior de 21.8° (cot θ = 2.5) y el máximo de 45° (cot θ = 1), con el fin de maximizar la resistencia al esfuerzo cortante hasta alcanzar un equilibrio adecuado. usando se introduce un refuerzo al cortante mediante FRP (polímeros reforzados con fibra), esto normalmente provoca un aumento del ángulo efectivo del entramado en el estado límite último (ELU). Este efecto puede modelarse aplicando el principio de superposición, considerando el efecto total como la combinación de dos sistemas de entramado: uno correspondiente a la armadura de acero, con un ángulo θ limitado entre 21.8° y 45° (i.e. $1 < \cot \theta < 2.5$), y otro asociado al FRP, con un ángulo del entramado igual a 45°. La resistencia al cortante se obtiene superponiendo ambos sistemas y limitando las tensiones en el acero, el hormigón y el FRP para garantizar que no superen sus valores de diseño. Esto es equivalente a considerar un único sistema de entramado con un ángulo θ medio ponderado entre los ángulos de los sistemas de acero y FRP.

La resistencia final al cortante del elemento reforzado se determina mediante:

$$V_{Rd,s,f} = \frac{A_{sw}}{s} z f_{ywd} \cot \theta + \frac{A_{fw}}{s_f} \left(d_f - \frac{n_s}{3} \cdot l_{t,max} \cdot \cos \beta \right) E_{fd} \varepsilon_{fse} (\sin \beta + \cos \beta) \quad (\text{eq. 7.1 TR 55})$$

donde:

- $\frac{A_{sw}}{s} z f_{ywd} \cot \theta = V_{Rd,s}$
- $\frac{A_{fw}}{s_f} \left(d_f - \frac{n_s}{3} \cdot l_{t,max} \cdot \cos \beta \right) E_{fd} \varepsilon_{fse} (\sin \beta + \cos \beta) = V_{Rd,f}$
- **A_{sw}** es el área de la sección transversal de la armadura de acero para el esfuerzo cortante;
- **s** es el espaciamiento longitudinal de los estribos de la armadura de acero para cortante;
- **z** es el brazo de palanca entre la armadura longitudinal de acero y el centroide de la zona de compresión en la sección;
- **f_{ywd}** es la resistencia de fluencia de diseño de la armadura de acero para cortante;
- **θ** es el ángulo entre el puntal de compresión del hormigón y el eje de la viga perpendicular a la fuerza cortante;
- **A_{fw}** es el área de FRP (mm²) utilizado para el refuerzo a cortante, medida perpendicularmente a la dirección de las fibras. Cuando los laminados de FRP se aplican simétricamente en ambos lados de una viga, A_{fs} es la suma de las áreas de ambos laminados;
- **s_f** corresponde al espaciamiento longitudinal de los laminados de FRP utilizados para el refuerzo a cortante (mm). Para una lámina continua de FRP, s_f se toma igual a 1.0;
- **d_f** la profundidad efectiva del refuerzo de FRP, medida desde la parte superior del refuerzo a cortante de FRP hasta la armadura de tracción de acero (mm);
- **n_s** es 0 para una viga completamente envuelta, 1,0 cuando el FRP está adherido de forma continua a los laterales y a la parte inferior de la viga (envoltura en U) y 2,0 cuando está adherido solo a los laterales de la viga;
- **l_{t,max}** es la longitud de anclaje necesaria para desarrollar la capacidad de anclaje total;
- **β** es el ángulo entre las fibras principales del FRP y una línea perpendicular al eje longitudinal del elemento. β es positivo cuando las fibras principales del FRP están giradas respecto a la dirección en la que se formará una fisura de cortante;
- **E_{fd}** es el módulo de tracción de diseño del laminado de FRP (MPa);
- **ε_{fse}** es la deformación efectiva del FRP utilizada para el refuerzo a cortante;
- **b_f** es el ancho del laminado de FRP (mm), medido perpendicularmente a la dirección de las fibras. Para una lámina continua de FRP, b_f se toma igual a cos β ;
- **t_f** es el espesor del laminado de FRP (mm).

Esto significa que la contribución adicional del FRP ($V_{Rd,f}$) no siempre se suma de forma aritmética a la resistencia original al cortante de la sección no reforzada, ya que la adición del FRP puede modificar el ángulo del entramado θ haciéndolo más pronunciado y reduciendo el valor de $V_{Rd,s}$.

La resistencia al cortante del elemento reforzado se determina como: $V_{Rd} = \min (V_{Rd,c}; V_{Rd,s} + V_{Rd,f})$

Además, el software Sika CarboDur® también puede calcular otras operaciones de refuerzo que no se basan en bandas de FRP:



Refuerzo de FRP introducidos en la superficie.

Las barras NSM se introducen en ranuras realizadas en los laterales de la viga reforzando así ésta frente a esfuerzos cortantes.

Para ello, se puede realizar una aproximación combinando las barras de acero (asumiendo la armadura con un ángulo variable) y las barras NSM (colocadas en la armadura a 45°). Encontraremos información adicional en TR55, Sección 7.5.

2.3.1 LÍMITES DE REFUERZO

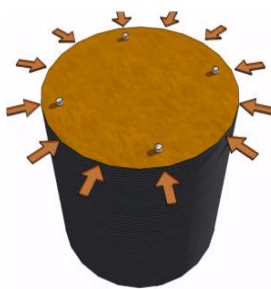
Consulte la sección 2.1.2.

2.4 CONFINAMIENTO DE PILAR

Los principales objetivos del confinamiento son:

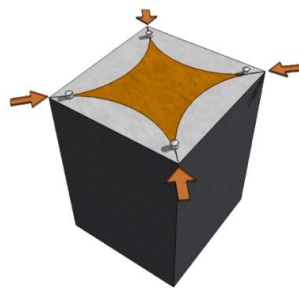
- mejorar la resistencia del hormigón y su capacidad de deformación,
- proporcionar un soporte lateral al refuerzo longitudinal y
- evitar el desprendimiento del recubrimiento de hormigón.

Para lograr estos objetivos, en pilares circulares se empleará una envolvente externa de FRP. En el caso de pilares rectangulares, el confinamiento se solventará con las fibras dispuestas manteniendo la forma del pilar, redondeando las esquinas antes de la aplicación. Nótese que el refuerzo de confinamiento en pilares rectangulares es menos efectivo ya que la acción del confinamiento está localizada principalmente en las esquinas y se necesita usar un grosor significativo de tejido de refuerzo para restringir el movimiento lateral de las esquinas.



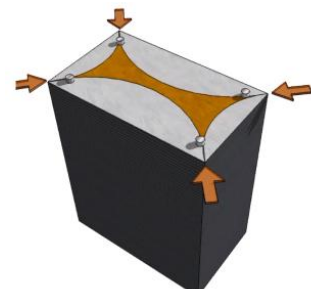
Pilares circulares

La sección del hormigón de confinamiento efectivo por el tejido de FRP colocado externamente será igual a la sección original del elemento estructural.



Pilares cuadrados/ rectangulares

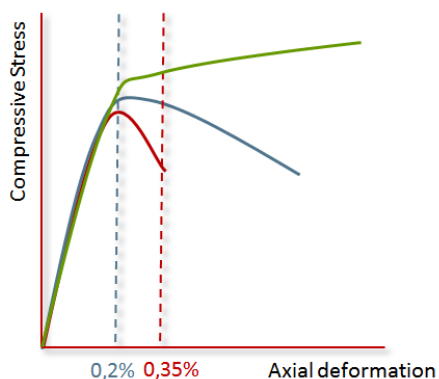
El confinamiento se concentra en las esquinas en lugar de en todo el perímetro, por lo que la efectividad varía en su sección transversal, existiendo algunas zonas menos confinadas.



Pilares rectangulares alargados

La eficiencia disminuye aún más con los pilares que presentan secciones transversales con lados muy desiguales. La acción del confinamiento es casi insignificante en pilares con relación de proporción 2:1 o mayores.

En la siguiente figura se muestra la gráfica tensión-deformación del CFRP confinado:



- Fuerte confinamiento del Hormigón. Su resistencia incrementa para una deformación del 0,2%. Sin embargo, el hormigón sigue siendo capaz de asumir cargas adicionales. La carga final es mayor que la carga máxima. Este gráfico corresponde al modelo de confinamiento adoptado por el TR55.
- Confinamiento del Hormigón. La tensión máxima permanece a una deformación de ~ 0,2%. La ductilidad se mejora significativamente.
- Hormigón original. La tensión máxima corresponde a una deformación del 0,2%, y la deformación final se sitúa al ~ 0,35%.

La gráfica muestra una respuesta casi bilineal con un cambio moderado al que le sigue una zona de transición de tensión próxima a la resistencia del hormigón no confinado, f_{co} . Después de esta tensión, la rigidez tangente cambia, hasta que el hormigón alcanza su resistencia máxima f_{ccd} momento en el que el tejido de refuerzo alcanza la tensión de tracción a rotura $\varepsilon_{h, rup}$.

La deformación límite de rotura se calcula como:

- $0.6 \varepsilon_{fd}$ para pilar circular
- $\varepsilon_{fd} \left(0.46 \left(\frac{2R_c}{h} \right) + 0.14 \right)$, donde h es la longitud del canto largo y R_c el radio de la esquina.

La determinación de la resistencia de pilares confinados se realiza de acuerdo con TR55, secciones 8.3 y 8.5.

Téngase en cuenta que el software permite el cálculo de pilares sometidos a cargas axiales y momentos flectores aplicados en dos direcciones diferentes, siguiendo la metodología indicada en TR55 (Sección 8.4) para pilares expuestos a momentos flectores en 1 una única dirección. Debido a esto, los diagramas completos de interacción 2D y 3D (Diagramas 1 y 2) son calculados por el software en lugar de los diagramas 2D simplificados como se indica en TR55, Figura 34.

DIAGRAMA 1

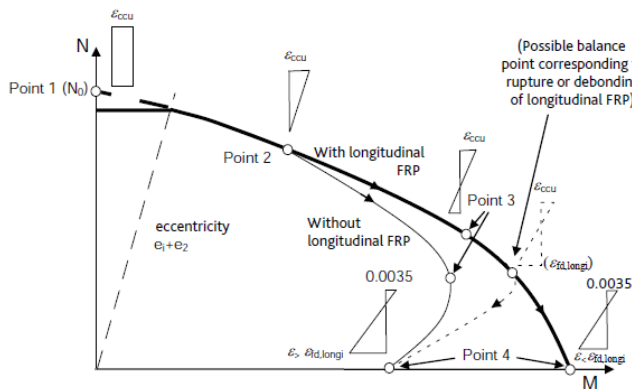
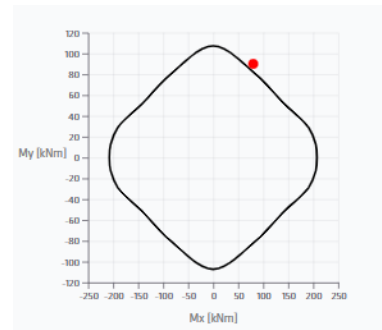


DIAGRAMA 2



2.4.1 LÍMITES DEL REFUERZO

Consulte la sección 2.1.2.

2.4.2 CONDICIONES EN SERVICIO (TR55, SECCIÓN §8.8)

Habrà que cumplir las limitaciones que se indican en el Eurocódigo 2, Parte 1-1, sección 7.2:

El esfuerzo de tracción efectiva del acero en el elemento reforzado con FRP frente a la combinación característica de cargas estará limitado a $0.80 f_{yk}$.

El esfuerzo de compresión en el hormigón reforzado con FRP, cuando se le somete a la combinación casi permanente de cargas, estará limitado a $0.45 f_{ck}$ en el caso de elementos estructurales expuestos a cloruros o ataques de hielos/deshielos.

3 USO DEL SOFTWARE SIKA® CARBODUR®

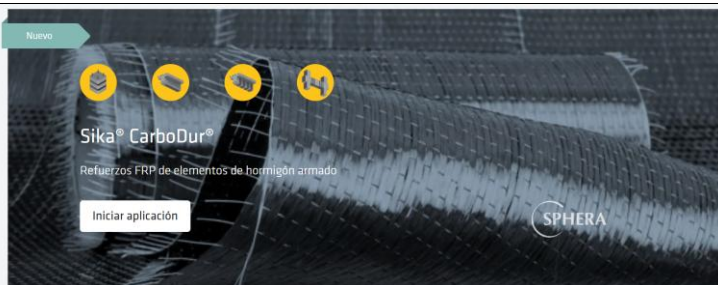
3.1 INTRODUCCIÓN

Sika® CarboDur® Calculation Software es una solución avanzada para el diseño y la evaluación de refuerzos con FRP en estructuras de hormigón armado. Siguiendo las guías de diseño de FRP más utilizadas y confiables a nivel mundial, esta potente herramienta permite a los ingenieros identificar de manera eficiente los productos FRP óptimos que cumplen con los requisitos estructurales específicos. El software optimiza el proceso de diseño, garantizando fiabilidad, cumplimiento normativo y un mejor rendimiento del proyecto.

El software ofrece la posibilidad de acceso desde cualquier ordenador, portátil o tablet con conexión activa a Internet. Es compatible con todos los navegadores web y presenta una interfaz diseñada para un uso moderno y una navegación sencilla.

3.2 REGISTRO

Al ser un software basado en la nube, antes de comenzar a utilizarlo es necesario completar un proceso de registro y configurar las credenciales de acceso.



El software es accesible en:

<https://software.sika.com/structural>

Desde esta página, haga clic en “Iniciar aplicación”



NOTA: El idioma de la página puede modificarse seleccionando el botón de idioma ubicado en la barra amarilla superior.

Inicio sesión Registro

Formulario de registro de MySika

*Nombre

Por favor, seleccione el(los) portal(es) a los que desea acceder.

☒ CarboDur App

☐ Fiber App

Haga clic en “Registro” y complete el formulario con su nombre, apellido, correo electrónico, empresa, idioma, ciudad y país.

Elija si desea acceder únicamente al CarboDur® Software o ambos: CarboDur® Software y SikaFiber software.

Lea y acepte el Aviso de Privacidad y haga clic en “Submit”.



Data Protection Notice

Sika takes the privacy protection of our business partner and clients very seriously and we believe that the privacy of our business partner and clients is a key value for building trust. The GDPR Data Protection Regulation (Regulation EU 2016/679 - GDPR) requires companies to constantly improve their approach to privacy and the way companies collect, use and store personal information.

Revise su bandeja de entrada: recibirá dos correos electrónicos, uno para establecer la contraseña de acceso al portal y otro con el Aviso de Protección de Datos de Sika.

[Iniciar sesión](#) [Registro](#)

Iniciar sesión en MySika

* Nombre de usuario:

* Contraseña

[Acceso](#)

[¿Olvidaste tu contraseña?](#)

Una vez configurada la contraseña, podrá iniciar sesión y comenzar a utilizar el software.

CarboDur® Calculation Software

END-USER LICENSE AGREEMENT FOR 'CARBODUR® CALCULATION SOFTWARE'

IMPORTANT - READ CAREFULLY

By using this software application you agree to be bound by the terms of this license.

This software application is protected by copyright laws and international copyright treaties. The software application is licensed, not sold.

THIS SOFTWARE APPLICATION AND THE RESULTS DERIVED FROM ITS UTILIZATION ARE INTENDED ONLY FOR USE BY PROFESSIONAL USERS WITH EXPERT KNOWLEDGE IN THE AREA OF THE INTENDED APPLICATION. USERS MUST INDEPENDENTLY VERIFY THE RESULTS BEFORE ANY USE AND TAKE INTO ACCOUNT THE SITE AND APPLICATION CONDITIONS, PRODUCT DATA SHEET AND PRODUCT LITERATURE, TECHNICAL STATE OF THE ART AS WELL AS LOCAL APPLICABLE STANDARDS AND REGULATIONS.

With respect to the software application and results derived from its use, Sika MAKES NO WARRANTIES OF ACCURACY, RELIABILITY, COMPLETENESS, MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR ANY PURPOSE. THE SOFTWARE APPLICATION IS PROVIDED ON AN "AS-IS" BASIS AND

☒ en English

☐ es Español

☐ de Deutsch

☐ pt Português

☐ fr Français

☒ Accept License Agreement

☒ Accept Privacy Notice

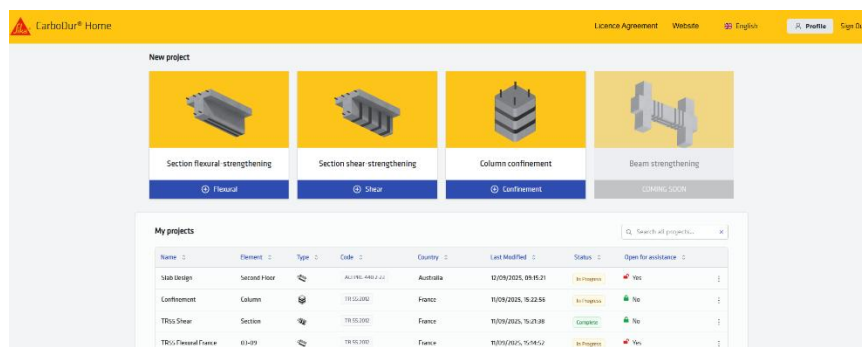
Accept

En el primer inicio de sesión, se solicitará al usuario aceptar el EULA (Acuerdo de Licencia de Usuario Final) y el Aviso de Privacidad.

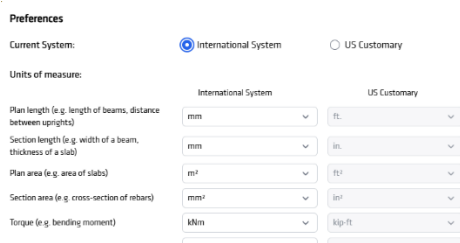
NOTA: Este mensaje emergente aparecerá en cada inicio de sesión solo si la sección "Mis proyectos" está vacía. Una vez que el usuario cree algún proyecto, el mensaje ya no se mostrará. El Acuerdo de Licencia de Usuario Final (EULA) permanecerá siempre disponible a través del enlace "Acuerdo de licencia" ubicado en la barra amarilla superior.

3.3 PÁGINA DE INICIO

La página de inicio ofrece una vista general que muestra los íconos para crear un nuevo proyecto, la lista de proyectos existentes, el acceso a las preferencias, entre otros.

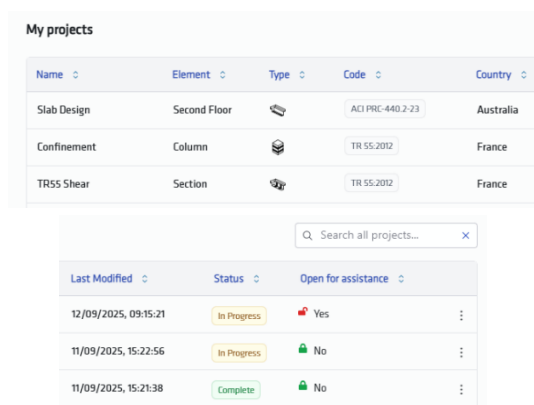


La barra amarilla superior permite visualizar el Acuerdo de Licencia (EULA), acceder a la página web de **sika.com**, cambiar el idioma del software, editar el perfil del usuario o cerrar sesión.



Al acceder al perfil y a Preferencias, se abre una ventana donde puede seleccionarse el sistema de unidades de medida entre el Sistema Internacional (SI) o el Sistema Imperial (US Customary Units).

NOTA: Cada unidad de medida individual puede personalizarse de forma independiente



La sección **“Mis proyectos”** aparece en el centro de la página de inicio, mostrando una lista de los proyectos del usuario. Las columnas de esta tabla pueden reorganizarse fácilmente haciendo clic en este símbolo.

Las columnas de la tabla representan:

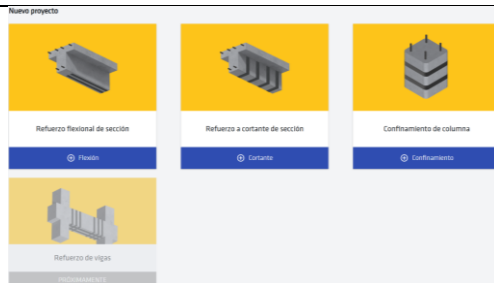
- **Nombre:** nombre asignado al proyecto
- **Elemento:** nombre o posición del elemento diseñado
- **Tipo de diseño:** confinamiento, flexional, cortante, vigas
- **Norma de diseño:** (ACI 440, TR 55, CNR-DT 200 SIA 166)
- **País:** catálogo de productos del país utilizado para ese diseño específico
- **Fecha de la última modificación**
- **Status del proyecto:** Indica si el proyecto está completo o aún en desarrollo
- **Abierto para asistencia:** muestra si el proyecto está bloqueado o desbloqueado (ver más abajo).



Los proyectos son privados y bloqueados por defecto; solo el propietario tiene acceso a ellos.

Para solicitar soporte de Sika en un proyecto específico, ábralo y utilice el control deslizante “Pedir asistencia”. Haga clic en “Copiar URL” para compartir

el acceso directo con otros.
Cuando finalice, desactive el control deslizante
NOTA: El acceso a los proyectos abiertos para asistencia está restringido ÚNICAMENTE a los miembros de la organización Sika.
Cualquier enlace compartido no será accesible para usuarios externos.



La sección "Nuevo Proyecto" permite crear nuevos proyectos seleccionando el botón correspondiente, según el tipo de refuerzo FRP requerido:



Refuerzo flexional de sección



Refuerzo a flexión de la sección crítica en una viga.

El módulo de Flexión incluye el dimensionamiento del FRP necesario, basado en los momentos flectores previstos que actúan sobre la sección crítica de una viga de hormigón armado o pretensada, considerando tanto momentos positivos como negativos, y incluyendo escenarios con cargas axiales.



Refuerzo a cortante de sección



Refuerzo a cortante de la sección crítica en una viga o pilar.

El cálculo determina el FRP requerido en función de los refuerzos cortantes previstos en la sección crítica de una viga o columna de hormigón armado. Las cargas axiales sobre la sección también pueden considerarse en el diseño.



Confinamiento de columna



Refuerzo de columna mediante confinamiento con CFRP.

El módulo de Confinamiento evalúa la mejora mecánica de un elemento de hormigón armado sometido a cargas axiales y momentos flectores. Permite diseñar el refuerzo estructural por confinamiento para secciones de hormigón armado (RC) sometidas a momentos flectores biaxiales, utilizando sistemas SikaWrap® FRP.



Refuerzo combinado a flexión y cortante de vigas.

El software determina la distribución de los momentos flectores y esfuerzos cortantes previstos en el elemento de hormigón armado o pretensado, calculando las secciones necesarias de FRP para flexión y cortante, así como su disposición a lo largo de la viga.

NOTA: Este módulo estará disponible próximamente.

New project: Flexural

Insert general data for the project

Sika® CarboDur® catalogue country

France

Building code

TR 55:2012

Language

English

Project name *

test

Element name *

test beam

Cancel

Create

Al iniciar un nuevo proyecto, el usuario debe seleccionar el catálogo del país, la norma de diseño, el idioma, el nombre del proyecto y el nombre o posición del elemento.

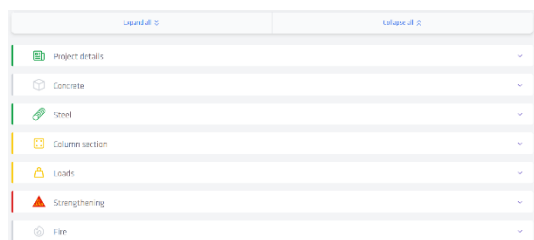
El catálogo del país limita los productos de refuerzo con FRP a aquellos incluidos en el catálogo correspondiente a ese país.

El catálogo del país y la norma de diseño no pueden modificarse una vez que el proyecto ha sido creado.

NOTA: Asegúrese de que la norma de diseño seleccionada para FRP sea coherente con el código general de diseño del hormigón.

Código general de diseño de estructuras de hormigón	Norma de diseño de FRP
ACI 318	ACI 440 PRC-440.2-23
Eurocode 2	TR 55
NTC 2018	CNR-DT 200 R1/2013
SIA 262	SIA 166

3.4 INFORMACIÓN GENERAL



Cada proyecto, al abrirse, muestra una interfaz con paneles que pueden expandirse o contraerse.

En la parte superior, hay dos botones (“Expandir todo” y “Contraer todo”) que permiten abrir o cerrar todos los paneles simultáneamente.

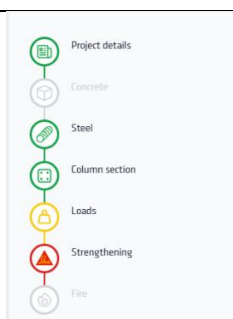
Cada panel tiene un icono de color, que indica el estado de progreso de esa sección del proyecto.



La barra lateral se muestra permanentemente.

En la parte superior de la barra lateral se visualiza el título del proyecto, el elemento actual, la fecha del último guardado, la norma FRP utilizada y el catálogo de productos seleccionado.

NOTA: El catálogo nacional restringe los productos FRP a los incluidos en ese catálogo específico del país.



Los iconos del centro de la barra lateral representan las diferentes secciones del proyecto.

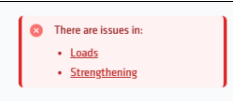
Verde sección completada

Gris sección aún no abierta

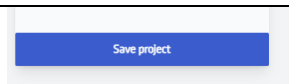
Amarillo advertencia presente

Rojo error o datos en falta

NOTA: De esta forma, el usuario mantiene siempre una visión completa del estado del proyecto

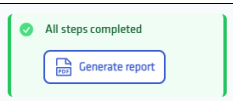
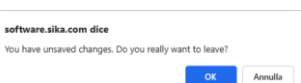


Si existen problemas o advertencias, aparecerán debajo de los iconos para facilitar su revisión.

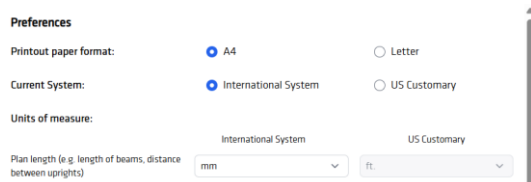


En la parte inferior de la barra lateral se encuentra el botón “Guardar proyecto”. Este permanece gris cuando el proyecto está guardado y se vuelve azul si hay cambios pendientes.

NOTA: La mayoría de los navegadores mostrarán una advertencia emergente si intenta cerrar o actualizar la página con cambios sin guardar.



Cuando todas las secciones estén completas (todos los iconos en verde), aparecerá un botón en la parte inferior que permite generar el informe en PDF.



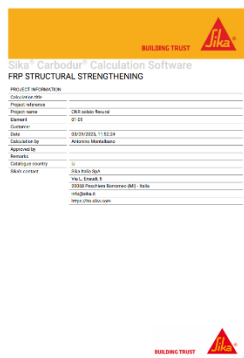
Los usuarios pueden especificar el tamaño de papel deseado para las impresiones.

El documento puede imprimirse en formato A4 o Carta.

La selección puede realizarse antes de hacer clic en el botón “Generar informe”, accediendo al perfil en la esquina superior derecha de la página dentro del apartado “Preferencias”.

Profile

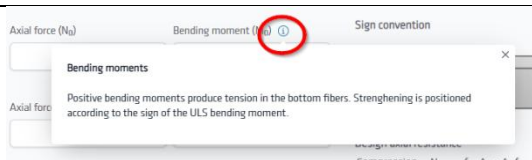
Preferences



Un informe en PDF se crea después de finalizar el proyecto.

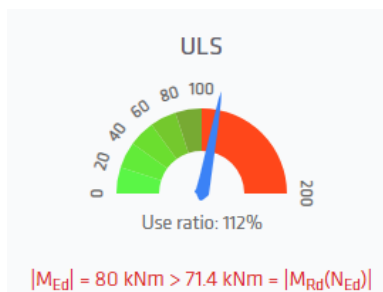
El informe contiene:

- Datos de diseño
- Datos del elemento
- Cargas aplicadas
- Detalles del refuerzo
- Resultados



El símbolo  aparece en varias partes del software.

Al hacer clic en él, se accede a información adicional útil.

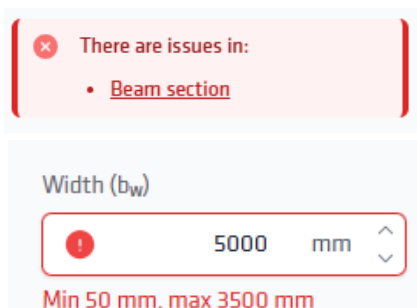


En “Cargas”, “Refuerzo” y “Fuego” se muestran los indicadores denominados “**Relación de utilización**” (Use ratio).

Estos indicadores representan la proporción de utilización para una combinación de cargas o una verificación específica. Se definen como la relación entre la condición de diseño y la condición resistente.

El indicador de relación de utilización en la imagen de la izquierda representa la proporción entre el momento flector de cálculo en estado límite último (M_{Ed}) y el momento flector resistente en estado límite último (ELU) (M_{Rd}).

Relación de utilización = M_{Ed} / M_{Rd}

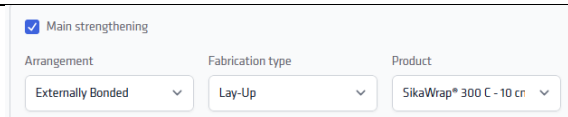


Si alguna condición no cumple con ciertas limitaciones durante el cálculo, esta información se mostrará en la pantalla principal y también en la barra lateral.

NOTA:

 Este símbolo indica que la condición no se cumple, pero el usuario puede continuar el cálculo.

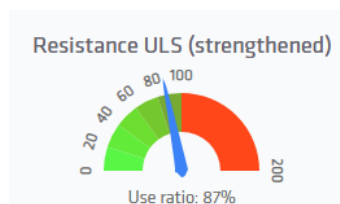
 Este símbolo indica que una condición crítica o lógica no se cumple; el cálculo no puede completarse hasta que se corrija.

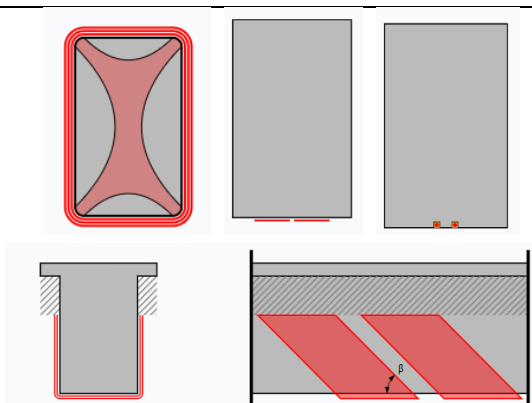


El software, en todos sus módulos (Flexión, Cortante, Confinamiento, Viga) y para todas las normas soportadas (TR 55, ACI 440, CNR-DT 200, SIA 166), aplica un **enfoque de verificación en lugar de diseño**.

Una vez definidas la geometría y las condiciones de carga, el usuario puede seleccionar, mediante menús desplegables:

- El tipo de refuerzo (Adherido externamente o Colocado cerca de la superficie),
- El tipo de fabricación (Aplicación en húmedo o Prefabricado),





- El producto específico (de los disponibles en el catálogo del país),
- La geometría del sistema de refuerzo (ancho, número de capas, posición).

Con estas entradas, la **relación de utilización** se actualiza en tiempo real, proporcionando una verificación inmediata de si el diseño cumple con los criterios seleccionados.

El diseño del refuerzo seleccionado se muestra siempre de forma gráfica en la pantalla.

NOTA: Este enfoque ofrece al usuario total flexibilidad para definir el sistema de refuerzo, incluyendo la selección de productos, posicionamiento, número de bandas, capas, separación e inclinación. La idoneidad de la configuración se verifica constantemente mediante el indicador de uso.

3.5 CONFINAMIENTO DE PILAR



Confinamiento de columna

➔ Confinamiento

El módulo de Confinamiento comprende la mejora mecánica de un elemento de hormigón armado (HA) sometido a cargas axiales y momentos flectores. Permite el diseño del refuerzo estructural mediante confinamiento para secciones de hormigón armado sometidas a momentos flectores biaxiales, utilizando los sistemas SikaWrap® FRP. Este módulo facilita el análisis de columnas sometidas simultáneamente a cargas axiales y a momentos flectores actuando en dos direcciones ortogonales.

3.5.1 HORMIGÓN

Concrete
Type

User defined

User defined

C8/10

C12/15

C16/20

C20/25

C25/30

C28/35

C30/37

C32/40

C35/45

C40/50

C45/55

Characteristic tensile strength

☐ EN-1992-1-1

☒ User defined

f_{ctk} 2.3 MPa

En este panel, el usuario especifica la resistencia característica a compresión del hormigón (f_{ck}). Este valor puede seleccionarse desde un menú desplegable o introducirse manualmente si se elige la opción "definido por el usuario". Una vez introducido f_{ck} , el software calcula la **resistencia de diseño a compresión** mediante la fórmula:

$$f_{cd} = \alpha_{cc} \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$$

Asimismo, calcula la resistencia característica a tracción, utilizando la fórmula del Eurocódigo:

$$f_{ctk} = 0.70 f_{ctm} \quad f_{ctm} = 0.30 f_{cm}^{(2/3)}$$

Adicionalmente, el usuario puede definir manualmente la resistencia característica a tracción del hormigón (derivada de ensayos arrancamiento in situ) seleccionando "definido por el usuario".

Concrete coefficients

☒ EN-1992-1-1

☐ User defined

ULS

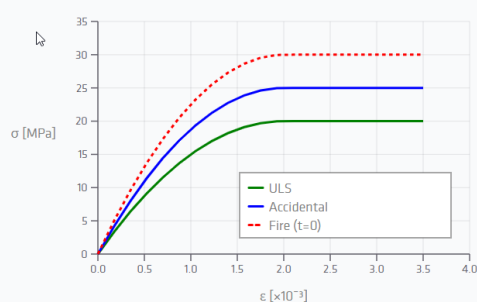
Accidental

Fire

γ_c 1.5 1.2 1

α_{cc} 1 1 1

Constitutive model (design values)

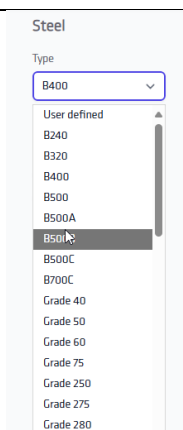


Los coeficientes α_{cc} y γ_c se definen de acuerdo con el Eurocódigo 2, para las condiciones de Estado Límite Último (ELU), Accidental y de Incendio.

El usuario puede personalizar estos valores activando la opción "Definido por el usuario".

Los modelos constitutivos tensión-deformación (valores de diseño) se visualizan para las condiciones ELU, Accidental e Incendio.

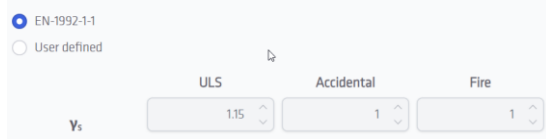
3.5.2 ACERO



En este panel, el usuario especifica la resistencia característica a tracción del acero (f_{yk}). Este valor puede seleccionarse desde un menú desplegable que contiene los tipos de acero más utilizados a nivel mundial o introducirse manualmente si se elige **"definido por el usuario"**. A partir del valor de f_{yk} , el software calcula la resistencia de diseño a tracción mediante la fórmula:

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s}$$

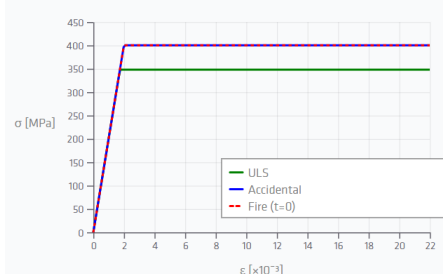
Steel coefficients



El coeficiente γ_s se define de acuerdo con el Eurocódigo 2, para las condiciones ELU, Accidental y Incendio.

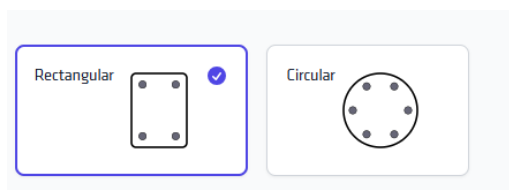
El usuario puede personalizar los valores seleccionando "definido por el usuario".

Constitutive model (design values)



Los modelos constitutivos tensión-deformación (valores de diseño) se visualizan para las condiciones ELU, Accidental y Incendio.

3.5.3 SECCIÓN DE LA COLUMNA

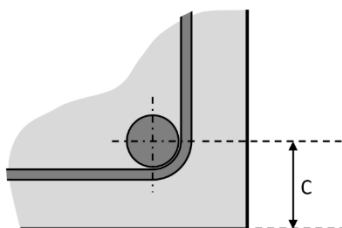


Es posible seleccionar una sección rectangular o circular de hormigón.

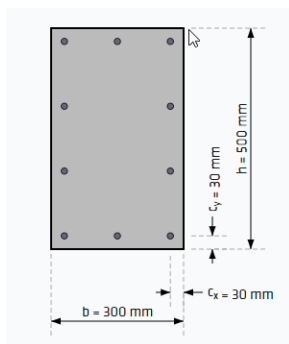
En el caso de una sección rectangular, deben definirse el ancho (b) y la altura (h).

En el caso de una sección circular, solo es necesario definir el diámetro.

NOTA: Aunque la guía **TR55** no especifica una limitación geométrica precisa para la relación ancho/alto (B/H) en secciones rectangulares, se ha adoptado —siguiendo otras normativas internacionales— un límite máximo de **2** para dicha relación.



El recubrimiento mecánico se define como la distancia desde el centro de la barra longitudinal hasta el borde exterior del hormigón, calculada como la suma del recubrimiento del hormigón, el diámetro del estribo y la mitad del diámetro de la barra longitudinal.



Para una sección rectangular, las barras de refuerzo se definen en tres grupos:

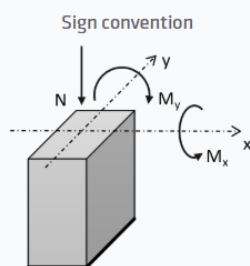
- **Barras de esquina:** ubicadas en los 4 vértices de la sección
- **Barras horizontales:** adicionales en los lados horizontales
- **Barras verticales:** adicionales en los lados verticales.

En una sección circular, las barras de refuerzo se definen como el número total de barras distribuidas uniformemente alrededor del perímetro.

3.5.4 CARGAS

Axial force (N_{ULS}) kN
 Bending moment ($M_{x,ULS}$) kNm
 Bending moment ($M_{y,ULS}$) kNm

Cada combinación de carga se define mediante un valor de carga axial y dos momentos flectores actuando simultáneamente en dos direcciones perpendiculares.



Cada carga puede asignarse como positiva o negativa, según la convención mostrada en la figura lateral. Es posible analizar condiciones de flexo-compresión biaxial, flexo-tracción o fuerza axial pura.

Design axial resistance			
Compression	$N_{Rd,c} = f_{yd} A_s + f_{cd} A_c$		
Tension	$N_{Rd,t} = f_{yd} A_s$		
Limit states			
	ULS	Accidental damage	Fire (t=0)
$N_{Rd,c}$	3504.6 kN	4327.3 kN	5069.6 kN
$N_{Rd,t}$	535.4 kN	615.8 kN	615.8 kN

En esta tabla se muestran los valores límite de la carga axial, tanto en compresión como en tracción, para las condiciones ELU, daño accidental y fuego (T = 0).

Ultimate limit state (ULS) loads
 Combination loads for strength checks.

Esto representa los valores de diseño de la carga axial (N_{ULS}) y los dos momentos flectores de diseño ($M_{x,ULS}$ y $M_{y,ULS}$), para la combinación de cargas en ELU.

Characteristic loads
 Combination loads for serviceability limit state.

Esto representa los valores de diseño de la carga axial (N_c) y los dos momentos flectores de diseño ($M_{x,c}$ y $M_{y,c}$), para la combinación característica de acciones en condiciones de servicio.

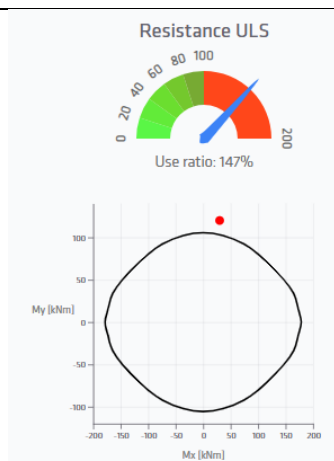
Fire loads
 Combination loads for fire limit state.

Esto representa los valores de diseño de la carga axial (N_{fi}) y los dos momentos flectores de diseño ($M_{x,fi}$ y $M_{y,fi}$) que actúan en el estado límite de servicio (ver sección 2.1.3), utilizando la combinación cuasi-permanente de acciones según la BS EN 1990. Para la verificación, se asumen los factores parciales de seguridad de los materiales correspondientes a la situación de diseño accidental.

Accidental damage loads

Combination loads for accidental damage.

Esta verificación preliminar es requerida (ver sección 2.1.2). Representa los valores de diseño de la carga axial (N_{damage}) y los dos momentos flectores de diseño ($M_{x,\text{damage}}$ and $M_{y,\text{damage}}$) que actúan en el estado límite de servicio, utilizando la combinación frecuente de acciones según lo definido en la BS EN 1990. Para la verificación, se asumen los factores parciales de seguridad de los materiales correspondientes al diseño accidental.



Para cada combinación, se muestra el indicador de relación de utilización (use ratio) (ver sección 3.4).

En la parte inferior, se visualiza el diagrama de interacción M_x – M_y , indicando gráficamente la posición de la combinación mediante un punto rojo.

NOTA: “Use ratio” > 100% significa que la combinación se encuentra fuera del diagrama de interacción.

3.5.5 REFUERZO

Product

SikaWrap® 300 C - 10 cm

Number of Strengthenings

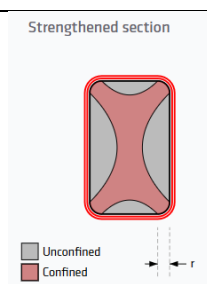
1 2 3 4 5

Fillet radius (r)

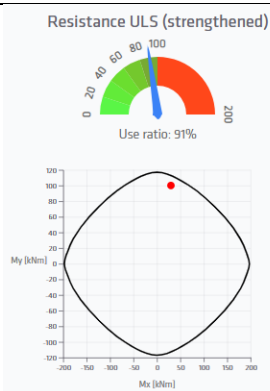
13 20 30 40 50 25 mm

Definir los siguientes parámetros:

- **Tejido SikaWrap®:** seleccionar entre los productos disponibles en el Catálogo Nacional.
- **Numero de capas:** especificar el número requerido de capas de tejido.
- **Radio de redondeo:** definir el radio de las esquinas para las columnas.

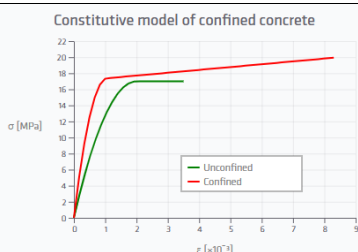


El software proporciona una representación visual del refuerzo aplicado y del efecto de confinamiento. El área confinada del hormigón se resalta en rojo. A medida que aumenta la relación altura-ancho (o ancho-altura), la zona confinada se reduce, lo que resulta en una menor eficiencia de confinamiento.



El software muestra el indicador de relación de utilización para la sección reforzada en la combinación de ULS (Estado Límite Último). Una relación de utilización <100% significa que la verificación es satisfactoria y que, con el sistema de refuerzo y la cantidad de FRP seleccionados, la sección es adecuada.

Se presenta una visualización gráfica del diagrama de interacción de la sección reforzada en el plano Mx-My, mostrando el diagrama y la posición de la combinación (punto rojo).



También se muestra una comparación entre los diagramas tensión-deformación del hormigón no confinado y del hormigón confinado.

Product details	
Product	SikaWrap® 300 C - 10 cm
Type of fibers	C
Width (w)	100 mm
Single layer thickness (t _l)	0.167 mm
Characteristic elastic modulus (E _f)	220 GPa
Characteristic ultimate strain (ε _{fu})	14.5 %
Characteristic strength (f _{tu})	3790 MPa
Partial safety factor on strain (γ _{MFRP})	1.25
Partial safety factor on elastic modulus (γ _{MFRP})	1.10
Partial safety factor on material (γ _{MFRP})	1.20

Para el sistema SikaWrap® seleccionado, se muestran todas las propiedades físicas y mecánicas relevantes.

3.5.6 RESISTENCIA AL FUEGO

El software evalúa la resistencia del elemento no reforzado en caso de incendio, calculando los perfiles de temperatura previstos en la sección de hormigón y la resistencia real al fuego de acuerdo con las cargas térmicas, según lo indicado en el TR55, sección 5.7.1.

Fire

Checks for fire resistance

Set whether structural verifications for fire must be performed.

Perform checks? ☐

El usuario puede verificar opcionalmente la resistencia al fuego del elemento en el caso de que el refuerzo de FRP pierda eficacia como consecuencia de las altas temperaturas (consulte la sección 2.1.3 para obtener información adicional).

Esta opción se habilita seleccionando el cuadro situado en la esquina superior izquierda.

Exposed faces

top face ☒

left face ☒

right face ☒

bottom face ☒

Los lados del elemento expuestos al fuego pueden definirse por medio de los campos de selección.

3.6 REFUERZO FLEXIONAL DE SECCIÓN



Refuerzo flexional de sección

Flexión

El módulo de Flexión incluye el dimensionamiento del FRP necesario, en función de los momentos flectores previstos que actúan sobre la sección crítica de una viga de hormigón armado o pretensado, sometida tanto a momentos positivos como negativos, e incluso en situaciones con carga axial.

3.6.1 HORMIGÓN

Concrete Type

User defined

User defined

C8/10

C12/15

C16/20

C20/25

C25/30

C28/35

C30/37

C32/40

C35/45

C40/50

C45/55

Characteristic tensile strength

☐ EN-1992-1-1

☒ User defined

f_{ctk} 2.3 MPa

En este panel, el usuario especifica la resistencia característica a compresión cilíndrica del hormigón (f_{ck}). Este valor puede seleccionarse desde un menú desplegable o introducirse manualmente si se elige la opción “definido por el usuario”. Una vez introducido el valor de f_{ck} , el software calcula la resistencia de diseño a compresión mediante la fórmula:

$$f_{cd} = \alpha_{cc} \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$$

Y la resistencia característica a tracción, calculada según la fórmula de Eurocódigo:

$$f_{ctk} = 0.70 f_{ctm} \quad f_{ctm} = 0.30 f_{ctm}^{(2/3)}$$

Además, el usuario puede definir manualmente la resistencia característica a tracción del hormigón, derivada de ensayos de adherencia in situ (pull-off), seleccionando la opción “definido por el usuario”.

Effective creep ratio

Initial loads (ϕ_{eff}) 0

Design loads (ϕ_{eff}) 1

La fluencia puede considerarse multiplicando todos los valores de deformación del diagrama tensión-deformación del hormigón por el factor $(1 + \phi_{ef})$. Conforme a (EN 1992-1-1, 5.8.6(4))

Concrete coefficients

☒ EN-1992-1-1

☐ User defined

ULS

Accidental

Fire

γ_c

1.5

1.2

1

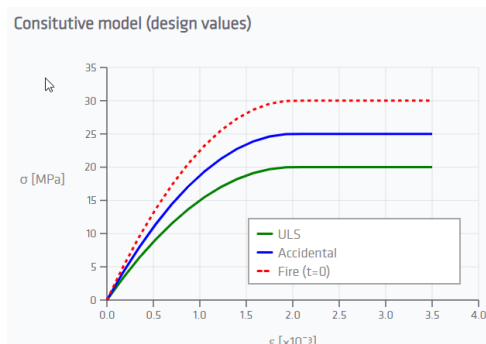
α_{cc}

1

1

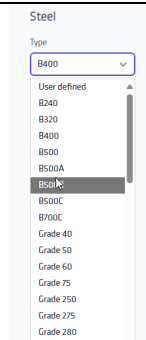
1

Los coeficientes α_{cc} e γ_c se definen según el Eurocódigo 2, para condiciones ELU (Estado Límite Último), Accidentales y de Incendio. El usuario puede personalizarlos haciendo clic en “Definido por el usuario”.



Los modelos constitutivos tensión-deformación (valores de diseño) se visualizan en las tres condiciones: ELU, Accidental y de Incendio.

3.6.2 ACERO



En este panel, el usuario especifica la resistencia característica a tracción del acero (f_{yk}). Este valor puede seleccionarse de un menú desplegable que contiene los tipos de acero más utilizados internacionalmente, o introducirse manualmente si se elige “definido por el usuario”. A partir del valor de f_{yk} , el software calcula la resistencia de diseño a tracción mediante la fórmula:

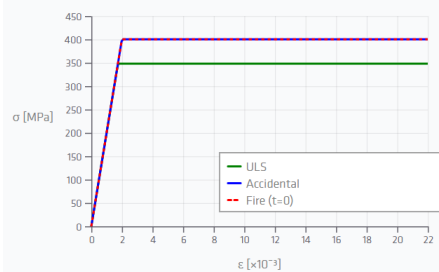
$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s}$$

Steel coefficients

☒ EN-1992-1-1
☐ User defined

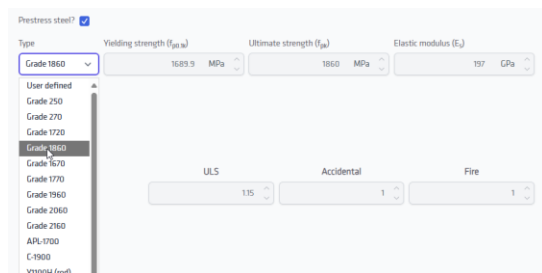
ULS Accidental Fire
 γ_s 1.15 1 1

Constitutive model (design values)



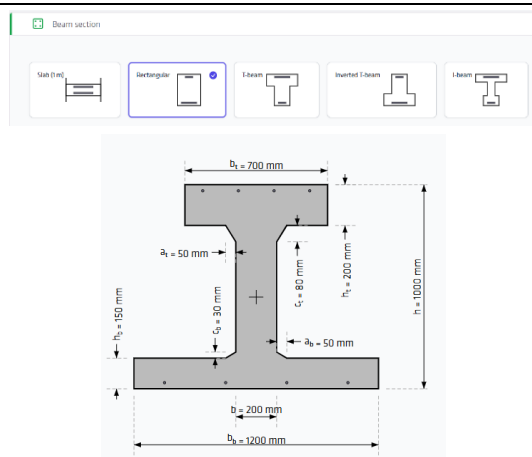
El coeficiente γ_s se define según el Eurocódigo 2, para condiciones ELU, Accidentales y de Incendio. El usuario puede personalizarlo seleccionado “definido por el usuario”.

Los modelos constitutivos tensión-deformación (valores de diseño) también se visualizan en las condiciones ELU, Accidentales y de Incendio.



Para diseños que involucren secciones de hormigón pretensado adherido, debe activarse la opción “Acero pretensado”. El tipo de acero pretensado puede seleccionarse desde un menú desplegable que contiene una lista de los aceros de pretensado más utilizados a nivel mundial. Si se elige la opción “definido por el usuario” deberán introducirse manualmente los valores requeridos de: Resistencia a fluencia, Resistencia última, Módulo de elasticidad

3.6.3 SECCIÓN TRANSVERSAL

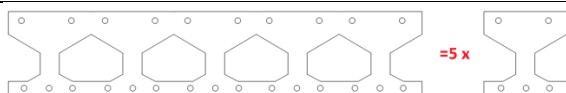


El usuario puede seleccionar una de las siguientes secciones básicas para el elemento:

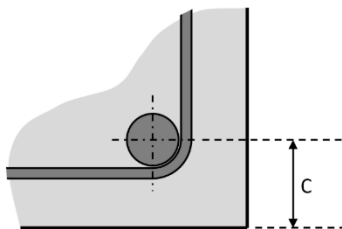
- Losa
- Rectangular
- Viga en T
- Viga en T invertida
- Viga en I

En el caso de una sección de losa, el usuario solo necesita introducir el espesor de la losa.

Adicionalmente, pueden mostrarse chaflanes en ciertas geometrías, lo que permite definir formas complejas.



NOTA: al seleccionar un perfil de geometría adecuado, el usuario puede crear partes de elementos complejos.



En este panel debe definirse el refuerzo interno de acero de la sección.

Los refuerzos internos se dividen en **Refuerzo superior, Refuerzo inferior, Tendones**, en el caso de secciones de hormigón pretensado

Para cada tipo de refuerzo interno de acero, el primer parámetro a definir es el recubrimiento mecánico (*distancia del centroide al borde*). Este valor representa la distancia desde el centro de las barras longitudinales hasta el borde exterior del hormigón, calculada como la suma del recubrimiento de hormigón, el diámetro del estribo y la mitad del diámetro de la barra longitudinal.

Add top reinforcements

☒ by bars number and diameter ☐ by area

Distance of centroid from border	Bars number	Bars diameter	Area	Delete
30 mm	4	14 mm	616 mm ²	X
60 mm	-	-	400 mm ²	X

Add bottom reinforcements

☒ by bars number and diameter ☐ by area

Distance of centroid from border	Bars number	Bars diameter	Area	Delete
30 mm	4	14 mm	616 mm ²	X
80 mm	4	14 mm	616 mm ²	X

Add tendons

☒ by bars number and diameter ☐ by area

Distance of centroid from border	Bars number	Bars diameter	Area	Prestress	Delete
50 mm	1	24 mm	452 mm ²	900 MPa	X

La definición del refuerzo superior e inferior se realiza por capas, y cada capa se caracteriza por los siguientes parámetros:

- Distancia desde el centroide hasta la superficie del hormigón
- Sección de acero.

Cada capa de acero puede definirse indicando el número de barras, su diámetro y posición o bien asignando el área total de acero y su ubicación.

El número de capas de acero no tiene restricción.

NOTA: En el caso del acero de pretensado, el usuario debe confirmar las propiedades mecánicas del acero y especificar la tensión real del acero en el momento del refuerzo (f_{se}). Este valor generalmente corresponde a la tensión inicial de pretensado menos las pérdidas de pretensado acumuladas hasta el momento del refuerzo.

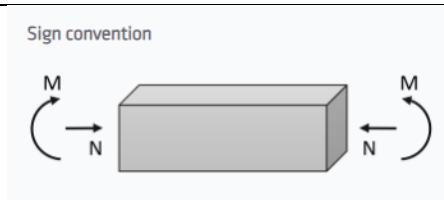
3.6.4 CARGA

Axial force (N_D) kN

Bending moment (M_D) kNm

Para el diseño del refuerzo a flexión, es posible considerar una fuerza axial actuando sobre la sección. Esto resulta útil, por ejemplo, para el diseño de vigas o cubiertas inclinadas.

Cada combinación de carga se especifica mediante un valor de carga axial y un momento flector.



Cada carga puede asignarse como positiva o negativa, de acuerdo con la convención mostrada en la figura a la izquierda. Es posible analizar condiciones de flexión y compresión, tracción y flexión, o momentos puros de flexión.

Design axial resistance			
Compression	$N_{Rd,c} = f_{yd} A_s + A_c f_{cd}$		
Tension	$N_{Rd,t} = f_{yd} A_s$		
Limit states			
	ULS	Accidental	Fire (t=0)
$N_{Rd,c}$	8485.7 kN	10513.2 kN	12399.9 kN
$N_{Rd,t}$	-939 kN	-1079.9 kN	-1079.9 kN
$M_{Rd}^+(N_{Ed})$	1109.8 kNm	1292.9 kNm	1325.5 kNm
$M_{Rd}^-(N_{Ed})$	-354.2 kNm	-407.5 kNm	-409.5 kNm

En esta tabla se muestran los valores límite de la carga axial, tanto en compresión como en tracción, para los estados límite últimos (ELU), daño accidental y incendio (T=0).

Initial loads

Combination loads at the time of the application of strengthening.

Se representan los valores actuales de la carga axial (N_0) y del momento flector (M_0) que actúan sobre la sección en el momento de la aplicación del sistema de refuerzo FRP.

Estas cargas iniciales pueden deberse al peso propio de la viga, a las cargas permanentes (totales o parciales) y a las cargas variables (cuando sean aplicables).

El software verifica que estas fuerzas no superen la resistencia inicial del elemento sin reforzar. Esta condición debe cumplirse para continuar con el cálculo.

Ultimate limit state (ULS) loads

Combination loads for strength checks.

Representa la carga axial (N_{ULS}) y el momento flector (M_{ULS}), para la combinación de cargas de Estado Límite Último

Characteristic loads

Combination loads for serviceability limit state.

Representa la carga axial (N_c) y el momento flector (M_c), para la combinación característica de acciones en condiciones de servicio

Fire loads

Combination loads for fire limit state.

Representa la carga axial (N_{fi}) y el momento flector (M_{fi}) que actúan en el estado límite de servicio (ver sección 2.1.3), utilizando la combinación cuasi-permanente de acciones, según lo definido en la BS EN 1990. Para la verificación, se asumen los factores parciales de seguridad de los materiales correspondientes a la situación de diseño accidental.

Checks for accidental damage

Set whether structural verifications for accidental damage must be performed.

Esta verificación preliminar es obligatoria (ver sección 2.1.2). Representa los valores de diseño de la carga axial (N_{damage}) y del momento flector (M_{damage}) que actúan en el estado límite de servicio, utilizando la combinación frecuente de acciones definida en la BS EN 1990. Para la verificación, se asumen los factores parciales de seguridad de los materiales correspondientes al diseño accidental.

Prestress steel? ☒

Para secciones de hormigón pretensado (cuando se selecciona la opción "Acero pretensado" (en el panel de acero), el usuario debe indicar si el esquema estáticamente determinado.

Statically indeterminate scheme? ☐

Prestress loads

Statically indetererminate internal actions due to prestress

Una viga estáticamente determinada es aquella en la que las reacciones en los apoyos pueden calcularse utilizando solo las ecuaciones de equilibrio estático.

En este caso, los valores de la carga axial (N_p) y del momento flector (M_p), debidos al acero de pretensado se calculan automáticamente mediante el software.

Una viga estáticamente indeterminada, por el contrario, requiere resolver condiciones adicionales de compatibilidad y deformación, ya que posee más apoyos o restricciones de las necesarias.

En este caso, el usuario debe seleccionar la opción correspondiente e introducir manualmente los valores de N_p y M_p atribuibles al acero de pretensado.

Para las cargas iniciales, de daño accidental y ULS, se muestran los indicadores de relación de utilización (*use ratio*) para la sección sin reforzar (ver sección **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

Si el índice de utilización para las cargas iniciales o de daño accidental supera el 100%, el programa mostrará un mensaje de error, indicando que la verificación preliminar no ha sido satisfactoria.

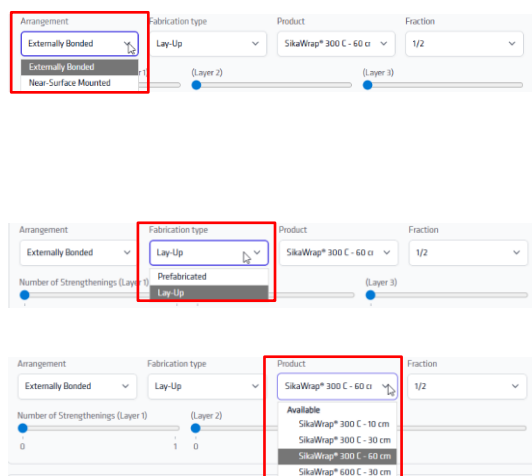
NOTA: En esta situación, el refuerzo puede diseñarse, pero no es posible generar el informe impreso debido al error. El error se muestra en el panel de cargas y se indica mediante un icono rojo en la barra lateral (ver sección **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).



3.6.5 REFUERZO

Por lo general, el sistema de refuerzo se coloca en la cara inferior de la viga (o en la parte superior en caso de momentos flectores negativos). Esto se denomina “**Refuerzo principal**” y la opción está seleccionada por defecto. El ancho disponible mostrado representa el espacio máximo disponible para colocar el sistema de refuerzo FRP.

El usuario debe definir los siguientes parámetros de refuerzo:

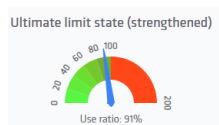
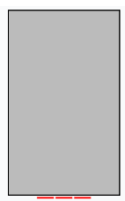


- **Disposición:** Según el catálogo del país seleccionado, el usuario puede elegir entre un sistema adherido externamente (EBR), un sistema embebido (NSM) o un sistema de CFRP postensado (Sika® CarboStress), este último disponible solo para vigas estáticamente determinadas, si está disponible localmente.
- **Tipo de fabricación:** Según el catálogo del país, el usuario selecciona entre un sistema prefabricado (Sika® CarboDur®) o un sistema aplicado in situ (SikaWrap®).
- **Producto:** El usuario selecciona el producto específico de un menú desplegable.
- **Fracción:** En algunos sistemas *Lay-up*, es posible utilizar una fracción del ancho original del tejido. Por ejemplo, al seleccionar SikaWrap®-300 C – 60

cm, el usuario puede optar por usar el ancho completo o elegir entre 1/2, 1/3 o 1/4 del ancho, resultando en anchos de 30 cm, 20 cm o 15 cm, respectivamente.

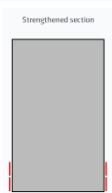
NOTA: El software verifica el ancho disponible frente al ancho del tejido seleccionado y solo muestra las opciones que encajan.

Por ejemplo, si el ancho disponible es de 300 mm, no será posible seleccionar un tejido de 60 cm de ancho.



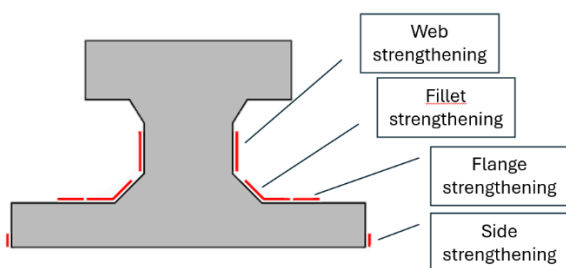
Número de capas de refuerzo: Indicar el número de tiras o placas y capas requeridas. Si el ancho del FRP coincide con el ancho disponible de la sección, el software permite añadir múltiples tiras de refuerzo. En el ejemplo ilustrado, el usuario ha seleccionado 3 tiras de Sika® CarboDur® S512.

NOTA: Como se indicó anteriormente, el usuario debe seleccionar el producto, número de tiras y capas adecuadas para que la relación de utilización (M_{Ed} / M_{Rd}) sea inferior al 100%.

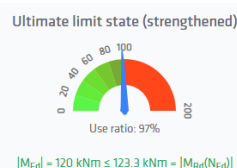
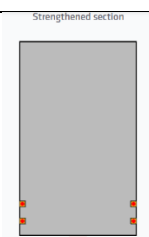


Para secciones rectangulares, en T, en T invertida o en doble T (I), el software permite aplicar el sistema de refuerzo también en los laterales de la viga (en secciones rectangulares), denominado **"Refuerzo lateral"**. Aunque el método principal de aplicación es el preferido, esta opción resulta útil cuando la cara inferior no es accesible o insuficiente para el refuerzo requerido, como en vigas estrechas. El refuerzo lateral puede utilizarse además del principal o como alternativa.

La selección del refuerzo lateral sigue la misma lógica que el refuerzo principal: el usuario debe definir la disposición, el tipo de fabricación, el producto, la fracción (si está disponible) y el número de tiras y capas.

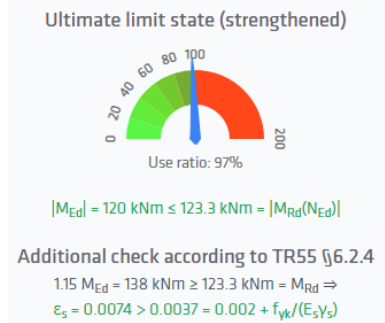


Para secciones en doble T (I), el software permite aplicar refuerzo FRP en el **lateral vertical**, el **alma**, la **parte superior del ala** y el **chaflán**.



El software muestra la sección reforzada con los sistemas FRP diseñados y el indicador de relación de utilización para la combinación ULS. Un valor inferior al 100% indica que la verificación es satisfactoria y que la sección cumple con los requisitos con el sistema de refuerzo y la cantidad de FRP seleccionados.

Se comparan los valores del momento flector de diseño (M_{Ed}) y del momento resistente del elemento reforzado (M_{Rd}).



En el caso de que **87% < índice de utilización < 100%** ($M_{Rd} < 1.15 M_{Ed}$), el software realiza la verificación requerida según el apartado §6.2.4 del TR55, comprobando la tensión de tracción del acero de refuerzo.

"...si el momento último resistente (...) es menor que 1,15 veces el valor requerido, la sección deberá dimensionarse de modo que la deformación en el centroide del acero de tracción no sea inferior a $0.002 + f_{yk}/(E_s \gamma_s)$ "

Serviceability limit state (strengthened)

$$\sigma_c = 5.7 \text{ MPa} \leq 15 \text{ MPa} = 0.6 f'_c$$
$$\sigma_s = 222 \text{ MPa} \leq 320 \text{ MPa} = 0.8 f_y$$

El software también comprueba el estado límite de servicio característico, comparando los niveles de tensión en el hormigón y el acero con los valores admisibles.

	Min	Max
Product	Sika® CarboDur® 900	SikaWrap® SSKC - 3000
Fracture	1	1
Size of fibers	1	1
Width (Sika® CarboDur® 900)	16 mm	900 mm
Single layer thickness (Sika® CarboDur® 900)	1.2 mm	0.907 mm
Characteristic tensile strength (f_{yk})	160 MPa	170 MPa
Characteristic ultimate strain (ϵ_{yk})	12.1 ‰	16.5 ‰
Characteristic ultimate strength (f_{yk})	2100 MPa	190 MPa
Displacement	100	100
Number of plies	1	1
FRP for reinforcement of FRP (Stress)	125	12
FRP for ultimate resistance (Stress)	11	11
FRP for ultimate strain (Stress)	1.16	1.16
Serviceability limit state	20.7 MPa < 160 MPa < 0.6 f'_c	20.7 MPa < 190 MPa < 0.6 f'_c

Para los sistemas FRP seleccionados (SikaWrap®, Sika® CarboDur®, etc.), se proporcionan todas las propiedades físicas y mecánicas relevantes, incluidos los factores parciales de seguridad utilizados en los cálculos y en la verificación del estado límite de servicio de los sistemas de refuerzo.

3.6.6 INCENDIO

El software evalúa la resistencia del elemento sin reforzar en caso de incendio, calculando los perfiles de temperatura esperados en la sección de hormigón y la resistencia real al fuego de acuerdo con las cargas de incendio, tal como se indica en el TR55, sección 5.7.1.

Fire

Checks for fire resistance

Set whether structural verifications for fire must be performed.

Perform checks? ☐

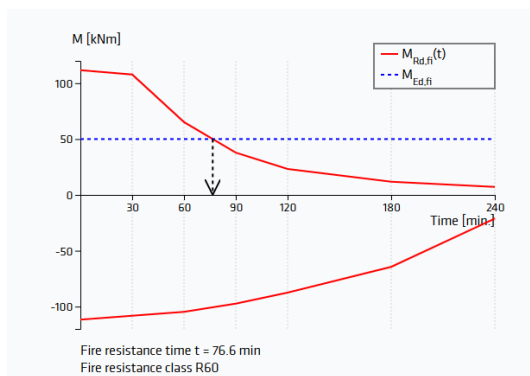
Select faces exposed to fire

top face ☐ side faces ☒ bottom face ☒

El usuario puede verificar la resistencia al fuego del elemento, asumiendo que el refuerzo con FRP falla inmediatamente a altas temperaturas (ver sección 2.1.3 para más detalles).

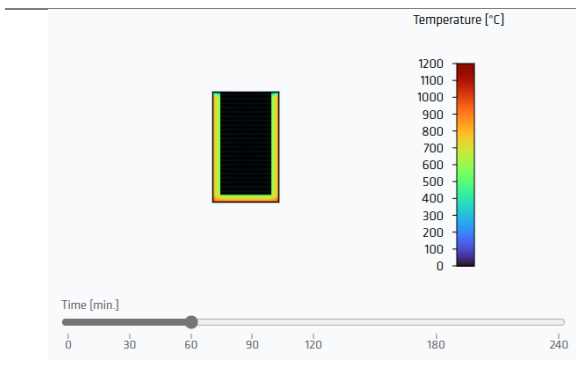
Esta opción puede activarse marcando la casilla ubicada en el panel de Incendio.

El usuario puede seleccionar las caras de la viga que estarán directamente expuestas al fuego.



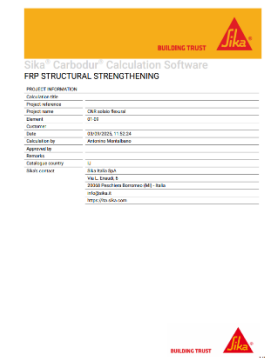
El software muestra un diagrama en el que, el eje horizontal representa el tiempo, el eje vertical representa el momento flector. Las líneas rojas indican los valores positivos y negativos del momento resistente (M_{Rd}^+ and M_{Rd}^-) a lo largo del tiempo. Estos valores se determinan a partir de la distribución de temperatura en la sección de hormigón y aplicando el Método de la Isoterma de 500 °C (ver sección 2.1.3). La línea azul representa el valor de diseño del momento flector bajo condiciones de incendio, denominado M_{fi} .

En la parte inferior del diagrama, se muestra el momento en que el momento resistente iguala el momento de diseño bajo fuego, lo que determina la clase de resistencia al fuego.



Un control deslizante (slider) permite visualizar la distribución de temperaturas dentro de la sección, mediante una interfaz gráfica con escala de colores.

3.6.7 INFORME



Al finalizar el proyecto, el software genera un informe completo en formato PDF.

El informe contiene la siguiente información:

- Datos de diseño
- Datos del elemento estructural
- Cargas
- Detalles del refuerzo
- Resultados

3.7 REFUERZOS A CORTANTE DE SECCIÓN



El módulo de Refuerzo a Cortante calcula el refuerzo de FRP necesario en la sección crítica de una viga o columna de hormigón armado (HA), en función de los esfuerzos cortantes previstos en dicha sección. También es posible considerar la presencia de cargas axiales en el diseño.

3.7.1 HORMIGÓN

En este panel, el usuario especifica la resistencia característica a compresión del hormigón (f_{ck}). Este valor puede seleccionarse de un menú desplegable o introducirse manualmente eligiendo la opción “Definido por el usuario”. Una vez introducido f_{ck} , el software calcula automáticamente la resistencia de diseño a compresión mediante la siguiente fórmula:

$$f_{cd} = \alpha_{cc} \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$$

La resistencia característica a tracción se calcula conforme al Eurocódigo 2:

$$f_{ctk} = 0.70 f_{ctm} \quad f_{ctm} = 0.30 f_{ck}^{\left(\frac{2}{3}\right)}$$

Alternativamente, el usuario puede introducir manualmente la resistencia a tracción característica obtenida mediante ensayos arrancamiento in situ, seleccionando la opción “Definido por el usuario”.

Los coeficientes α_{cc} e γ_c definen según el Eurocódigo 2, para las condiciones de ELU, Accidental e Incendio.

El usuario puede personalizar estos valores seleccionando la opción “Definido por el usuario”.

3.7.2 ACERO

En este panel se define la resistencia característica a tracción del acero (f_{yk}).

Puede seleccionarse de una lista desplegable que incluye los tipos de acero más comunes o introducirse manualmente seleccionando “Definido por el usuario”.

La resistencia de diseño a tracción se calcula como:

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s}$$

Steel coefficients

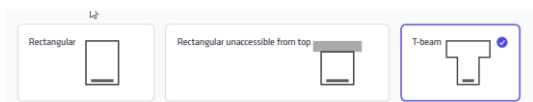
☒ EN-1992-1-1
☐ User defined

ULS Accidental Fire
 γ_s 1.15 1 1

El coeficiente γ_s se define de acuerdo con el Eurocódigo 2, para las condiciones de ELU, Accidental e Incendio.

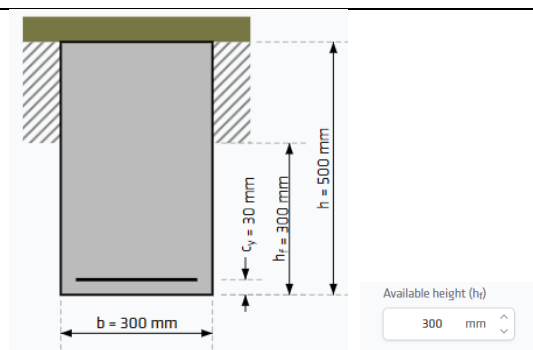
El usuario puede modificarlo seleccionando la opción "Definido por el usuario".

3.7.3 SECCIÓN DE LA VIGA

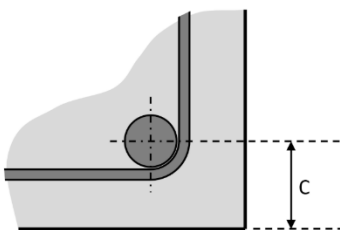


El usuario puede seleccionar una de las siguientes geometrías básicas de sección:

- Rectangular
- Rectangular no accesible desde la parte superior
- Sección en T



Para las secciones "Rectangular no accesible desde arriba" y "T", se deben definir la anchura, la altura y la altura disponible (h_f). El parámetro h_f representa el espacio disponible en los laterales verticales de la viga para instalar el sistema de refuerzo a cortante de FRP, considerando la posible presencia de una losa que limite la aplicación de envoltorios en forma de U (por ejemplo, tejidos SikaWrap®).



El **recubrimiento mecánico** (c_y) se define como la distancia entre el centro de la armadura longitudinal y la superficie exterior del hormigón, calculada como la suma de recubrimiento de hormigón, diámetro del estribo y la mitad del diámetro de la barra longitudinal.

Shear bars

Reinforcing bars along the sides.

Shear rebars number

2

Shear rebars diameter

8 mm

Spacing of shear rebars (s)

200 mm

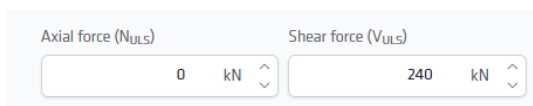
Angle of shear rebars (α)

90 deg

El refuerzo interno a cortante se define mediante los siguientes parámetros:

- **Número de ramas de los estribos:** normalmente 2 para estribos simples o 4 para dobles
- **Diámetro de los estribos**
- **Separación entre estribos:** distancia entre centros
- **Ángulo de los estribos:** por defecto 90° (estribos verticales).

3.7.4 CARGAS

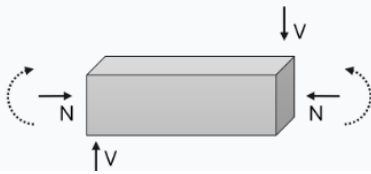


En el diseño de refuerzo a cortante puede considerarse una **fuerza axial** actuando sobre la sección, lo cual es útil para vigas inclinadas o columnas. Cada combinación de carga se define mediante una fuerza axial y un esfuerzo cortante.

NOTA: La carga axial solo influye en el componente cortante-compresión ($V_{Rd,c}$). Cuando el mecanismo de fallo está gobernado por cortante-tracción

($\cot(\theta)=2.50$), la carga axial no afecta al cortante resistente (V_{Rd}).

Sign convention



Cada carga puede asignarse como positiva o negativa según la convención mostrada en la interfaz. Esto permite analizar condiciones de cortante-tracción, cortante-compresión o cortante puro.

Ultimate limit state (ULS) loads

Combination loads for strength checks.

Las siguientes combinaciones de diseño están definidas por carga axial de diseño (N_{ULS}) y esfuerzo cortante de diseño (V_{ULS}), para la combinación de cargas ULS.

Fire loads

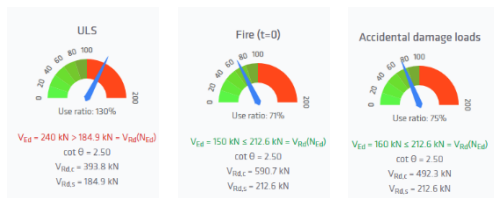
Combination loads for fire limit state.

Esto representa los valores de diseño de la carga axial (N_{fi}) y del esfuerzo cortante de diseño (V_{fi}) (sección 2.1.3), utilizando la combinación cuasi-permanente de acciones definida en la norma BS EN 1990. Para la verificación, se asumen los coeficientes parciales de seguridad de los materiales correspondientes a la situación de diseño accidental.

Checks for accidental damage

Set whether structural verifications for accidental damage must be performed.

Esta verificación preliminar es obligatoria (sección 2.1.2). Representa los valores de diseño de la carga axial (N_{damage}) y del esfuerzo cortante de diseño (V_{damage}) que actúan en el estado límite de servicio, utilizando la combinación frecuente de acciones definida en la norma BS EN 1990. Para la verificación, se asumen los coeficientes parciales de seguridad de los materiales correspondientes a la situación de diseño accidental.



Warning:

- Section is failing with fire.

Errors:

- Section fails for accidental damage. This accidental damage check can be disabled by the user.

Para las combinaciones de ELU, Incendio ($t = 0$) y Daños Accidentales, se muestran los indicadores de uso de la sección no reforzada (véase sección **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

Si el indicador de uso para las cargas de Incendio o Daños Accidentales supera el 100%, se mostrará un mensaje de error indicando que la verificación preliminar ha fallado.

NOTA: Aunque es posible continuar con el diseño del refuerzo, no se podrá generar el informe de resultados. El error se muestra en el panel Cargas y aparece indicado con un icono rojo en la barra lateral (sección **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

3.7.5 REFUERZO



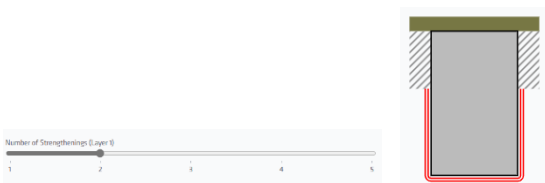
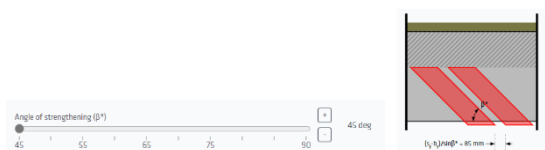
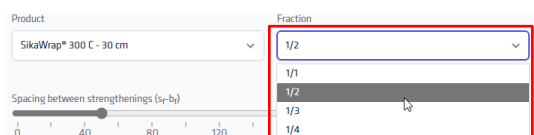
En la parte superior izquierda del panel *Refuerzo* se muestran los **esquemas disponibles de refuerzo con FRP**. El usuario debe seleccionar el esquema a utilizar (véase la sección **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** para más información).

Los esquemas disponibles son:



- **Envoltente completa** (SikaWrap® fabrics), cuando las cuatro caras de la viga son accesibles.
- **Envoltente en U** (SikaWrap® fabrics), válida para todas las geometrías.
- **Configuración a dos caras** (SikaWrap® fabrics or Sika® CarboDur® plates), válida para todas las geometrías.
- **Perfiles NSM** embebidos en ranuras (si están disponibles localmente): no aplicable a vigas de poca altura.

NOTA: La disponibilidad de los sistemas de refuerzo depende del catálogo nacional seleccionado. Por ejemplo, si el sistema NSM no está disponible en el país, la opción no se mostrará. En las secciones “Rectangular no accesible desde arriba” y “T”, la opción de envoltente completa no estará disponible.



Errors:

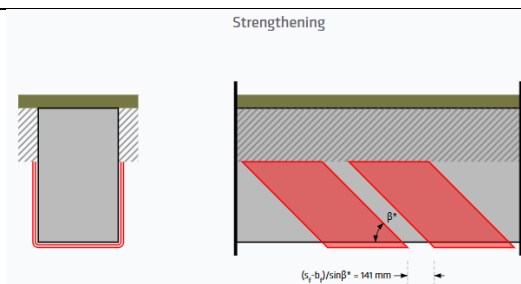
- The strengthening does not meet the requirements.

El usuario debe definir los siguientes parámetros:

- **Producto:** Seleccionar el sistema FRP en el menú desplegable
- **Fracción:** Para algunos productos, es posible utilizar una fracción del ancho original del tejido. Por ejemplo, al seleccionar SikaWrap®-300 C – 60 cm, el usuario puede optar por utilizar el ancho completo o elegir 1/2, 1/3 o 1/4 del ancho original. Esto da como resultados anchos de tejido correspondientes de 30 cm, 20 cm o 15 cm.
- **Ángulo del refuerzo:** El software permite diseñar las bandas con una inclinación según sea necesario. El control deslizante permite seleccionar el ángulo de inclinación de las bandas con respecto al eje de la viga.
- **Numero de capas de refuerzo:** Este control deslizante permite al usuario seleccionar el número deseado de capas de refuerzo a cortante.

NOTA: El software verifica automáticamente los límites geométricos del refuerzo conforme a la norma TR55.

Si no se cumplen dichos límites (véase sección **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), se mostrará un mensaje de error.)



El software muestra la sección reforzada con los sistemas FRP en dos vistas verticales: una perpendicular y otra paralela al eje de la viga. Esto permite al usuario visualizar el número de capas, su disposición y el ángulo de las bandas.

El indicador de razón de utilización (Use Ratio) para la combinación ULS de la sección reforzada (ubicado a la derecha) muestra el resultado final del cálculo. Un valor inferior al 100 % indica que la verificación es satisfactoria y que la sección cumple con los requisitos utilizando el sistema de refuerzo y la cantidad de FRP seleccionados.

La fuerza cortante de diseño (V_{Ed}) se compara con la resistencia al corte reforzada (V_{Rd}).

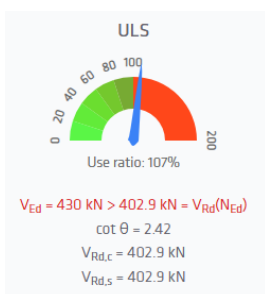
El valor de $\cot \theta$ (siempre entre 1 y 2,5) se muestra debajo del indicador de razón de utilización, junto con los valores individuales de cada componente de resistencia al corte. Para la sección reforzada se cumple:

$$V_{Rd} = \min (V_{Rd,c}; V_{Rd,s} + V_{Rd,f})$$

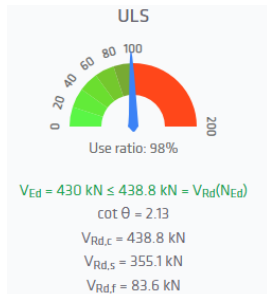
NOTA: en este ejemplo se puede apreciar lo descrito en la sección **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..** En la parte izquierda se muestra la razón de utilización ULS para la sección sin refuerzo. En este caso, $\cot \theta = 2,42$, valor que maximiza la resistencia al corte V_{Rd} al garantizar un equilibrio entre los mecanismos de corte-tracción y corte-compresión, de modo que $V_{Rd,c} = V_{Rd,s}$.

A la derecha se presentan los resultados de la sección reforzada, donde se observa un efecto de inclinación más pronunciado del puntal de compresión ($\cot \theta = 2,13 < 2,42$) asociado a la presencia del FRP. En este caso, $V_{Rd,c} = V_{Rd,s} + V_{Rd,f}$

Sección sin refuerzo



Sección Reforzada



Product details	
Product	SikaWrap® 300 C - 30 cm
Fraction	1/1
Type of fibers	C
Width (b ₁)	300 mm
Single layer thickness (t ₁)	0.167 mm
Characteristic elastic modulus (E _{Rd})	220 GPa
Characteristic ultimate strain (ε _{Rd})	14.5 ‰
Strength (f _{Rd})	3200 MPa
Partial safety factor on strain (γ _{FRP2})	1.25
Partial safety factor on elastic modulus (γ _{FRP3})	1.10
Partial safety factor on material (γ _{FRPm})	1.20
Effective strain (ε _{FRP})	2.8 ‰

Para los sistemas FRP seleccionados (SikaWrap®, Sika® CarboDur®, etc.) se proporcionan todas las propiedades físicas y mecánicas relevantes, incluidos los factores parciales de seguridad utilizados en el cálculo y la verificación del estado límite de servicio del sistema de refuerzo.

3.7.6 INCENDIO

El software evalúa la resistencia del elemento no reforzado en caso de incendio, calculando los perfiles de temperatura previstos en la sección de hormigón y la resistencia real al fuego de acuerdo con las cargas térmicas, tal como se indica en el TR55, sección 5.7.1.

Fire

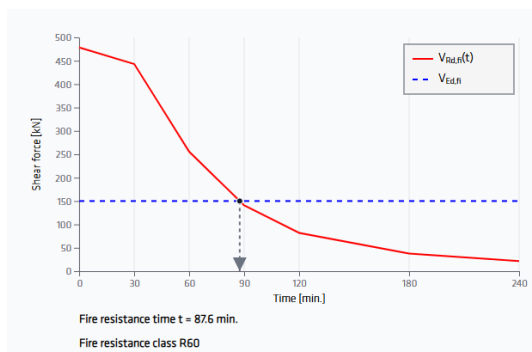
Checks for fire resistance

Set whether structural verifications for fire must be performed.

Perform checks? ☐

Select faces exposed to fire

top face ☐ side faces ☒ bottom face ☒



Show results at time

Time [min.]

Results at time $t = 60$ min

Reduced width	227 mm
Reduced effective depth	433 mm
Temperature of transversal reinforcements	565 °C
Reduced design yielding stress of transversal reinforcements	232 MPa
Reduced area	96705 mm ²
Cotangent of strut inclination	2.50
Shear capacity of tie	255.4 kN
Shear capacity of strut	411.5 kN
Shear capacity	255.4 kN

El usuario puede verificar opcionalmente la resistencia al fuego del elemento en el caso de que el refuerzo del FRP pierda eficacia como consecuencia de las altas temperaturas (consulte la sección 2.1.3 para obtener información adicional). Esta opción se habilita seleccionando el cuadro situado en la opción de fuego.

Los lados del elemento expuestos al fuego pueden definirse por medio de los campos de selección.

El software muestra un diagrama en el que el eje horizontal representa el tiempo y el eje vertical indica el momento flector. Las líneas rojas representan los valores de la resistencia al esfuerzo cortante (V_{Rd}) a lo largo del tiempo. Estos valores se determinan en función de la distribución de temperatura en la sección de hormigón y mediante la aplicación del Método de la Isoterma de 500 °C (sección 2.1.3). La línea azul representa el valor de diseño del esfuerzo cortante bajo condiciones de incendio, denominado $V_{Ed,fi}$.

En la parte inferior del diagrama se indica el momento en que el momento flector resistente es igual al valor de diseño bajo condiciones de incendio, lo que determina la clase de resistencia al fuego.

Un control deslizante (slider) permite visualizar varios datos utilizados para la verificación bajo condiciones de incendio según el Método de la Isoterma de 500 °C. Al modificar el tiempo de exposición al fuego, la tabla muestra:

- El ancho reducido y la profundidad efectiva de la sección (debido a la posición de la isoterma de 500 °C en ese momento)
- La temperatura de la armadura transversal y la correspondiente reducción del límite elástico de diseño
- La capacidad total a cortante y sus componentes, junto con el valor actualizado de $Cot \theta$.

3.7.7 INFORME

SIKA CARBODUR® Calculation Software

FRP STRUCTURAL STRENGTHENING

PROJECT INFORMATION

Client name: _____

Project address: _____

Project name: _____

Contract: _____

Date: 09/09/2025 11:02:04

Calculated by: Andreas Haidinger

Approved by: _____

Remarks: _____

Calculation country: _____

Build version: _____

SIKA BUILDING TRUST

Al finalizar el proyecto, se genera un informe completo en formato PDF.

El informe incluye:

- Datos de diseño
- Datos del elemento
- Cargas
- Detalles del refuerzo
- Resultados

4 NOTAS LEGALES

Al utilizar cualquier parte del software, usted acepta todos los términos y condiciones de este contrato.

El software es de propiedad intelectual y dominio de Sika. El software está protegido por ley, incluyendo, pero sin limitación, las disposiciones de tratados internacionales. El software está licenciado y no está vendido.

EL USO Y/O LA APLICACIÓN DEL SOFTWARE Y LOS RESULTADOS RESPECTIVOS DEBEN SER DETERMINADOS SOLAMENTE POR USUARIOS PROFESIONALES CON CONOCIMIENTOS ESPECIALES EN EL ÁREA DEL USO Y/O LA APLICACIÓN PREVISTO/A. LOS USUARIOS TIENEN QUE VERIFICAR INDEPENDIENTEMENTE LOS RESULTADOS OBTENIDOS ANTES DEL USO. TAMBIÉN TIENEN QUE SEGUIR RIGUROSAMENTE LAS CONDICIONES LOCALES DEL USO Y/O DE LA APLICACIÓN, LAS HOJAS DE DATOS DE PRODUCTOS Y LA LITERATURA RESPECTIVA, EL ESTADO DE LA TÉCNICA, ASÍ COMO LAS NORMATIVA Y REGLAMENTACIÓN LOCALES.

El software está disponible "TAL CUAL" Y SIN NINGUNA GARANTÍA O INDEMNIZACIÓN DE NINGUNA CLASE. **SIKA NO OTORGA GARANTÍAS, CONDICIONES, INDEMNIZACIONES, REPRESENTACIONES O TÉRMINOS, EXPRESOS O IMPLÍCITOS, YA SEA POR ESTATUTO, JURISPRUDENCIA, COSTUMBRE, USO O POR CUALQUIER OTRA FORMA EN RELACIÓN CON EL USO DEL SOFTWARE.**

Sika no será responsable de ningún daño consecuente, punitivo, incidental, ejemplar o especial (incluyendo, entre otros, la pérdida de oportunidades comerciales o de beneficios) derivados de la evaluación o el uso del software y de los resultados obtenidos.

Esta información y, en particular, las recomendaciones relativas a la aplicación y uso final del producto están dadas de buena fe, basadas en el conocimiento actual y la experiencia de Sika de los productos cuando son correctamente almacenados, manejados y aplicados, en situaciones normales, dentro de su vida útil y de acuerdo con las recomendaciones de Sika. En la práctica, las posibles diferencias en los materiales, soportes y condiciones reales en el lugar de aplicación son tales, que no se puede deducir de la información del presente documento, ni de cualquier otra recomendación escrita, ni de consejo alguno ofrecido, ninguna garantía en términos de comercialización o idoneidad para propósitos particulares, ni obligación alguna fuera de cualquier relación legal que pudiera existir. El usuario debe ensayar la conveniencia de los productos para la aplicación y la finalidad deseadas. Sika se reserva el derecho de modificar las propiedades de sus productos. Se reservan los derechos de propiedad de terceras partes. Los pedidos son aceptados en conformidad con los términos de nuestras vigentes Condiciones Generales de Venta y Suministro. Los usuarios deben conocer y utilizar la versión última y actualizada de las Hojas de Datos de Productos, copias de las cuales se mandarán a quién las solicite.

Salvo que se indique lo contrario, toda la información, texto, imágenes gráficas, características o funciones, y el diseño contenido en este software son propiedad exclusiva de Sika y no podrán ser copiados o distribuidos, en su totalidad o en parte, sin el consentimiento expreso y por escrito de la Compañía.

Al facilitar información a Sika, usted concede a la Compañía la licencia no restringida e irrevocable para utilizar, reproducir, exhibir, modificar, distribuir y reproducir tal información. La información personal será utilizada por Sika sólo para procesar solicitudes de información efectuadas por el usuario o para la comercialización de nuestros productos y servicios.

Este contrato de licencia se registrará e interpretará de conformidad con las leyes substantivas vigentes en Suiza. Este contrato no se registrará por las disposiciones sobre el conflicto de leyes de cualquier país. Los tribunales respectivos de Zúrich en Suiza tendrán la jurisdicción exclusiva sobre las disputas relacionadas con este contrato.

Sika® y CarboDur® son marcas registradas de Sika AG..

Todos los demás productos y nombres de marcas pueden ser marcas comerciales o marcas registradas de sus respectivos propietarios.

© Copyright Sika Services AG 2025

SIKA S.A.U.
TM Engineered Refurbishment
C/ Aragoneses, 17
Madrid
España
www.sika.com

Versión realizada por
Suleiman Mesto
Mail: @es.sika.com

MANUAL DEL USUARIO - SOFTWARE SIKA® CARBODUR® Spanish
BASADO EN TR 55 Y EC2
Enero 2026 v. 1.0
ID: 870.26.10
Refurbishment