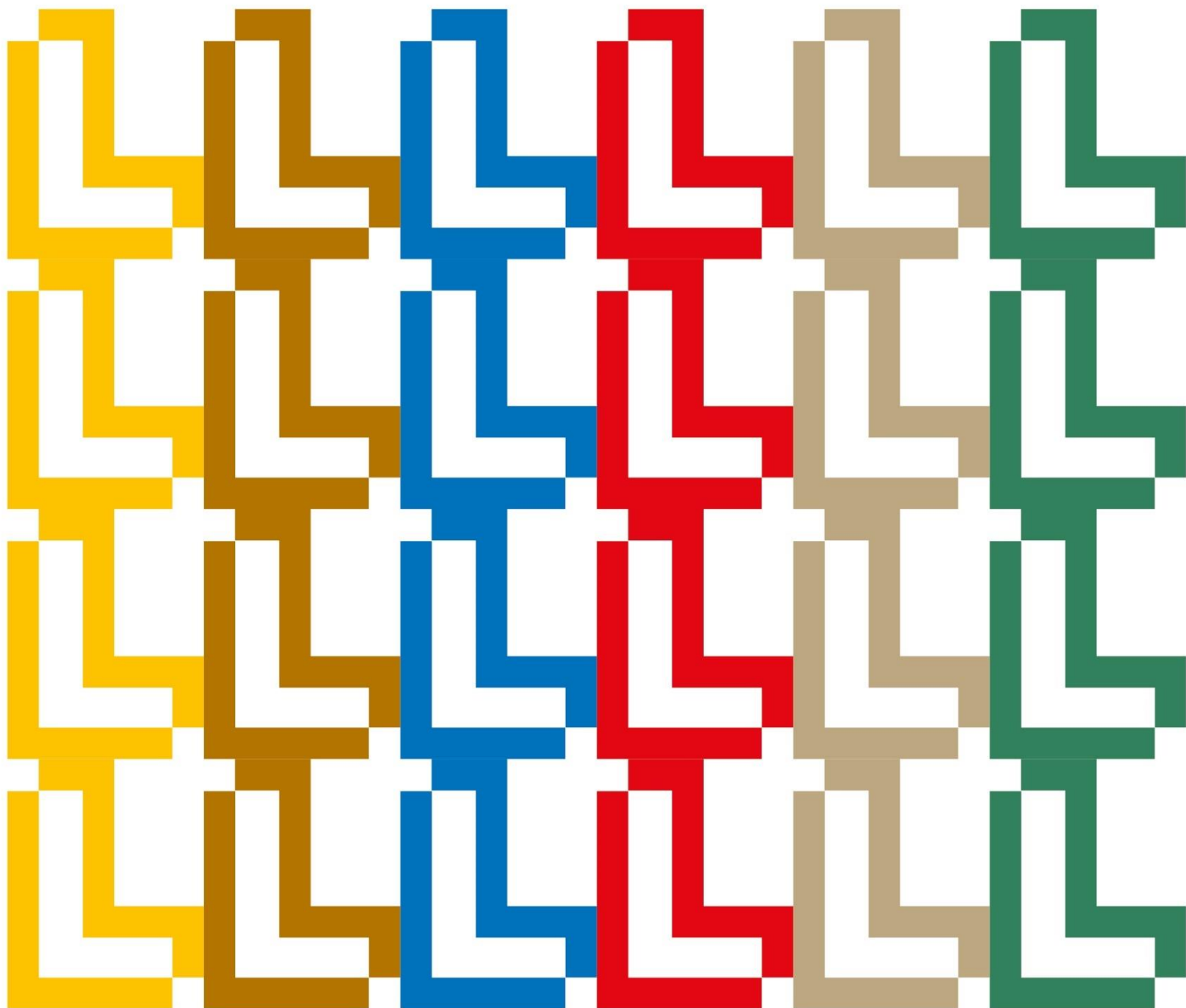




Guía y validación

Guía de uso, validación y referencias normativas para la consolidación de forjados mixtos hormigón - hormigón

ÍNDICE

1. GUÍA DEL USUARIO	3
1.1. INTRODUCCIÓN	3
1.2. UTILIZACIÓN DEL PROGRAMA	4
1.2.1. PANTALLA PRINCIPAL	4
1.2.2. PARÁMETROS PERSONALIZADOS	5
1.2.3. MATERIALES	6
1.2.4. GEOMETRÍA	9
1.2.5. ARMADURA	11
1.2.6. CARGAS	13
1.2.7. VERIFICAR	15
1.2.8. NUEVA VIGUETA	18
1.2.9. COMPROBACIÓN DE LAS NUEVAS VIGUETAS	21
2. REFERENCIAS DE CÁLCULO	22
2.1. NORMAS DE REFERENCIA	22
2.2. CÁLCULO DE RESISTENCIA A FLEXIÓN ELU	22
2.3. CÁLCULO DE LA RESISTENCIA A CORTANTE	23
2.4. COMPROBACIÓN Tensión DE DESLIZAMIENTO EN LA SUPERFICIE DE CONTACTO CON LA NUEVA LOSA (CONECTOR QUÍMICO)	25
2.5. EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA DE CÁLCULO DE CONECTORES MECÁNICOS	27
2.5.1. LÍMITES DE APLICACIÓN	27
2.5.2. FALLO POR RUPTURA ACERO DEL ANCLAJE $V_{Rd,s}$	28
2.5.3. FALLO POR CONO DE HORMIGÓN $V_{Rd,cp}$	28
2.5.4. FALLO DEL BORDE DEL HORMIGÓN $V_{Rd,c}$	31
2.6. CÁLCULO DEL DESLIZAMIENTO Y LA ADHERENCIA EN LA INTERFAZ (CONECTORES MECÁNICOS)	34
2.7. CÁLCULO DE LA DISTANCIA Y LA DISTRIBUCIÓN DE LOS CONECTORES	37
2.7.1. ESPACIADO VARIABLE	38
2.7.2. DISTANCIA CONSTANTE POR VANO	39
3. VALIDACIÓN DEL CÁLCULO	40
3.1. CASO 1 - FORJADO CON NUEVA LOSA Y CONECTOR QUÍMICO CENTROSTORICO	40
3.2. CASO 2 - FORJADO CON NUEVA LOSA Y PANEL AISLANTE Y CONECTOR QUÍMICO CENTROSTORICO	50
3.3. CASO 3 – NUEVA LOSA DENTRO EL FORJADO	58
3.4. CASO 4 – NUEVA VIGUETA ENCIMA DEL FORJADO	63
3.5. CASO 5 - FORJADO CON NUEVA LOSA Y CONECTOR HORMIGÓN PLUS D12	69



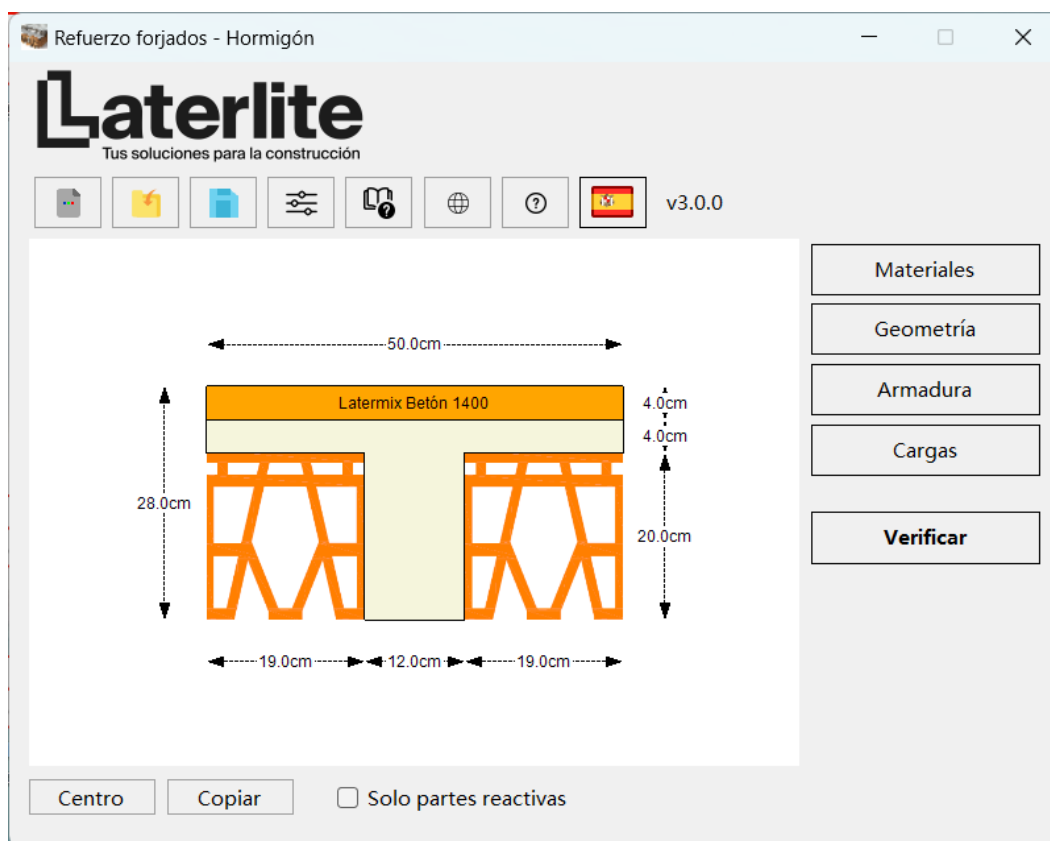
1. GUÍA DEL USUARIO

1.1. Introducción

El programa **Proyecto de refuerzo de forjados de hormigón con conectores CentroStorico y hormigones ligeros estructurales Laterlite** permite el cálculo de forjados reforzados con hormigones estructurales ligeros de Laterlite S.p.A. (denominados **Latermix Betón 1400**, **Latermix Betón 1600**, **Latermix Beton1800** y **Hormigón CentroStorico**) y conectores de Laterlite S.p.A. (denominados **Conector Químico CentroStorico**, **Conector Hormigón Plus D12**, **Mini Conector Hormigón**).

El programa realiza las siguientes comprobaciones:

- Verificaciones de flexión positiva y negativa a Estado Límite Último (ELU) del forjado existente y reforzado;
- Verificación a cortante a Estado Límite Último (ELU) para elementos sin refuerzo específico a cortante del forjado existente y del forjado reforzado;
- Comprobación del deslizamiento en la superficie de contacto con la nueva losa, si se prevé utilizar el **Conector Químico CentroStorico** como sistema de conexión entre el forjado existente y la nueva losa;
- Cálculo de la resistencia de cálculo del **Mini Conector Hormigón** o **Conector Hormigón Plus D12** y cálculo de la separación (variable o constante por vano) de los conectores, en caso de que el **Mini Conector Hormigón** o **Conector Hormigón Plus D12** vaya a utilizarse como sistema de conexión entre el forjado existente y la nueva losa.

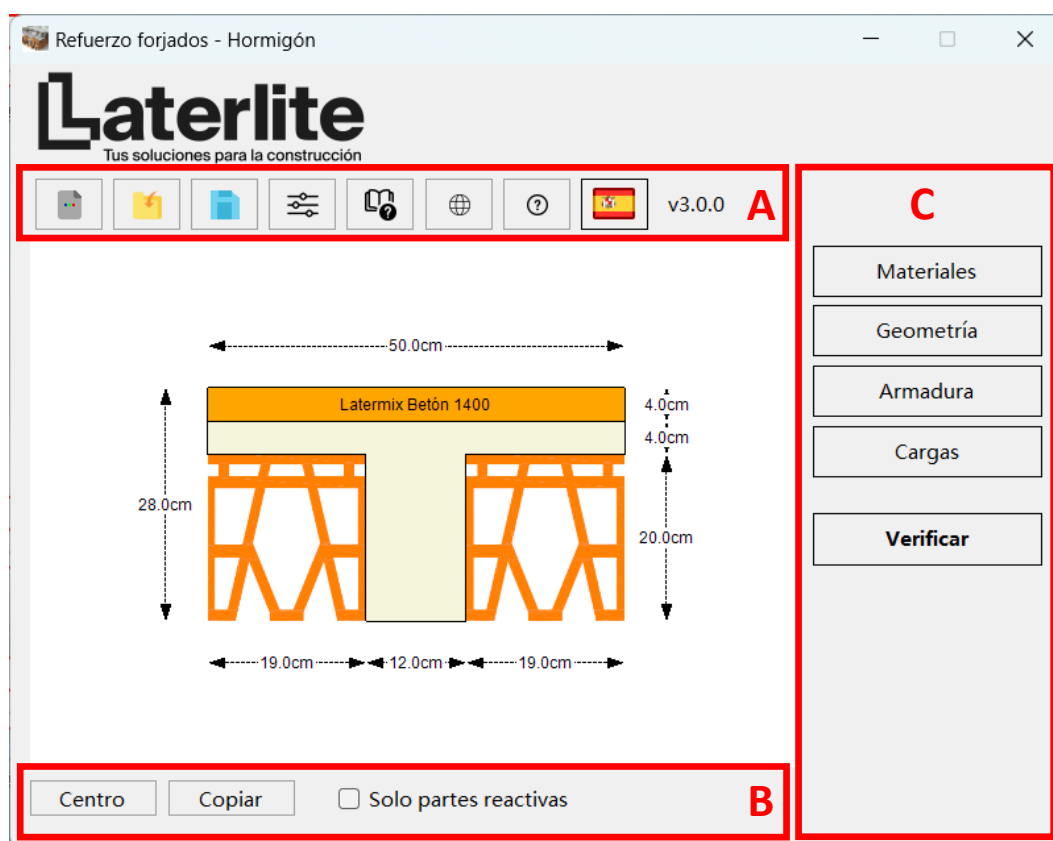


Si no se comprueba el forjado consolidado utilizando sólo la losa de hormigón estructural ligero y **Conector Químico CentroStorico**, el programa permite dimensionar y verificar una intervención de refuerzo con nuevas viguetas en el forjado existente (dentro el forjado o encima del forjado) utilizando los hormigones estructural ligeros de Laterlite S.p.A.; mientras que si no se verifica el forjado reforzado utilizando sólo la losa de hormigón estructural ligero y conectores mecánicos, el programa sugiere dimensionar las nuevas viguetas, proporcionando **Conector Químico CentroStorico**.

1.2. Utilización del programa

A continuación, se describen las pantallas y los comandos del programa.

1.2.1. Pantalla principal



La pantalla principal del programa consta de 3 botoneras (superior A, inferior B y derecha C) y el dibujo de la sección de la vigueta, acotada en *cm*.

Para los botones del grupo A (en orden de la izquierda a la derecha):

- **Nuevo** permite crear un nuevo archivo;
- **Abrir** permite abrir un archivo existente con la extensión *.//1*;
- **Guardar** guarda el archivo actual con la extensión *.//1*;
- **Parámetros personalizados** permite modificar determinadas opciones de cálculo estándar;
- **Guía** abre este documento de guía y validación;



- **Web** abre www.laterlite.es;
- **Información** abre la pantalla con información sobre el programa y las licencias;
- **Idioma** permite seleccionar el idioma del programa entre italiano, inglés, francés y español. Es necesario reiniciar la aplicación para cambiar de idioma.

Para los botones del grupo B (en orden de la izquierda a la derecha):

- **Centrar** permite centrar el dibujo de la sección del forjado dentro de la pantalla dedicada;
- **Copiar** permite copiar el dibujo actual como una imagen;
- **Sólo partes reactivas** muestra sólo las partes resistentes de la sección si está activada.

Los botones del grupo C permiten introducir la información necesaria para el cálculo, en el orden propuesto para trabajar con el programa. Consulte los párrafos siguientes para obtener una descripción detallada.

1.2.2. Parámetros personalizados

Parámetros personalizados	
¿Usar parámetros dúctiles?	No
Altura del alma de hormigón [cm]	3
Base del alma de hormigón [cm]	8
Ángulo θ para comprobación a cortante (0=buscar rotura equilibrada) [°]	0
Puntos por vigas	30

OK

La ventana permite configurar las siguientes opciones de cálculo:

- **¿Utilizar parámetros dúctiles?** permite seleccionar si utilizar parámetros dúctiles o frágiles para el hormigón y el acero existentes. Por defecto, se utilizan parámetros frágiles. Para más especificaciones, consultar la sección *Materiales*;
- **Altura del alma de hormigón** permite establecer el espesor de cualquier panel aislante en *cm*;
- **Base del alma de hormigón** permite fijar el ancho de separación entre dos paneles de aligeramiento o, dicho de otro modo, el ancho del alma de hormigón estructural ligero que se debe realizar si hay aligeramiento en *cm*;
- **Ángulo θ para comprobación a cortante** permite especificar un ángulo, en grados, entre 21,8° y 45° para la verificación a cortante de las nuevas viguetas. Si el ángulo es 0 (por defecto), el programa busca automáticamente una fractura equilibrada;
- **Puntos por vigas** permite elegir cuántos puntos discretizar cada forjado analizado (se puede introducir un número entre 10 y 100).



1.2.3. Materiales

La ventana **Materiales** permite la introducción de las características mecánicas del hormigón y del acero existentes, así como la definición de los Niveles de Conocimiento y de los Factores de Confianza correspondientes, y la selección del sistema de conexión y del hormigón ligero estructural que se utilizarán para la construcción de la nueva losa colaborante.

The screenshot shows the 'Materiales' window with the following details:

- Hormigón**
 - Resistencia: Valor de informe (dropdown)
 - fck [MPa]: 20.0 (input field)
 - Clase: C20/25 (dropdown)
 - Nivel de conocimiento: LC3 (dropdown)
 - FC: 1.00 (input field)
- Acero de armadura**
 - Resistencia: Valor de informe (dropdown)
 - fyk [MPa]: 450.0 (input field)
 - Clase: B450C (dropdown)
 - Nivel de conocimiento: LC3 (dropdown)
 - FC: 1.00 (input field)
- Soluciones de refuerzo**
 - Hormigón estructural ligero: Latermix Betón 1400 (dropdown)
 - Conexión: Conector Químico CentroStorico (dropdown)

At the bottom, there is a link [Cambia otros parámetros](#) and an **Aplicar** button.

La casilla Hormigón permite introducir las propiedades mecánicas del hormigón existente eligiendo entre las siguientes opciones:

- **Valor de informe** permite elegir la clase resistente entre las propuestas en el menú desplegable;
- **Valor de pruebas** permite introducir el valor medio de resistencia f_{cm} obtenido a partir de las pruebas realizadas;
- **Valor personalizado** permite la introducción directa de la resistencia de proyecto f_{cd} .

La casilla Acero de armadura permite introducir las propiedades mecánicas del acero existente, eligiendo entre las siguientes opciones:

- **Valor de informe** permite elegir la clase resistente entre las propuestas en el menú desplegable;
- **Valor de pruebas** permite introducir el valor medio de resistencia f_{ym} obtenido a partir de los ensayos realizados;
- **Valor personalizado** permite la introducción directa de la resistencia de proyecto f_{yd} .



Para cada material existente, la casilla Nivel de conocimiento permite seleccionar, mediante un menú desplegable, el Nivel de conocimientos alcanzado y define el Factor de confianza correspondiente. Es posible elegir un Nivel de Conocimiento "Personalizado" y definir a continuación el valor del Factor de Confianza.

Por último, la casilla Soluciones de refuerzo permite seleccionar el hormigón estructural ligero de Laterlite S.p.A. que se utilizará para la construcción del nuevo forjado colaborante entre **Latermix Betón 1400**, **Latermix Betón 1600**, **Latermix Beton1800** y **Hormigón CentroStorico** y elegir el sistema de conexión forjado existente – nueva losa entre **Conector Químico CentroStorico**, **Conector Hormigón Plus D12** y **Mini Conector Hormigón**.

Los comportamientos de los materiales considerados en el cálculo son los siguientes:

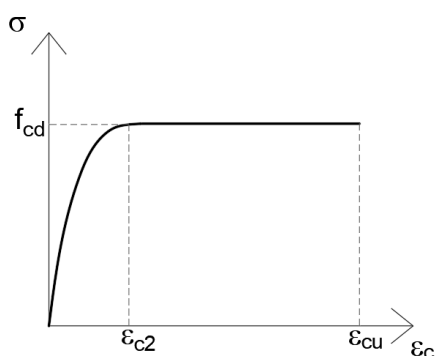


Diagrama tensión-deformación del hormigón existente

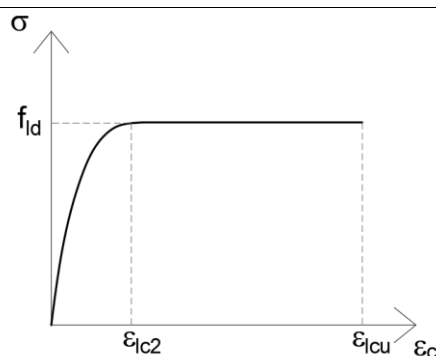


Diagrama tensión-deformación del hormigón *Latermix*

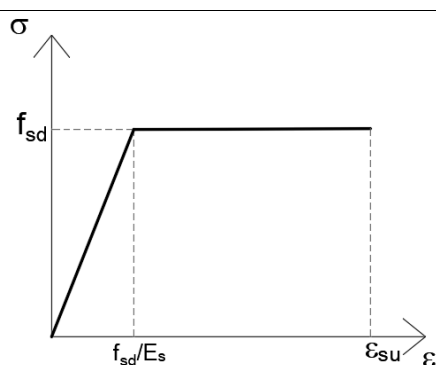


Diagrama tensión-deformación del acero B450C y del acero existente en el caso de que no se haya limitado a un comportamiento elástico



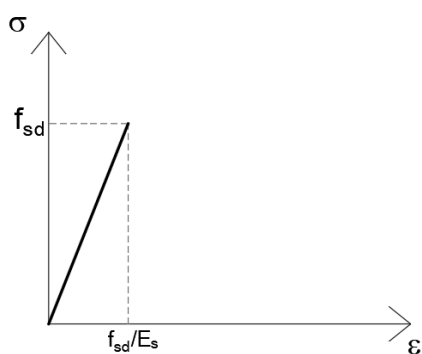


Diagrama tensión-deformación del acero existente en el caso de que se haya limitado a un comportamiento elástico

Las resistencias de proyecto de los materiales se determinan según la tabla siguiente:

	COMPORTAMIENTO FRÁGIL	COMPORTAMIENTO DÚCTIL
VALOR DE INFORME	$f_{cd} = \frac{0.85f_{ck}}{\gamma_c FC}$	$f_{cd} = \frac{0.85f_{ck}}{FC}$
VALOR DE PRUEBAS	$f_{cd} = \frac{f_{cm}}{\gamma_c FC}$	$f_{cd} = \frac{f_{cm}}{FC}$
VALOR PERSONALIZADO	\	\

La opción **Parámetros materiales** permite modificar los coeficientes parciales de los materiales existentes y la opción de limitar el acero existente al comportamiento elástico.

Pulse **Aplicar** para guardar las opciones seleccionadas. El botón **Aplicar** se colorea de rojo para indicar el cambio realizado en los parámetros de la ventana y vuelve a color negro tras ser pulsado.



1.2.4. Geometría

La ventana **Geometría** permite establecer las dimensiones del forjado existente y de la nueva losa.

Geometría															
<table border="1"> <tr> <td>Espesor nueva losa</td> <td>4</td> <td>cm</td> </tr> <tr> <td>Espesor losa existente</td> <td>4</td> <td>cm</td> </tr> <tr> <td>Base vigueta</td> <td>12</td> <td>cm</td> </tr> <tr> <td>Altura vigueta</td> <td>20</td> <td>cm</td> </tr> <tr> <td>Intereje viguetas</td> <td>50</td> <td>cm</td> </tr> </table>	Espesor nueva losa	4	cm	Espesor losa existente	4	cm	Base vigueta	12	cm	Altura vigueta	20	cm	Intereje viguetas	50	cm
Espesor nueva losa	4	cm													
Espesor losa existente	4	cm													
Base vigueta	12	cm													
Altura vigueta	20	cm													
Intereje viguetas	50	cm													
☐ Proporcionar panel aislante															
Esquema estático del forjado Número de vanos: 1 <table border="1"> <thead> <tr> <th>n.</th> <th>Luz [cm]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>500</td> </tr> </tbody> </table>	n.	Luz [cm]	1	500											
n.	Luz [cm]														
1	500														
Grado de rigidez en extremos Izquierda: Rigidez nula (0.0) Derecha: Rigidez nula (0.0)															
<input type="button" value="Aplicar"/>															

En concreto, los parámetros a introducir son:

- el espesor de la nueva losa colaborante de hormigón estructural ligero (el espesor mínimo de la losa es de 4 cm para **Conector Químico CentroStorico** y **Mini Conector Hormigón** y es de 5 cm para **Conector Hormigón Plus D12**);
- el espesor de la losa existente (si la hay);
- el ancho de la vigueta existente;
- la altura de la vigueta existente;
- la separación de las viguetas existentes.

La opción **Proporcionar panel aislante**, si está activada, inserta un panel (poliestireno, EPS, ...) entre el forjado existente y el nuevo, creando una nueva sección en T. La definición del espesor del panel de aligeramiento y de la base de la conexión se realiza a través del menú **Parámetros personalizados** (ver apartado 1.2.2.), que se abre automáticamente al marcar la opción por primera vez. La opción no está presente cuando se utiliza el **Mini Conector Hormigón**.

El cuadro Diagrama estático de forjados contiene ajustes para el número y la luz L de los vanos de los forjados y el grado de rigidez que debe adoptarse en los extremos izquierdo y derecho.

Es posible calcular forjados con un máximo de cuatro vanos; el número de vanos se define mediante el menú correspondiente, mientras que la introducción de la luz de cada vano en cm se realiza desde el teclado en la tabla correspondiente.



Las opciones de rigidez en los extremos son:

- Rigidez nula (momento aplicado en el extremo igual a 0);
- Rigidez muy baja (momento aplicado en el extremo considerado igual a $-qL^2/48$, con carga q por metro lineal en combinación con el Estado Límite Último y la luz L del vano);
- Rigidez baja (momento aplicado en el extremo considerado igual a $-qL^2/36$, con carga q por metro lineal en combinación con el Estado Límite Último y la luz L del vano);
- Semi-empotramiento (momento aplicado en el extremo considerado igual a $-qL^2/24$, con carga q por metro lineal en combinación con el Estado Límite Último y la luz L del vano);
- Empotramiento (momento aplicado en el extremo considerado igual a $-qL^2/12$, con carga q por metro lineal en combinación con el Estado Límite Último y la luz L del vano)*;
- Extremo libre
- Rigidez personalizada (permite definir el denominador X del momento que debe aplicarse al extremo considerado igual a $-qL^2/X$, con q carga por metro lineal en combinación con el Estado Límite Último y L vano del vano);

*Sólo en el caso de un forjado de un solo vano, con "Extremo libre" seleccionado en un extremo, debe seleccionarse "rigidez de enclavamiento" en el otro extremo y aplicarse un momento de $-qL^2/2$ para garantizar el equilibrio de la estructura.

Pulse **Aplicar** para guardar las elecciones realizadas. El botón **Aplicar** se colorea de rojo para indicar el cambio realizado en los parámetros de la ventana y vuelve a color negro tras ser pulsado.



1.2.5. Armadura

La máscara de armadura permite introducir las armaduras existentes y las nuevas (si las hubiera) para cada vano.

Armature

Campata n.

☐ Armatura diversa agli appoggi

Barre

n. ϕ mm

ϕ mm

Area cm²

Armatura	Area [cm ²]			d
campata 1	sx	centro	dx	[cm]
Nuova		0		2
Sup. esistente		0.50		2
Inf. esistente		0.50		2
Estensione [cm]				
Zona piena [cm]	0		0	

Plot

En primer lugar, es necesario seleccionar el número de vano para el que se va a introducir la armadura mediante el menú **Numero de vanos**. La selección permite que aparezca la tabla de entrada para el vano considerado.

La opción **Armadura diferente en apoyos** permite definir armaduras diferentes entre la zona en el vano (**centro**) y la zona en los apoyos (**izquierda** y **derecha**) y especificar la **Longitud** desde los extremos, en *cm*, de las zonas con armadura diferente:

Armaduras	Área [cm ²]			d
Vano 1	izquie...	centro	derecha	[cm]
Nueva		0		2
Sup. existente		0		2
Inf. Existente		0.2		2
Longitud [cm]				
Longitud en hor...	0		0	

Para cada casilla rellenable, se puede introducir el área en cm² de refuerzo:

- **Nueva** para posibles armaduras en la losa;
- **Superior existente** la armadura superior de la vigueta existente (si existe);



- **Inferior existente** la armadura inferior de la vigueta existente.

El refuerzo puede insertarse utilizando los comandos de la casilla **Barras**, eligiendo el número y el diámetro del refuerzo y pulsando **Introducir**. El valor de la casilla **Área** se insertará en la celda seleccionada. El comando sólo es válido para celdas activas que puedan contener áreas de refuerzo.

La fila **Longitud de hormigón macizo** permite especificar la extensión de cualquier banda maciza (por ejemplo, una viga de apoyo del forjado) de hormigón presente en los extremos del vano considerado. Esta opción influye en la resistencia a cortante de la sección en la que está presente la zona maciza, ya que afecta al valor de b_w utilizado en la fórmula de resistencia a cortante para elementos sin armadura específica a cortante, y en la resistencia a flexión, ya que modifica la sección resistente del hormigón. El aumento de peso causado por la zona maciza se desprecia.

La última columna **d** indica el recubrimiento de hormigón, definido como se muestra en la pantalla, para cada nivel de armadura.

Por último, el menú **Plot** permite ver la armadura en el dibujo de la sección seleccionando la parte adecuada.

Pulse **Aplicar** para guardar las selecciones realizadas, cuando haya terminado de introducir la información para el vano individual antes de pasar a la siguiente vano. El botón **Aplicar** se colorea de rojo para indicar el cambio realizado en los parámetros de la ventana, y vuelve al color negro después de pulsarlo.

El procedimiento descrito debe repetirse para todos los vanos del forjado considerado.



1.2.6. Cargas

En la ventana **Cargas** se definen todas las cargas que actúan sobre el forjado:

Cargas			
Peso del forjado existente	3.11	kN/m ²	
Nueva losa colaborante	0.62	kN/m ²	
Solera	Latermix Facile	10	kN/m ³
espesor [cm]	4.0	0.40	kN/m ²
Recrecido	Recrecido Cent	6.5	kN/m ³
espesor [cm]	5.0	0.33	kN/m ²
Otros permanentes	1.00		kN/m ²
De uso	A1 - Zonas residenciales: viviendas		
	2.00		kN/m ²
Carga en combinación ELU por una sola viga	5.18		kN/m

[Cambia otros parámetros](#) **Aplicar**

En concreto, se trata de la siguiente información:

- **Peso del forjado existente**, evaluado automáticamente por el software;
- **Nueva losa colaborante**, cuyo peso es evaluado automáticamente por el software.

Es posible actuar sobre cargas permanentes no estructurales y variables de la siguiente manera:

- **Solera**, que permite seleccionar una de las soleras Laterlite S.p.A. e introducir el espesor previsto; si no se prevé, seleccionar "Ausente";
- **Recrecido**, que permite seleccionar uno de los recrecidos Laterlite S.p.A. e introducir el espesor previsto; si no se prevé, seleccionar "Ausente";
- **Otros permanentes**, que permite al usuario introducir la carga total dada por cualquier otra carga permanente (por ejemplo, tabiques, suelo);
- **Variables**, que permite la selección mediante el menú desplegable de las cargas variables proporcionadas por la normativa o, seleccionando "Personalizado", permite la introducción manual de un valor arbitrario.

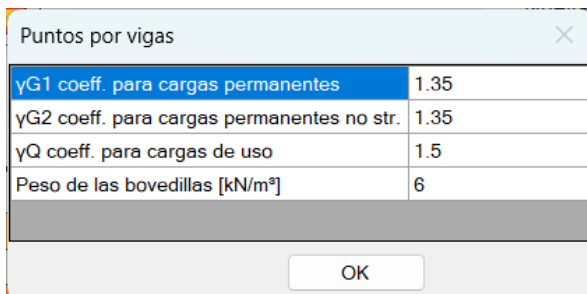
La combinación de cargas ELU se evalúa del siguiente modo:

$$q = i_{tr} \cdot [\gamma_{G1} \cdot (P_{forjado} + P_{losa} + P_{solera} + P_{recrecido}) + \gamma_{G2} \cdot P_{otros} + \gamma_Q \cdot Q_{var}]$$



Con i_{tr} la separación entre viguetas, $P_{forjado}$ el peso del forjado existente, P_{losa} el peso de la nueva losa de hormigón estructural ligero, P_{solera} el peso de la solera (si la hay), $P_{recrecido}$ el peso del recrecido (si lo hay), P_{otros} el peso de otras cargas permanentes y Q_{var} el peso de las cargas variables.

La opción **Cambiar otros parámetros** permite definir los coeficientes de combinación para cargas permanentes, permanentes no estructurales y variables, así como fijar el peso de las bovedillas.



Puntos por vigas	
γG1 coeff. para cargas permanentes	1.35
γG2 coeff. para cargas permanentes no str.	1.35
γQ coeff. para cargas de uso	1.5
Peso de las bovedillas [kN/m²]	6

OK

Pulse **Aplicar** para guardar las opciones seleccionadas. El botón **Aplicar** se colorea de rojo para indicar el cambio realizado en los parámetros de la ventana y vuelve a color negro tras ser pulsado.

La carga sobre la vigueta individual en combinación ELU se actualiza pulsando el botón **Aplicar**.



1.2.7. Verificar

La ventana **Verificar** muestra, para el punto en el que la verificación es más onerosa:

- tensiones de flexión y cortante resultantes del esquema estático establecido;
- las correspondientes resistencias a flexión (momento positivo y momento negativo);
- el cortante resistente;
- la tensión tangencial en la interfaz entre el forjado existente y el nuevo, comparándola con el valor de resistencia de proyecto del **Conector Químico CentroStorico**, que es de 0,72 MPa, si se ha seleccionado este conector en la ventana Materiales.

Para obtener los resultados, pulsar **Calcular**.

The screenshot shows a window titled 'Resultados' with a tab 'Resultados del cálculo'. It displays the following data:

Variable	Value	Unit	Status
Msd+	5.42	kNm	Cumple
Mrd+	10.36	kNm	
Msd-	-10.83	kNm	Cumple
Mrd-	-21.79	kNm	
Vsd	13.00	kN	Cumple
Vrd	16.94	kN	
τ_{sd}	0.10	MPa	Cumple
τ_{rd}	0.72	MPa	

At the bottom, there are two buttons: 'Calcular' and 'Diagramas M, V'.

El botón **Tabla conectores** muestra la tabla que contiene el número y la distancia variable de los conectores **Mini Conector Hormigón** o **Conector Hormigón Plus D12**, si se ha seleccionado uno de estos conectores en la ventana Materiales.



Resultados

Resultados del cálculo

Msd+5.53kNm

Mrd+10.81kNm

Cumple

Msd- -11.07kNm

Mrd- -22.67kNm

Cumple

Vsd13.28kN

Vrd17.23kN

Cumple

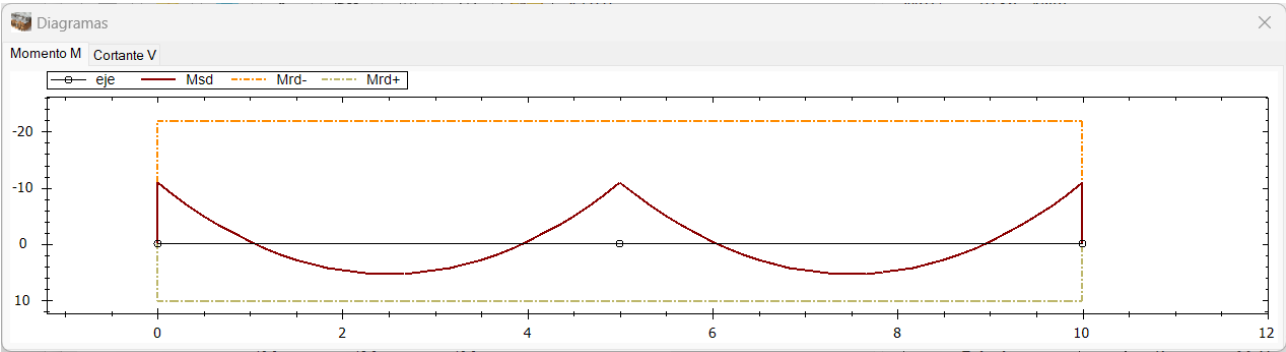
Calcular

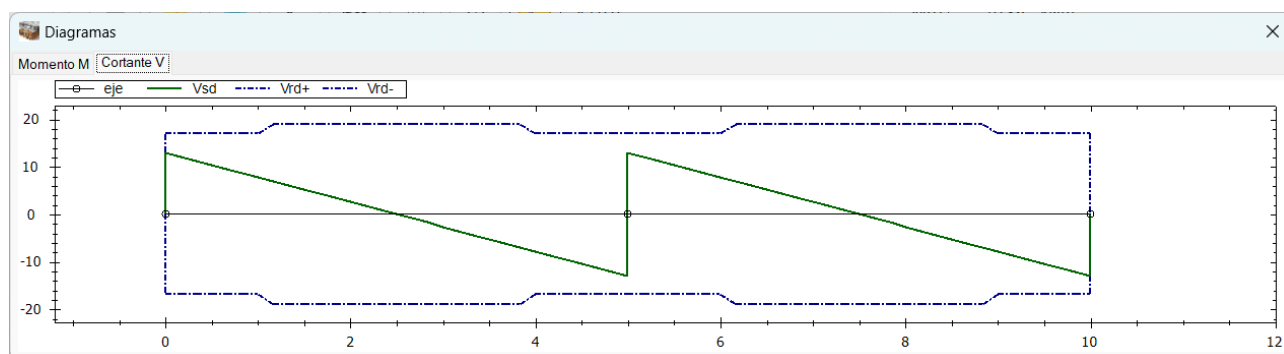
Diagramas M, V

Tabla conectores

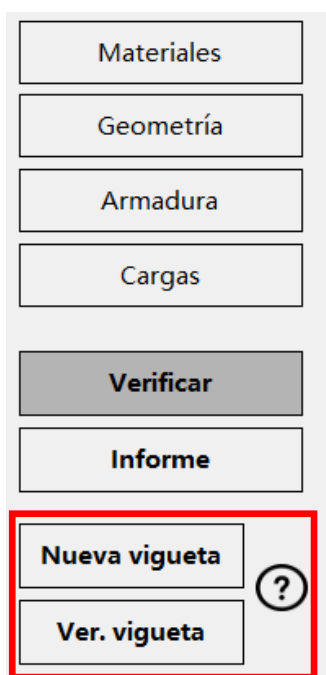
Tabla de conexión - Conector Hormigón Plus D12						
DISTANCIA VARIABLE						
	Vano 1			Vano 2		
	L/4	L/2	L/4	L/4	L/2	L/4
Longitud [cm]	125.0	250.0	125.0	125.0	250.0	125.0
Nº con. [-]	3	6	3	3	6	3
Distancia [cm]	41.7	41.7	41.7	41.7	41.7	41.7
Nº con. por m²				4.8		
Nº con. tot [-]				24		
-						

El botón **Diagramas M, V** muestra los diagramas de tensión y resistencia del forjado analizado.





Una vez realizada la comprobación, aparece el botón **Informe**, a través del cual se puede exportar el informe de cálculo en formato DocX (Word®).



En el caso de que el forjado no cumpla sólo mediante la losa de hormigón estructural ligero, si en la ventana Materiales se ha seleccionado el **Conector Químico CentroStorico**, aparecen los botones **Nueva vigueta** y **Ver. vigueta**, para permitir al usuario dimensionar y verificar una intervención de refuerzo del forjado existente (Dentro el forjado o Encima del forjado) mediante el hormigón estructural ligero de Laterlite S.p.A. El botón **?** abre la guía que ilustra las soluciones dentro el forjado o encima del forjado y proporciona información útil para dimensionar estos refuerzos.

Por otro lado, en el caso de que el forjado no cumpla utilizando sólo la losa de hormigón estructural ligero, si se ha seleccionado en la ventana Materiales el **Mini Conector Hormigón** o el **Conector Hormigón Plus D12**, aparece una alerta en los botones Cálculo / Diagramas M, V / Tabla de conectores, sugiriendo que se realice la nueva vigueta, utilizando el **Conector Químico CentroStorico**. Para poder proceder a la acotación, es necesario cambiar el sistema de conexión en **Materiales**, volver a ejecutar **Calcular** y, a continuación, utilizar los botones **Nueva vigueta** y **Ver. vigueta**.

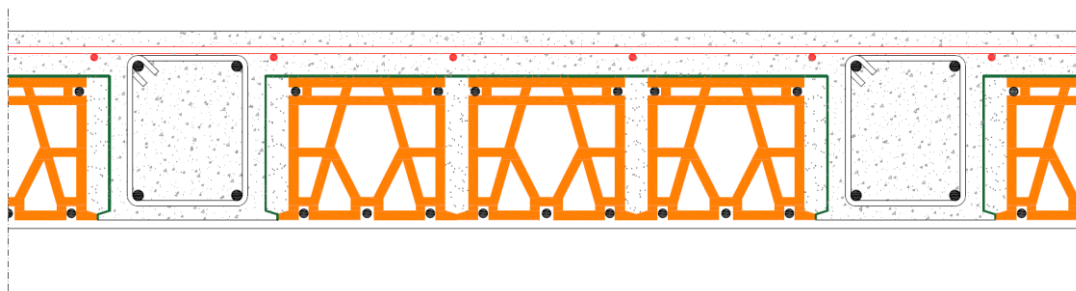


1.2.8. Nueva vigueta

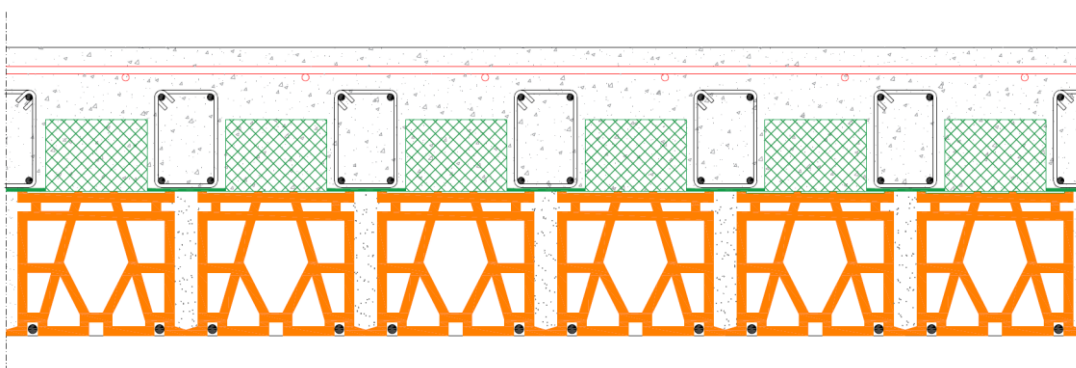
La ventana **Nueva vigueta** permite introducir las dimensiones de las nuevas viguetas después de activar la marca en **Insertar nueva vigueta**.

El menú desplegable de la derecha permite elegir entre:

- **Refuerzo dentro del forjado**, que consiste en la construcción de nuevas viguetas en T de hormigón estructural ligero y convenientemente armado que se construyen en el espesor del forjado existente, con el fin de limitar el espesor total de la intervención, dentro de los huecos específicamente creados mediante la eliminación de hileras de las bovedillas del forjado existente a distancias precisas.



- **Refuerzo encima del forjado**, que consiste en la construcción de nuevas viguetas estructurales de hormigón aligerado en T, convenientemente reforzadas por encima del forjado existente, mediante la colocación de placas aislantes adecuados.



En ambos casos, se requiere la geometría de la nueva viga en T, la sección mostrada es la de la nueva vigueta únicamente.



Nueva vigueta

☒ Insertar nueva vigueta Dentro el forjado ▾

Espesor nueva losa	5	cm
Base nueva vigueta	18	cm
Altura nueva vigueta	24	cm
Intereje nuevas viguetas	100	cm

Barras **Estribos**

n. ϕ

0 5 mm

0 5 mm

Área 0.00 cm²

ci [cm]

3 **Introducir**

Armadura	Área [cm ²]	c [cm]
Nuevas viguetas intradós	2.26	3
Nuevas viguetas extradós	2.26	3

Vano n. 1 **Aplicar**

En concreto, para **nuevas viguetas dentro el forjado**:

- la base de la vigueta no puede ser mayor que la separación de las viguetas existentes;
- la altura de la vigueta no puede superar el espesor total del forjado existente;
- el intereje debe ser múltiplo de la distancia entre viguetas existente.

Mientras que, para las **nuevas viguetas encima del forjado**:

- la altura mínima de la vigueta se fija en 6 cm;
- la altura mínima de la losa se fija en 5 cm;
- la separación puede ser 1 o 2 veces la separación de las viguetas existentes.

Para más información, consultar la guía sobre el dimensionamiento de las nuevas viguetas.

El refuerzo puede insertarse utilizando los controles de la casilla **Barras**, eligiendo el número y el diámetro de las barras y pulsando **introducir**. El valor de la casilla **Área** y el recubrimiento de las armaduras **c** se insertarán en la fila seleccionada.



Barras

Estribos

n.

0

5

mm

0

5

mm

Área

0.00

cm²

ci [cm]

3

Introducir

Armadura	Área [cm ²]	c [cm]
Nuevas viguetas intradós	0	3
Nuevas viguetas extradós	0	3

En la casilla **Estribos**, puede introducir los estribos para rigidizar, en términos de número de lados, diámetro y distancia. Pulse **Modificar** para guardar los valores introducidos.

Barras

Estribos

Lados

2

ϕ

8

mm

Distancia

20.0

cm

2 lados d8/20

Modificar

Los valores de refuerzo deben introducirse para cada vano seleccionándolo mediante la casilla **Vano n.** y pulsando a continuación **Aplicar**.



1.2.9. Comprobación de las nuevas viguetas

La ventana **Resultados nuevas viguetas** del rigidizador muestra las comprobaciones realizadas para la nueva vigueta diseñada, de forma similar a lo visto en el apartado 1.2.7.

Resultados nuevas viguetas

Resultados del cálculo: losa con nuevas viguetas

Carga en combinación ELU por una sola viga		11.73	kN/m	
Msd+	12.22	kNm		Cumple
Mrd+	25.54	kNm		
Msd-	-24.43	kNm		Cumple
Mrd-	-31.89	kNm		
Vsd	29.32	kN		Cumple
Vrd	108.27	kN		
τ_{sd}	0.16	MPa		Cumple
τ_{rd}	0.72	MPa		

Calcular nueva vigueta

Diagramas M, V

Longitud de cálculo para deslizamiento [cm]

82.0

También se muestra la carga combinada ELU aplicada a la nueva vigueta individual, dada por el peso propio de la nueva vigueta, el peso del forjado existente y las cargas permanentes portantes y variables impuestas previamente.

Pulse **Calcular nueva vigueta** para proceder al cálculo.

El botón **Diagramas M, V** muestra los diagramas de tensión y resistencia del forjado reforzado.

En el caso de nueva vigueta dentro el forjado, aparece resaltada la opción de **Longitud de cálculo para deslizamiento** a adoptar. Por defecto, el valor es igual a la diferencia entre la separación de las nuevas viguetas y la base de la nueva vigueta en T. En caso de cambio por parte del usuario, es necesario volver a pulsar **Calcular nueva vigueta** para proceder al cálculo. En caso de nueva vigueta encima del forjado, el software determina automáticamente el ancho de interconexión.



2. REFERENCIAS DE CÁLCULO

2.1. Normas de referencia

- **UNE EN 1992-1-1:2015 “Eurocódigo 2” – Proyecto de estructuras de hormigón. Parte 1-1: Reglas generales y reglas para edificación**
- **UNE EN 1998-3:2018 “Eurocódigo 8 – Proyectos de estructuras sismorresistentes – Parte 3: Evaluación y adecuación sísmica de edificios**
- D.M. 17/01/2018 “Norme Tecniche per le costruzioni”
- CIRCOLARE 21/01/2019, n.7 C.S.LL.PP. Instrucciones para la aplicación de “Norme tecniche per le costruzioni” que se refiere a D.M. 17/01/2018

2.2. Cálculo de resistencia a flexión ELU

Las secciones se calculan mediante un procedimiento numérico para calcular el eje neutro plástico, que sigue los pasos siguientes:

- cada sección se representa internamente con una serie de puntos, a partir de los cuales se evalúan numéricamente las áreas, los momentos estáticos y los momentos de inercia;
- Cada figura de la sección está asociada a su propio material. Del propio material se asumen los valores FC (Factor de Confianza) y γ_m del material, así como las deformaciones y resistencias. Consulte la guía para conocer el comportamiento de los materiales asumidos durante el cálculo;
- se calculan las propiedades geométricas de cada parte de la sección y se obtiene el centro de gravedad;
- A continuación, se analiza la sección trasladando el eje neutro plástico a lo largo de la altura y verificando el equilibrio entre tracción y compresión. Para el cálculo ELU, se fija la deformación última compatible con el material, la geometría y la armadura y se calcula el plano que representa la deformación congruente en todos los puntos de la sección;
- la búsqueda se realiza mediante el método de bisección y, en la convergencia del método, se proporcionan los momentos resistentes, la deformación máxima del hormigón y las deformaciones del acero.

Consulte la sección de verificación de deslizamiento para la especificación del cálculo de la sección en el campo elástico y la evaluación de las propiedades geométricas.



2.3. Cálculo de la resistencia a cortante

La resistencia a cortante se calcula utilizando las relaciones ilustradas a continuación para elementos sin armadura específica para cortante y para elementos con refuerzo transversal resistente a cortante.

Para elementos sin refuerzo a cortante específico (de acuerdo con §4.1.2.3.5.1 y §C4.1.12.1.3.2.1 de las *Norma Tecnica delle Costruzioni*) de acuerdo con el siguiente informe:

$$V_{Rd} = \max \left\{ \left[\frac{0.18}{\gamma_m} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} + 0.15 \cdot \sigma_{cp} \right] \cdot b_w \cdot ds, (v_{\min} + 0.15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot ds \right\}$$

con:

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{ds}} \leq 2$$

$$v_{\min} = 0.035 \cdot k^{1.5} \cdot f_{ck}^{0.5}$$

$$\rho_l = \frac{A_{sl}}{b_w \cdot ds} \leq 0.02$$

$$\sigma_{cp} = 0$$

Y ds altura útil de la sección, A_{sl} área de la armadura longitudinal a tracción, b_w base mínima de la sección reactiva.

En concreto, en función de la elección de las características mecánicas del hormigón existente entre '**Valor de informe**', '**Valor de pruebas**' y '**Valor personalizado**', el software sustituye el término f_{ck} indicado en las fórmulas anteriores por las siguientes formulaciones:

- Valor de informe: ; f_{ck}/FC
- Valor de pruebas: ; f_{cm}/FC
- Valor personalizado: f_{cd}

Con factor de confianza FC.

Si $f_{ck,LATERMIX} < f_{ck}/FC$ o $f_{ck,LATERMIX} < f_{cm}/FC$ o $f_{ck,LATERMIX} < f_{cd}$ dependiendo de la tipología de valor del hormigón existente, se supone que la resistencia del hormigón $f_{ck,LATERMIX}$ en el cálculo de la resistencia a cortante (siendo la mínima entre las resistencias de los dos hormigones existente y Latermix):

$$V_{Rd} = \max \left\{ \left[\frac{0.15}{\gamma_m} \cdot \eta_1 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{lck,LATER.})^{\frac{1}{3}} + 0.15 \sigma_{cp} \right] b_w \cdot ds, (v_{l,\min} + 0.15 \sigma_{cp}) b_w \cdot ds \right\}$$

con:

$$\eta_1 = 0.4 + 0.6 \cdot \frac{\rho}{2200}$$

$$v_{l,\min} = 0.030 \cdot k^{1.5} \cdot f_{lck}^{0.5}$$



$$\rho_l = \frac{A_{sl}}{b_w \cdot d_s} \leq 0.02$$

$$\sigma_{cp} = 0$$

y ρ el valor límite superior de la densidad del hormigón ligero estructural, para la clase de densidad a la que pertenece y con los otros símbolos utilizados anteriormente.

Para los elementos con armadura transversal resistente al cortante (las nuevas viguetas proyectadas con el software), se utilizan las siguientes fórmulas de acuerdo con §4.1.2.3.5.2 y §C4.1.12.1.3.2.2 de *las Norme Tecniche delle Costruzioni*:

$$V_{Rsd} = 0.9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\cot\alpha + \cot\theta) \cdot \sin\alpha$$

$$V_{Rcd} = 0.9 \cdot d \cdot b_w \cdot 0.4 f_{lcd} \cdot \frac{(\cot\alpha + \cot\theta)}{(1 + \cot^2\theta)}$$

$$V_{Rd} = \min(V_{Rsd}, V_{Rcd})$$

Con A_{sw} área de refuerzo transversal (estribos), s distancia estribos, $\alpha = 90^\circ$ y $21.8^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$

Por defecto, el ángulo θ se busca automáticamente para la rotura a cortante equilibrada a menos que se realicen ajustes por parte del usuario.



2.4. Comprobación tensión de deslizamiento en la superficie de contacto con la nueva losa (Conector químico)

Para calcular la perfecta adherencia entre la nueva losa de hormigón estructural ligero y la losa existente, se compara el esfuerzo cortante presente en la interfaz losa-losa existente con el valor de proyecto del Conector Químico CentroStorico, necesario para que las dos partes trabajen juntas correctamente.

Co Coeficiente de homogeneización para zonas con momento positivo:

$$n^+ = \frac{E_s}{\frac{E_{horm,LATERMIX}}{2}}$$

Coeficiente de homogeneización para zonas con momento negativo:

$$n^- = \frac{E_s}{\frac{E_{horm,existente}}{2}}$$

$$\tau_{interfaz} = \frac{V_{sd,max} \cdot S_{int}}{J_n \cdot b} < 0.72 \text{ MPa}$$

donde 0,72 MPa representa el valor de comparación considerado para el Conector Químico CentroStorico, obtenido mediante pruebas experimentales en el Politecnico di Milano.

Los términos de la fórmula de Jourawsky indican:

- $V_{sd,max}$: valor máximo de la fuerza cortante en combinación ELU;
- S_{int} : momento estático (sección parcializada) de la porción por encima de la cuerda respecto a la cual debe calcularse el esfuerzo cortante. Se considera la contribución del hormigón comprimido y/o de la armadura por encima de la cuerda;
- J_n : inercia de la totalidad de la sección parcializada con respecto al eje neutro;
- b : ancho de la cuerda a considerar, igual al ancho mínimo de contacto entre el forjado existente y la nueva losa.

El programa devuelve los valores de tensión y resistencia con el coeficiente de utilización máximo, es decir, donde la relación entre resistencia y esfuerzo es mayor.

La búsqueda del eje neutro elástico se realiza del siguiente modo:

- cada sección se representa internamente con una serie de puntos, a partir de los cuales se evalúan numéricamente las áreas, los momentos estáticos y los momentos de inercia;
- Cada figura de la sección está asociada a su propio material. Los valores FC (Factor de confianza) y γ_m del material se toman del mismo material, así como las deformaciones y resistencias;
- se calculan las propiedades geométricas de cada parte de la sección y se obtiene el centro de gravedad;



- A continuación, se analiza la sección evaluando las deformaciones resultantes de la aplicación del momento y se identifican las partes reactivas calculando las tensiones de cada material presente (hormigón, barras);
- se devuelve la posición del eje neutro.

En particular, se describe el cálculo del área y del momento estático de una sección definida por N puntos x_i, y_i

$$A = \frac{1}{2} \sum_i (x_i y_{i+1} - x_{i+1} y_i)$$

$$S_x = \frac{1}{6} \sum_i (x_{i+1} - x_i)(y_i^2 + y_i y_{i+1} + y_{i+1}^2)$$

Lo mismo ocurre con el momento de inercia.

En particular, para el momento estático de la sección parcial, procedemos como sigue:

- se adquiere la parte de la sección reaccionante, es decir, la zona de hormigón comprimido y la armadura;
- se desplaza el eje horizontal de la sección al eje neutro;
- el momento estático de la sección parcial se calcula considerando únicamente las partes situadas por encima del cordón de verificación, situadas entre la nueva losa de hormigón estructural ligero y el forjado existente en el caso de una losa armada. En el caso de nueva vigueta dentro el forjado, la cuerda se sitúa en la interfaz entre la nueva vigueta y losa superior, mientras que en el caso de nueva vigueta encima del forjado, la cuerda se sitúa en la base de la nueva vigueta.

Lo mismo ocurre con el momento de inercia.

Por último, en el siguiente capítulo de validación se ilustran las fórmulas analíticas en los distintos casos.



2.5. Evaluación de la resistencia de cálculo de conectores mecánicos

La resistencia del conector se evalúa conforme a la norma EN 1992-4:2018:

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

donde:

- $V_{Rd,s}$ es la resistencia de un anclaje para las propiedades mecánicas del acero que lo compone;
- $V_{Rd,cp}$ es la resistencia de un anclaje al desprendimiento del hormigón;
- $V_{Rd,c}$ es la resistencia de un anclaje frente al fallo del borde del hormigón.

Además, la resistencia del sistema de conexión depende en gran medida del estado tensional del hormigón en el que está embebido, por lo que se calculan dos valores diferentes de P_{Rd} :

- $P_{Rd,ck}$ Resistencia de proyecto que se utilizará a efectos de cálculo en aquellas partes del forjado en las que el hormigón existente esté agrietado;
- $P_{Rd,uck}$ Resistencia de proyecto que se utilizará a efectos de cálculo en aquellas partes del forjado en las que el hormigón existente no esté agrietado.

La evaluación y las especificaciones de los párrafos siguientes se refieren a la norma EN 1992-4:2018 con adaptaciones para el caso de las viguetas de forjado.

2.5.1. Límites de aplicación

A continuación, se indican los límites de aplicación del **Mini Conector Hormigón**:

- Base de la vigueta: $b_t \geq 7 \text{ cm}$, indicada en la Especificación Europea de Normas Técnicas de Producto (ETA20/0830). Si no se cumple el límite, el software no realiza el cálculo y se sugiere cambiar a **Conector Químico CentroStorico**;
- Espesor del forjado (igual a la suma de la altura de la vigueta h_t y de la losa existente h_c , si existe): $h_t + h_c \geq 10 \text{ cm}$. Si no se cumple el límite, el cálculo no lo realiza el software y se sugiere pasar al **Conector Químico CentroStorico**;
- Espesor sugerido para la nueva losa: $4 \text{ cm} \leq s_n \leq 5 \text{ cm}$. Si desea crear una losa con un espesor inferior al mínimo, el software sugiere contactar la asistencia técnica, mientras que, si desea crear una losa con un espesor superior a 5 cm, el software sugiere cambiar a **Conector Químico CentroStorico** o **Conector Hormigón Plus D12**, pero no impide continuar con el cálculo;
- No se prevé el uso de paneles aislantes.

Las dimensiones mínimas del forjado para la posible instalación del **Conector Hormigón Plus D12** son:

- Base de la vigueta: $b_t \geq 12 \text{ cm}$, que figura en la Especificación Europea de Normas Técnicas de Producto (ETA20/0830). Si la base de la vigueta es $10 \text{ cm} \leq b_t < 12 \text{ cm}$, el software recuerda que es inferior a la mínima indicada en la ETA y sugiere cambiar a **Conector Químico CentroStorico** o a



Mini Conector Hormigón, pero no impide que el cálculo continúe, mientras que si la base de la viga es $b_t < 10 \text{ cm}$, el cálculo no se realiza;

- Espesor del forjado (igual a la suma de la altura de la viga h_t y de la losa de hormigón existente h_c , si existe): $h_t + h_c \geq 12 \text{ cm}$. Si no se cumple el límite, el software no realiza el cálculo y se sugiere cambiar al **Conector Químico CentroStorico** o al **Mini Conector Hormigón**;
- Espesor de la nueva losa: $s_n \geq 5 \text{ cm}$

2.5.2. Fallo por ruptura acero del anclaje $V_{Rd,s}$

La resistencia característica de un anclaje por fractura de su acero constitutivo se evalúa de acuerdo con el §7.2.2.1 EN 1992-4:2018:

$$V_{Rd,s} = \frac{V_{Rk,s}}{\gamma_{Ms}}$$

donde:

- $V_{Rk,s}$ es la resistencia de un anclaje por las propiedades mecánicas de su acero constituyente frente a cargas de cortante y se establece en la Especificación Técnica Europea de Producto Normalizado (ETA20/0830) como 7,5 kN para el **Mini Conector Hormigón** y 25,6 kN para el **Conector Hormigón Plus D12**;
- γ_{Ms} es el factor de seguridad parcial que figura en la Especificación Europea de Normas Técnicas de Producto (ETA20/0830) de 1,25.

2.5.3. Fallo por cono de hormigón $V_{Rd,cp}$

La referencia para el cálculo de $V_{Rd,cp}$ es el §7.2.2.4 EN 1992-4:2018. Para deducir la resistencia frente al fallo por arrancamiento del hormigón, es necesario conocer la resistencia característica de un anclaje para esfuerzos de tracción frente a un fallo cónico del hormigón. Este modo de fallo depende en gran medida del estado de compresión/tracción del hormigón en el que se inserta el conector y, por este motivo, se calculan dos valores de $N_{Rk,c}$ (uno para el estado de hormigón fisurado y otro para el estado de hormigón no fisurado), de acuerdo con §7.2.1.4 EN 1992-4:2018:

$$N_{Rk,c} = N_{Rk,c}^0 \cdot \frac{A_{c,N}}{A_{c,N}^0} \cdot \psi_{s,N} \cdot \psi_{re,N} \cdot \psi_{ec,N} \cdot \psi_{M,N}$$

$N_{Rk,c}^0$ es la resistencia característica del anclaje individual no influenciada por anclajes adyacentes o bordes del hormigón en el que está embebido, y se evalúa como:

$$N_{Rk,c}^0 = k_1 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot h_{ef}^{1.5}$$

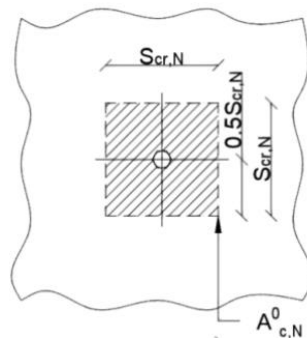
donde:

- k_1 es de 7,7 para el hormigón agrietado ($k_{1,cr}$) y de 11 para el hormigón no agrietado ($k_{1,ucr}$);



- f_{ck} es la resistencia a la compresión característica del hormigón (referida a aquel en el que se inserta el conector, es decir, el existente). En concreto, en función de la selección de las propiedades mecánicas del hormigón existente en la máscara Materiales, el software utiliza el valor de f_{ck} si se selecciona "**Valor de informe**", el valor de f_{cm} si se selecciona "**Valor de pruebas**" y el valor de f_{cd} si se selecciona "**Valor personalizado**";
- h_{ef} es la longitud efectiva de anclaje y es un valor dado en la Especificación Técnica Europea de Producto (ETA20/0830), que es de 42 mm para el **Mini Conector Hormigón** y de 52 mm para el **Conector Hormigón Plus D12**.

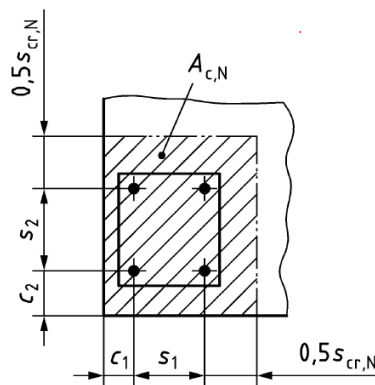
$A_{c,N}^0$ es el área de proyección de referencia que evalúa la influencia de la posición de la instalación del anclaje contra el borde del hormigón:



$$A_{c,N}^0 = s_{cr,N} \cdot s_{cr,N}$$

Donde $s_{cr,N}$ es la distancia crítica hacia el cono de fractura del hormigón y es un valor dado en la Especificación Técnica Europea de Producto (ETA20/0830), igual a 126 mm para el **Mini Conector Hormigón** y 156 mm para el **Conector Hormigón Plus D12**.

$A_{c,N}$ es el área de proyección efectiva limitada por la superposición de los conos de ruptura de los anclajes adyacentes y se evalúa como:



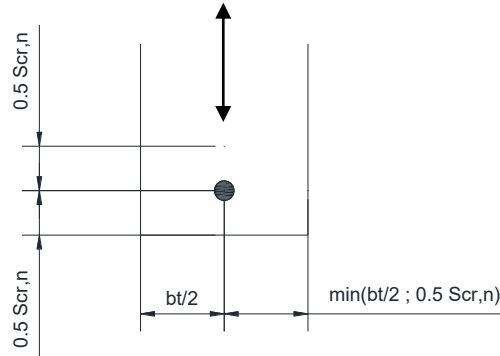
$$A_{c,N} = (c_1 + s_1 + 0.5s_{cr,N}) \cdot (c_2 + s_2 + 0.5s_{cr,N})$$

En el caso de forjados, si $h_{ef} \leq h_c$ (con h_c espesor de losa existente) o si $s_{cr,N} \leq b_t$ (con b_t base de viguetas), $A_{c,N} = A_{c,N}^0$, en caso contrario se sigue la formulación que se muestra a continuación.



En el caso específico de los forjados, no se enganchan ni anclajes de grupo ni anclajes de doble fila: esto significa que s_1 y s_2 son iguales a 0; c_1 es la distancia de borde y es igual a $b_t/2$ y c_2 es la distancia de borde en la dirección de la luz de la viga, que se equipara a $0,5 s_{cr,N}$ (con $s_{cr,N} = 126 \text{ mm}$ para **Mini Conector Hormigón** y $s_{cr,N} = 156 \text{ mm}$ para **Conector Hormigón Plus D12**) dada la extensión de las viguetas dentro de la mampostería.

Con referencia a la imagen anterior, se convierte en:



Por lo tanto, la fórmula anterior se convierte en:

$$A_{c,N} = \left(\frac{b_t}{2} + \min\left(\frac{b_t}{2}; 0,5 s_{cr,N}\right) \right) \cdot s_{cr,N}$$

$\psi_{s,N}$ es el factor reductor que tiene en cuenta la distorsión de la distribución de tensiones en el hormigón debida a la proximidad del borde del elemento en el que está instalado el sistema de conexión y se evalúa como:

$$\psi_{s,N} = 0.7 + 0.3 \cdot \frac{c}{c_{cr,N}} \leq 1$$

donde:

- c es la distancia real del anclaje desde el borde (igual a $b_t/2$ ya que el **Mini Conector Hormigón** y el **Conector Hormigón Plus D12** se ponen en obra en el centro de la vigueta);
- $c_{cr,N}$ es la distancia crítica del borde con respecto a la fractura del cono de hormigón y es un valor dado en la Especificación Técnica Europea de Producto (ETA20/0830), que es de 63 mm para el **Mini Conector Hormigón** y de 78 mm para el **Conector Hormigón Plus D12**.

$\psi_{re,N}$ es el factor de desprendimiento que evalúa el efecto de la armadura entre la que se instala el conector cuando $h_{ef} < 100 \text{ mm}$ y se evalúa como:

$$\psi_{re,N} = 0.5 + \frac{h_{ef}}{200} \leq 1$$

Con h_{ef} longitud efectiva de anclaje y es un valor dado en la Especificación Técnica Europea de Producto (ETA20/0830) de 42 mm para **Mini Conector Hormigón** y 52 mm para **Conector Hormigón Plus D12**.



$\psi_{ec,N}$ y $\psi_{M,N}$ son respectivamente el coeficiente que tiene en cuenta el efecto de grupo y el coeficiente que tiene en cuenta el efecto de una fuerza de compresión entre el anclaje y el hormigón en el caso de momentos de flexión: no se deben considerar en el caso específico ya que no están previstos por las aplicaciones de **Mini Conector Hormigón** y **Conector Hormigón Plus D12**.

Por lo tanto, es posible determinar la resistencia de un anclaje frente a los esfuerzos cortantes de fallo en el hormigón en el lado opuesto a la dirección de la carga. Esta resistencia se evalúa como:

$$V_{Rd,cp} = \frac{k_8 \cdot N_{Rk,c}}{\gamma_{Mc}}$$

donde:

- k_8 es el factor específico de 1,0 y figura en la Especificación Técnica Europea de Producto Normalizado (ETA20/0830);
- $N_{Rk,c}$ es la resistencia de un anclaje sometido a tracción en caso de fallo del cono de hormigón previamente calculado;
- γ_{Mc} es el factor de seguridad parcial que figura en la Especificación Europea de Normas Técnicas de Producto (ETA20/0830) de 1,50.

2.5.4. Fallo del borde del hormigón $V_{Rd,c}$

La referencia para el cálculo de $V_{Rd,c}$ es el §7.2.2.5 EN 1992-4:2018. Este modo de fallo depende en gran medida del estado de compresión/tensión del hormigón en el que se inserta el conector y, por este motivo, se calculan dos valores de $V_{Rk,c}$ (uno para el estado de hormigón fisurado y otro para el estado de hormigón no fisurado). La resistencia característica de un anclaje cargado hacia el borde puede evaluarse como:

$$V_{Rk,c} = V_{Rk,c}^0 \cdot \frac{A_{c,V}}{A_{c,V}^0} \cdot \psi_{s,V} \cdot \psi_{h,V} \cdot \psi_{ec,V} \cdot \psi_{\alpha,V} \cdot \psi_{re,V}$$

$V_{Rk,c}^0$ es la resistencia inicial característica del anclaje simple cargado perpendicularmente al borde y se evalúa como:

$$V_{Rk,c}^0 = k_9 \cdot d_{nom}^\alpha \cdot l_f^\beta \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot c_1^{1.5}$$

donde:

- k_9 es de 1,7 para el hormigón fisurado ($k_{9,cr}$) y de 2,4 para el hormigón no fisurado ($k_{9,ucr}$);
- d_{nom} es el diámetro exterior del anclaje y se indica en la Especificación Técnica de Producto Europea correspondiente (ETA20/0830) y es de 7,5 mm para el **Mini Conector Hormigón** y de 12,5 mm para el **Conector Hormigón Plus D12**;
- l_f (en el caso de conectores con un diámetro uniforme) es h_{ef} o la longitud efectiva de anclaje, un valor dado en la Especificación Técnica Europea de Producto (ETA20/0830) de 42 mm para el **Mini Conector Hormigón** y de 52 mm para el **Conector Hormigón Plus D12**;
- f_{ck} es la resistencia a la compresión característica del hormigón (referida a aquel en el que se inserta el conector, es decir, el existente). Concretamente, en función de la elección de las propiedades



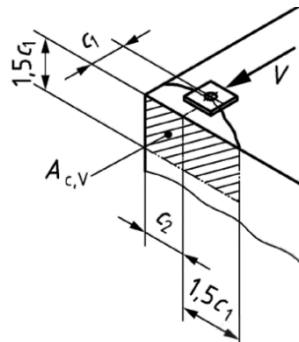
mecánicas del hormigón existente en la ventana Materiales, el software utiliza el valor de f_{ck} si se selecciona "**Valor de informe**", el valor de f_{cm} si se selecciona "**Valor de pruebas**" y el valor de f_{cd} si se selecciona "**Valor personalizado**";

- c_1 es la distancia mínima del borde de ; $b_t/2$
- α y β son parámetros numéricos adimensionales y se evalúan como:

$$\alpha = 0.1 \cdot \left(\frac{l_f}{c_1} \right)^{0.5}$$

$$\beta = 0.1 \cdot \left(\frac{d_{nom}}{c_1} \right)^{0.2}$$

$A_{c,v}$ es la superficie del cuerpo de rotura de hormigón idealizado, limitada por el solapamiento de los conos de hormigón de los anclajes adyacentes, la proximidad desde el borde y el espesor del elemento en el que está instalado:



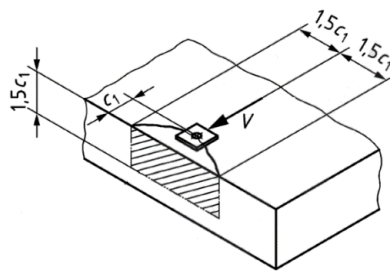
$$A_{c,v} = 1.5c_1 \cdot (c_2 + 1.5c_1)$$

En el caso específico de forjados c_2 es igual a $b_t/2$ y c_1 es la distancia del primer conector desde el muro (30 mm para **Mini Conector Hormigón** y 45 mm para **Conector Hormigón Plus D12**), despreciando por seguridad que la vigueta continúe en el interior de la mampostería/muro. Dado que $A_{c,v}$ es un área efectiva, debe verificarse que realmente puede desarrollarse dentro de la geometría específica del forjado considerado. Por lo tanto, la fórmula anterior se convierte en:

$$A_{c,v} = \min(h_t + h_c ; 1.5c_1) \cdot \min(3c_1 ; b_t)$$

Con h_t altura de la vigueta, h_c espesor del revestimiento existente (si lo hay), b_t base de la vigueta.

$A_{c,v}^0$ es el área de proyección de referencia para el campo de rotura idealizado de un anclaje simple:



$$A_{c,v}^0 = 1.5c_1 \cdot (1.5c_1 + 1.5c_1) = 4.5c_1^2$$

En el caso específico de forjados c_1 es la distancia del primer conector desde la rasante de la pared (30 mm para **Mini Conector Hormigón** y 45 mm para **Conector Hormigón Plus D12**).

$\psi_{s,v}$ es el factor reductor que tiene en cuenta la distorsión de la distribución de tensiones en el hormigón debida a otros bordes del elemento de hormigón sobre la resistencia al cortante y se evalúa como:

$$\psi_{s,v} = 0.7 + 0.3 \cdot \frac{c_2}{1.5c_1} \leq 1$$

En el caso concreto de $\psi_{s,v}c_1$ y c_2 son equivalentes ya que los conectores se sitúan en el centro de la viga y por tanto ambos toman el valor de $.b_t/2$

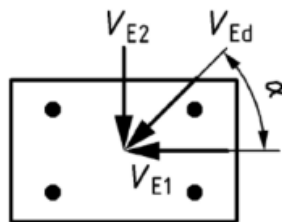
$\psi_{h,v}$ es el factor que tiene en cuenta que la resistencia del borde de hormigón no disminuye en proporción al espesor del elemento asumido por la relación $\frac{A_{c,v}}{A_{c,v}^0}$ y se evalúa como:

$$\psi_{h,v} = \left(\frac{1.5c_1}{h} \right)^{0.5} = \left(\frac{1.5 \cdot \frac{b_t}{2}}{h_t + h_c} \right)^{0.5} \geq 1$$

Donde h representa la altura del elemento en el que se instala el sistema de anclaje y coincide con la altura de la viga si el forjado es sin losa existente, en caso contrario con la suma de la altura de la viga y el espesor del forjado existente, c_1 es igual a $.b_t/2$

$\psi_{ec,v}$ es el coeficiente que considera el efecto de grupo, no es relevante para los modos de aplicación de **Mini Conector Hormigón** y **Conector Hormigón Plus D12**.

$\psi_{\alpha,v}$ es el factor que tiene en cuenta que la resistencia del borde de hormigón no disminuye en proporción al espesor del elemento asumido por la relación $\frac{A_{c,v}}{A_{c,v}^0}$ y se evalúa como:



$$\psi_{\alpha,v} = \sqrt{\frac{1}{(\cos \alpha_v)^2 + (0.5 \sin \alpha_v)^2}} \geq 1$$

Donde α_v es el ángulo entre una carga cortante de esfuerzo de cálculo V_{Ed} y una línea perpendicular al borde verificado, en el caso de anclajes simples colocados en forjados: $\alpha_v = 90^\circ$



$\psi_{re,V}$ es el factor que tiene en cuenta el efecto de la armadura a lo largo del borde y es igual a 1,0 tanto en condiciones de hormigón fisurado como no fisurado.

Por lo tanto, es posible determinar la resistencia de un anclaje frente a los esfuerzos cortantes por rotura del borde de hormigón. Esta resistencia se evalúa como:

$$V_{Rd,c} = \frac{V_{Rk,c}}{\gamma_{Mc}}$$

donde:

- $V_{Rk,c}$ es la resistencia a la fractura de un anclaje con respecto al borde de hormigón calculado previamente;
- γ_{Mc} es el factor de seguridad parcial indicado en la Especificación Técnica Europea de Producto (ETA20/0830), que es 1,50.

2.6. Cálculo del deslizamiento y la adherencia en la interfaz (conectores mecánicos)

El número de conectores a utilizar es el necesario para transmitir el deslizamiento entre el forjado existente y la nueva losa estructural de hormigón aligerado. El deslizamiento se calcula mediante la fórmula de Jourawsky.

Coeficiente de homogeneización para zonas con a momento positivo:

$$n^+ = \frac{E_s}{\frac{E_{horm,LATERMIX}}{2}}$$

Coeficiente de homogeneización para zonas con a momento negativo:

$$n^- = \frac{E_s}{\frac{E_{horm,existente}}{2}}$$

$$\tau_{interfaz} \cdot b = \frac{V_{Sd} \cdot S_{int}}{J_n}$$

Los términos de la fórmula de Jourawsky indican:

- $V_{Sd,max}$: valor máximo de la fuerza cortante en combinación ELU;
- S_{int} : momento estático (sección parcializada) de la porción por encima de la cuerda respecto a la cual debe calcularse el esfuerzo cortante. Se considera la contribución del hormigón comprimido y/o de la armadura por encima de la cuerda;
- J_n : inercia de la totalidad de la sección parcializada con respecto al eje neutro;
- b : ancho de la cuerda a considerar, igual al ancho mínimo de contacto entre el forjado existente y la nueva losa.



Este deslizamiento ($\tau_{interfaz} \cdot b$) se compara con la resistencia de cálculo del conector P_{Rd} (en la zona fisurada o no fisurada según la sección considerada), como se ilustra en el párrafo siguiente. También se considera la contribución ofrecida por la adherencia a la fluencia v_{Rdi} , evaluada según §6.2.5 EN 1992-1-1:2015, utilizando los parámetros para superficies lisas, con la siguiente fórmula:

$$v_{Rdi} = \min(c \cdot f_{ctd} + \mu \cdot \sigma_n + \rho \cdot f_{yd} \cdot (\mu \cdot \sin \alpha + \cos \alpha); 0.5 \cdot v \cdot f'_{cd})$$

donde:

- c e μ para superficies lisas son 0,2 y 0,6 respectivamente;
- f_{ctd} es el valor de la resistencia a la tracción de proyecto (evaluada como se indica a continuación);
- σ_n es la tensión de compresión producida por la fuerza externa mínima que actúa en la interfaz y que puede actuar simultáneamente con la fuerza cortante (evaluada de la siguiente manera);
- ρ es la relación entre el área específica de refuerzo transversal a través de la interfaz y el área de la junta (igual a 0 en este caso);
- v es un coeficiente de reducción de la resistencia (evaluado del siguiente modo).

La resistencia a la tracción de proyecto f_{ctd} se evalúa como el mínimo entre la resistencia a la tracción del hormigón existente y la del hormigón estructural ligero:

$$f_{ctd} = \min(f_{ctd,existente}; f_{lctd})$$

con:

$$f_{ctd,existente} = \left\{ \begin{array}{ll} \frac{0.7 \cdot 0.3 f_{ck}^{2/3}}{FC \cdot \gamma_c} & \text{Valor de infomre} \\ \frac{0.7 \cdot 0.3 f_{cm}^{2/3}}{FC \cdot \gamma_c} & \text{Valor de pruebas} \\ 0.7 \cdot 0.3 f_{cd}^{2/3} & \text{Valor personalizado} \end{array} \right\}$$

$$f_{lctd} = \frac{0.85 \cdot f_{lctk}}{\gamma_c}$$

$$f_{lctk} = 0.7 \cdot f_{lctm}$$

$$f_{lctm} = 0.3 \cdot f_{lck}^{2/3} \cdot \eta_1$$

$$\eta_1 = 0.4 + 0.6 \cdot \frac{\rho}{2200}$$

Donde ρ es el valor límite superior de la masa por unidad de volumen del hormigón para la clase pertinente de masa por unidad de volumen en kg/m³.

La tensión de compresión producida por la fuerza externa mínima que actúa en la interfaz y que puede actuar simultáneamente con la fuerza cortante resulta:



$$\sigma_n = \min(q_{slu}^* ; 0.6f'_{cd})$$

con:

$$q_{slu}^* = \gamma_{G1} \cdot [P_{losa} + P_{solera} + P_{recrecido}] + \gamma_{G2} \cdot P_{otros} + \gamma_Q \cdot Q_{var}$$

$$f'_{cd} = \min(f_{cd,existentes,par\ fragiles}; f_{lcd})$$

El coeficiente ν resulta:

$$\nu = \min \left[0.6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck,existente}}{250} \right); 0.5 \cdot \left(1 - \frac{f_{lck}}{250} \right) \right]$$

Donde $f_{ck,existente}$, dependiendo de la elección de las propiedades mecánicas del hormigón existente en la ventana de Materiales, el software utiliza el valor de f_{ck} si se selecciona "**Valor de informe**", el valor de f_{cm} si se selecciona "**Valor de pruebas**" y el valor de f_{cd} si se selecciona "**Valor personalizado**"; y f_{lck} representa la resistencia a compresión característica del hormigón ligero estructural.

A continuación, el término ν_{Rdi} se multiplica por el término L para obtener una cantidad comparable a $\tau_{interfaz} \cdot b$. El término L representa el ancho pertinente a la que se confía el deslizamiento de adherencia, que es igual a:

$$L = \begin{cases} b_t & \text{se } h_c < 20 \text{ mm y } h_p = 0 \text{ mm} \\ i_{tr} & \text{se } h_c \geq 20 \text{ mm y } h_p = 0 \text{ mm} \\ \min(b_t; b_r) & \text{se } h_c < 20 \text{ mm y } h_p > 0 \text{ mm} \\ b_r & \text{se } h_c \geq 20 \text{ mm y } h_p > 0 \text{ mm} \end{cases}$$

Con b_t base de la viga, i_{tr} separación del forjado, h_c espesor de la losa de hormigón existente, h_p espesor del panel de aligeramiento y b_r base de la losa de hormigón (si el panel de aligeramiento está presente).

La búsqueda del eje neutro elástico se realiza del siguiente modo:

- cada sección se representa internamente con una serie de puntos, a partir de los cuales se evalúan numéricamente las áreas, los momentos estáticos y los momentos de inercia;
- Cada figura de la sección está asociada a su propio material. Los valores FC (Factor de confianza) y γ_m del material se toman del mismo material, así como las deformaciones y resistencias;
- se calculan las propiedades geométricas de cada parte de la sección y se obtiene el centro de gravedad;
- A continuación, se analiza la sección evaluando las deformaciones resultantes de la aplicación del momento y se identifican las partes reactivas calculando las tensiones de cada material presente (hormigón, barras);
- se devuelve la posición del eje neutro.



En particular, se describe el cálculo del área y del momento estático de una sección definida por N puntos x_i, y_i

$$A = \frac{1}{2} \sum_i (x_i y_{i+1} - x_{i+1} y_i)$$

$$S_x = \frac{1}{6} \sum_i (x_{i+1} - x_i)(y_i^2 + y_i y_{i+1} + y_{i+1}^2)$$

Lo mismo ocurre con el momento de inercia.

En particular, para el momento estático de la sección parcial, procedemos como sigue:

- se adquiere parte de la sección reactivas;
- se desplaza el eje horizontal de la sección al eje neutro;
- el momento estático de la sección parcial se calcula considerando sólo las partes por encima del cordón de verificación, situadas en la interfaz forjado existente-losa nueva.

Lo mismo ocurre con el momento de inercia.

2.7. Cálculo de la distancia y la distribución de los conectores

Para calcular la distancia y la distribución de los conectores, es necesario saber:

- deslizamiento en la interfaz $\tau_{interfaz} \cdot b$, con b el ancho de cuerda a considerar, igual al ancho mínimo de contacto entre el forjado existente y el nuevo;
- la resistencia al deslizamiento que ofrece el adherencia ; $v_{Rdi} \cdot L$
- la resistencia de cálculo del conector elegido en la zona agrietada $P_{Rd,ck}$ y en la zona no agrietada ; $P_{Rd,uck}$
- la dirección del momento en la condición previa a la intervención, denominado ; $M_{sd,pre-int}$
- la posición del eje neutro de momento positivo en la condición previa a la intervención, denominado $A_{N,pre-int}^+$

Para cada punto en el que se ha discretizado el forjado analizado, el distancia (denominado PC = distancia calculado) de los conectores en la coordenada considerada se calcula del siguiente modo:

$$PC [mm] = \left\{ \begin{array}{ll} \frac{P_{Rd,ck}}{(\tau_{interfaz} \cdot b) - (v_{Rdi} \cdot L)} & \text{si } M_{sd,pre-int} < 0 \\ \frac{P_{Rd,ck}}{(\tau_{interfaz} \cdot b) - (v_{Rdi} \cdot L)} & \text{si } M_{sd,pre-int} \geq 0 \text{ e } A_{N,pre-int}^+ < 0.9h_{ef} \\ \frac{P_{Rd,uck}}{(\tau_{interfaz} \cdot b) - (v_{Rdi} \cdot L)} & \text{si } M_{sd,pre-int} \geq 0 \text{ e } A_{N,pre-int}^+ \geq 0.9h_{ef} \end{array} \right\}$$



Para cada coordenada, si el distancia calculado PC es menor o igual que cero o mayor que la distancia máxima, se impone la distancia máxima de 500 mm, lo que da como resultado el distancia calculado correcto : PCC

$$PCC [mm] = \begin{cases} s_{max} = 500 \text{ mm} & \text{si } PC \leq 0 \text{ o } PC > s_{max} \\ PC & \text{si } 0 < PC \leq s_{max} \end{cases}$$

El software calcula siempre tanto la colocación con espaciado variable como la colocación con espaciado constante por vano, informando de ambas opciones de colocación dentro del informe y sólo de la opción de colocación con espaciado variable pulsando el botón **Tabla de conectores** en la ventana del software.

2.7.1. Espaciado variable

Para cada vano, el software identifica los puntos en los que se ha discretizado el forjado pertenecientes a $L/4$ a la izquierda, a $L/4$ a la derecha y a $L/2$ al centro y determina el distancia teórico en la sección considerada de la siguiente forma:

$$distancia\ teorica = \begin{cases} \min(PCC) \text{ en } \frac{L}{4} \text{ a la izquierda} \\ \min(PCC) \text{ en } \frac{L}{2} \text{ centrales} \\ \min(PCC) \text{ en } \frac{L}{4} \text{ a la derecha} \end{cases}$$

Una vez conocido el distancia teórico, es posible calcular el número teórico de conectores para la sección considerada:

$$N. \text{ con teorico} = \frac{L_i}{distancia\ teorica}$$

Con L_i igual a la longitud del vano considerado.

$N. \text{ conn teorico}$ resulta ser un número no entero, procedemos entonces a redondear el número teórico de conectores, hallando así $N. \text{ conectores}$ y, por tanto, el distancia real al que se colocarán los conectores en la sección considerada:

$$distancia = \frac{L_i}{N. \text{ conectores}}$$

En concreto, el redondeo se realiza del siguiente modo:

- al siguiente entero para **Mini Conector Hormigón** tanto en $L/4$ como en $L/2$
- al siguiente número entero de **Conector Hormigón Plus D12** en $L/4$
- al siguiente entero par para **Conector Hormigón Plus D12** en $L/2$

Si en alguna de las secciones $paso$ es menor que la separación crítica $s_{cr,N}$ (igual a 126 mm para el **Mini Conector Hormigón** y $s_{cr,N} = 156 \text{ mm}$ para el **Conector Hormigón Plus D12**), el software indica con una alerta especial que la separación calculada es menor que la separación crítica según ETA.



El número de conectores en m^2 se obtiene haciendo la suma de $N.conectores$ en los diferentes vanos y dividiendo el total por la suma de las luces de los vanos y la distancia entre ejes.

Si en un vano hay un extremo libre, el programa devuelve la colocación con separación constante en ese vano (calculada como se indica en el párrafo siguiente), manteniendo la colocación con separación variable en los demás vanos del forjado (si los hay).

2.7.2. Distancia constante por vano

Para cada vano, el programa informático determina el distancia de colocación teórico del siguiente modo:

$$distancia\ teorica = \min(PCC)$$

Una vez conocido el distancia teórico, es posible calcular el número teórico de conectores para el vano considerado:

$$N.con\ teorico = \frac{L_i}{distancia\ teorica}$$

Con L_i igual a la longitud del vano considerado.

$N.con\ teorico$ resulta ser un número no entero, procedemos entonces a redondear el número teórico de conectores, hallando así $N.conectores$ y, por tanto, el distancia real al que se colocarán los conectores:

$$distancia = \frac{L_i}{N.conectores}$$

En concreto, el redondeo se realiza del siguiente modo:

- al siguiente número entero para **Mini Conector Hormigón**;
- al siguiente número par para el **Conector Hormigón Plus D12** en vanos sin el extremo libre;
- al siguiente número entero para el **Conector Hormigón Plus D12** en vanos de extremo libre.

Si en alguno de los vanos $paso$ es menor que la separación crítica $s_{cr,N}$ (igual a 126 mm para el **Mini Conector Hormigón** y $s_{cr,N} = 156\ mm$ para el **Conector Hormigón Plus D12**), el software señalará con una alerta especial que la separación calculada es menor que la separación crítica según ETA.

El número de conectores en m^2 se obtiene haciendo la suma de $N.conectores$ en los diferentes vanos y dividiendo el total por la suma de las luces de los vanos y la distancia entre ejes.



3. VALIDACIÓN DEL CÁLCULO

En este capítulo se ofrecen ejemplos de cálculo como validación de los procedimientos de cálculo adoptados en el programa.

3.1. Caso 1 - Forjado con nueva losa y Conector Químico CentroStorico

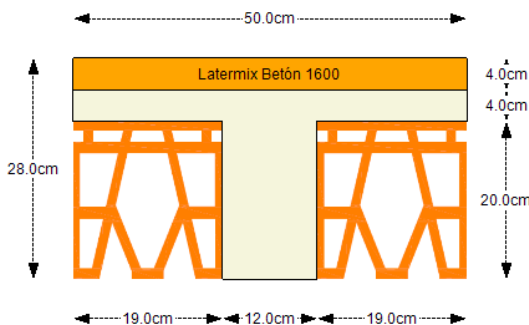
Se analiza un forjado existente con las características descritas a continuación, reforzado mediante la construcción de un nuevo forjado en hormigón ligero estructural **Latermix Betón 1600**, conectado al forjado existente mediante **Conector Químico CentroStorico**.

Se adoptan los siguientes materiales existentes:

- para hormigón existente, se selecciona "**Valor de informe**" para elegir una clase C20/25 y un Nivel de Conocimiento LC2 correspondiente a un Factor de Confianza de 1,20;
- para acero existente, se selecciona "**Valor de informe**" para elegir una clase FeB44k y un Nivel de Conocimiento LC1 correspondiente a un Factor de Confianza de 1,35.

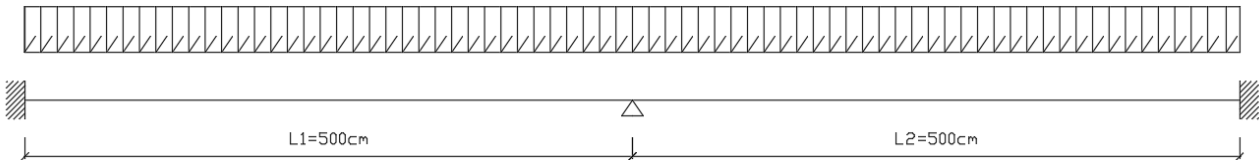
El cálculo se realiza suponiendo un comportamiento frágil de los materiales existentes.

Se adopta la geometría siguiente:



GEOMETRÍA		
Espesor de la nueva losa	4.0	cm
Espesor de la losa existente	4.0	cm
Base vigueta	12.0	cm
Altura vigueta	20.0	cm
Intereje viguetas	50.0	cm
Longitud vano 1	500.0	cm
Longitud vano 2	500.0	cm

El esquema estático del forjado consta de 2 vanos de 500 cm con empotramiento en los extremos:



La carga en el Estado Límite Último se determina de la siguiente manera:

Coeficientes de seguridad	Cargas estructurales permanentes	γ_{G1}	1.3 -
	Otras cargas permanentes no estructurales	γ_{G2}	1.5 -
	Cargas variables	γ_Q	1.5 -
Peso propio	Forjado existente	G_1	3.11 kN/m ²
	Losa colaborante (4 cm)		0.70 kN/m ²
Permanentes	Latermix Facile (4,00 cm)	G_2	0.40 kN/m ²
	Recrecido CentroStorico (5,00 cm)		0.33 kN/m ²
	Otros permanentes		1.00 kN/m ²
Variables		Q	2.00 kN/m ²

La combinación de carga ELU considerada es:

$$q = i_{tr} \cdot [\gamma_{G1} \cdot (P_{forjado} + P_{losa} + P_{solera} + P_{recrecido}) + \gamma_{G2} \cdot P_{otros} + \gamma_Q \cdot Q_{var}]$$

donde el peso propio del forjado se evalúa considerando una densidad del hormigón de la viga existente de 25 kN/m³ y de las bovedillas de 6 kN/m³, el peso de la losa se evalúa considerando la clase de densidad a la que pertenece el hormigón ligero estructural y el correspondiente valor de masa por unidad de volumen de acuerdo con la Tab. C4.1.VI (hormigón no armado).

La carga por viga es, por tanto:

$$q = 0.5 \cdot [1.3 \cdot (3.11 + 0.7 + 0.4 + 0.325) + 1.5 \cdot 1 + 1.5 \cdot 2] = 5.2 \frac{kN}{m}$$

Se calculan las tensiones de la viga continua así formada:

$$V_{max} = \frac{qL}{2} = 13.00 \text{ kN}$$

$$M_{max} = \frac{qL^2}{24} = 5.42 \text{ kNm}$$

$$M_{min} = \frac{-qL^2}{12} = -10.83 \text{ kNm}$$



El refuerzo seccional se define del siguiente modo:

	$A_{s1} = 2.26 \text{ cm}^2 \quad d_1 = 3 \text{ cm (B450C)}$ $A_{s2} = 0.50 \text{ cm}^2 \quad d_2 = 3 \text{ cm (FeB44k)}$ $A_{s3} = 1.13 \text{ cm}^2 \quad d_3 = 3 \text{ cm (FeB44k)}$ <p>Para B450C:</p> $f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_m} = \frac{450}{1.15} = 391.30 \text{ MPa}$ <p>Para FeB44k:</p> $f_{sd} = \frac{f_{sk}}{\gamma_m FC} = \frac{430}{1.15 \cdot 1.35} = 276.97 \text{ MPa}$
--	--

Comprobación a flexión

A continuación, se calcula la resistencia a flexión positiva y negativa en ELU del forjado consolidado utilizando el nuevo forjado **Latermix Betón 1600**, conectado al forjado existente mediante el **Conector Químico CentroStorico**.

Las distancias a los extradós de la armadura en la sección son:

$$c_1 = 3 \text{ cm}$$

$$c_2 = 7 \text{ cm}$$

$$c_3 = 25 \text{ cm}$$

En lo que sigue, con el único propósito de simplificar la ejecución manual de los cálculos de validación, se utiliza un comportamiento del tipo bloque de tensiones para el hormigón ligero estructural. Cabe señalar, no obstante, que en el software utiliza el comportamiento de tipo parabólico-rectangular, de conformidad con la Norma.

Para determinar la posición del eje neutro, se supone que la armadura de la vigueta existente está a tracción y en fase de límite elástico, mientras que la armadura de la nueva losa colaborante está a tracción y en fase elástica (deformación inferior al límite elástico evaluada como la relación entre la tensión de cálculo y el módulo elástico E_s del acero fijado en 210000 MPa), que el eje neutro cae en la nueva losa en **Latermix Betón 1600** y que la rotura se alcanza en el extremo comprimido (deformación última $\varepsilon_{lcu} = 3 \text{ ‰}$). Estas hipótesis deben verificarse.

Resulta, por tanto, la ecuación de equilibrio en la traslación:

$$-0.8 \cdot f_{cd} \cdot i_{tr} \cdot x + A_{s1} \cdot E_s \cdot \frac{\varepsilon_{lcu}}{x} \cdot (c_1 - x) + A_{s2} \cdot f_{sd} + A_{s3} \cdot f_{sd} = 0$$

La deformación de la armadura en la losa se expresa mediante la semejanza de triángulos.



Resolviendo la ecuación de segundo grado resultante y descartando la solución no elegible se obtiene un eje neutro igual a:

$$x = 1.86 \text{ cm}$$

Ahora se comprueba que las deformaciones en los tres niveles de armadura son coherentes con las hipótesis definidas:

$$\varepsilon_{s1} = \frac{\varepsilon_{lcu}}{x}(c_1 - x) = 1.84 \text{ ‰} < 1.86 \text{ ‰}$$

$$\varepsilon_{s2} = \frac{\varepsilon_{lcu}}{x}(c_2 - x) = 8.30 \text{ ‰} > 1.32 \text{ ‰}$$

$$\varepsilon_{s3} = \frac{\varepsilon_{lcu}}{x}(c_3 - x) = 37.4 \text{ ‰} > 1.32 \text{ ‰}$$

Se verifican los supuestos y, por tanto, se evalúa el momento resistente escribiendo la ecuación de equilibrio para la rotación:

$$M_{rdp} = \varepsilon_{s1} E_s A_{s1} (c_1 - 0.4x) + f_{sd} A_{s2} (c_2 - 0.4x) + f_{sd} A_{s3} (c_3 - 0.4x) = 10.43 \text{ kNm}$$

Las pequeñas diferencias en términos de eje neutro y momento resistente se deben a los diferentes modelos constitutivos implementados en el software y utilizados en los cálculos manuales.

Por lo tanto, se cumple la prueba de flexión positiva:

$$M_{max} = \frac{qL^2}{24} = 5.42 \text{ kNm} < M_{rdp} = 10.43 \text{ kNm}$$

Se evalúa la resistencia a la flexión negativa.

Las distancias desde el intradós de la armadura en la sección son:

$$e_1 = 25 \text{ cm}$$

$$e_2 = 21 \text{ cm}$$

$$e_3 = 3 \text{ cm}$$

En lo que sigue, con el único propósito de simplificar la ejecución manual de los cálculos de validación, se utiliza un comportamiento del tipo bloque de tensiones para el hormigón ligero estructural. Cabe señalar, no obstante, que en el software utiliza el comportamiento de tipo parabólico-rectangular. Las pequeñas diferencias en términos de eje neutro y momento resistente se deben a los diferentes modelos constitutivos implementados en el software y utilizados en los cálculos manuales.

Para determinar la posición del eje neutro, se supone que todas las armaduras presentes están sobre el límite elástico, que la armadura A_{s3} está en compresión mientras que A_{s1} y A_{s2} están en tracción, que el eje neutro cae dentro de la viga existente y entre los dos niveles de armadura presentes en la viga, y que la rotura



se alcanza en el extremo comprimido (deformación última $\varepsilon_{cu} = 3.50 \text{ ‰}$). Como antes, estas hipótesis deben verificarse.

Resulta, por tanto, la ecuación de equilibrio en la traslación:

$$-f_{yd} \cdot A_{s1} - f_{sd} \cdot A_{s2} + f_{sd} \cdot A_{s3} + f_{cd} \cdot b \cdot 0.8 \cdot x1 = 0$$

Resolviendo la ecuación se obtiene un eje neutro igual a:

$$x1 = 7.83 \text{ cm}$$

Ahora se comprueba que las deformaciones en los tres niveles de armadura son coherentes con las hipótesis definidas:

$$\varepsilon_{s1} = \frac{\varepsilon_{cu}}{x1} (e_1 - x1) = 7.68 \text{ ‰} > 1.86 \text{ ‰}$$

$$\varepsilon_{s2} = \frac{\varepsilon_{cu}}{x1} (e_2 - x1) = 5.89 \text{ ‰} > 1.32 \text{ ‰}$$

$$\varepsilon_{s3} = \frac{\varepsilon_{cu}}{x1} (e_3 - x1) = -2.16 \text{ ‰} < -1.32 \text{ ‰}$$

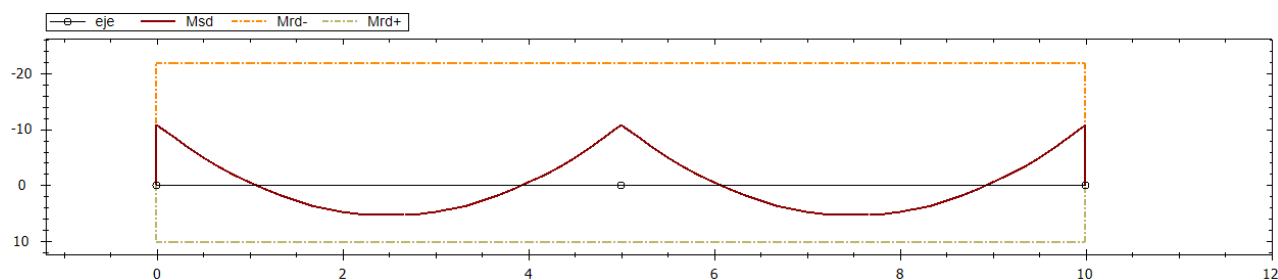
Se verifican los supuestos y, por tanto, se evalúa el momento resistente escribiendo la ecuación de equilibrio para la rotación:

$$M_{rdn} = f_{yd} A_{s1} (e_1 - 0.4x1) + f_{sd} A_{s2} (e_2 - 0.4x1) - f_{sd} A_{s3} (e_3 - 0.4x1) = 21.85 \text{ kNm}$$

Por tanto, se cumple la prueba de flexión negativa:

$$M_{min} = \frac{-qL^2}{12} = -10.83 \text{ kNm} < M_{rdn} = -21.85 \text{ kNm}$$

Se muestra el gráfico generado por el programa:



Verificación cortante

La resistencia a cortante se evalúa en los apoyos donde el esfuerzo cortante es máximo. En esta zona, la armadura a tracción es A_{s1} y A_{s2}



Desde $f_{ck,LATERMIX} > f_{ck}/FC$, se procede a la **verificación a cortante en ELU**, para elementos sin refuerzo específico a cortante, de acuerdo con el §4.1.2.3.5.1 de las *Norme Tecniche delle Costruzioni*, según el siguiente informe:

$$V_{Rd} = \max \left\{ \left[\frac{0.18}{\gamma_m} \cdot k \cdot \left(100 \cdot \rho_l \cdot \frac{f_{ck}}{FC} \right)^{\frac{1}{3}} + 0.15 \sigma_{cp} \right] b_w \cdot ds, (v_{\min} + 0.15 \sigma_{cp}) b_w \cdot ds \right\} = \max (V_{r1}; V_{r2})$$

con:

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{ds}} = 1.89 \leq 2$$

$$v_{\min} = 0.035 k^{1.5} \left(\frac{f_{ck}}{FC} \right)^{0.5} = 0.373$$

$$\rho_l = \frac{A_{sl}}{b_w \cdot ds} = \frac{A_{s1} + A_{s2}}{b_w \cdot ds} = 0.0092 \leq 0.02$$

$$\sigma_{cp} = 0$$

Y ds altura útil de la sección igual a 25 cm, A_{sl} área de la armadura longitudinal a tracción (suma de A_{s1} y A_{s2}), b_w base mínima de la sección de reacción igual a 12 cm y γ_m igual a 1,5.

Por lo tanto, resulta:

$$V_{r1} = \left[\frac{0.18}{\gamma_m} \cdot k \cdot \left(100 \cdot \rho_l \cdot \frac{f_{ck}}{FC} \right)^{\frac{1}{3}} + 0.15 \sigma_{cp} \right] b_w \cdot ds = 16.94 \text{ kN}$$

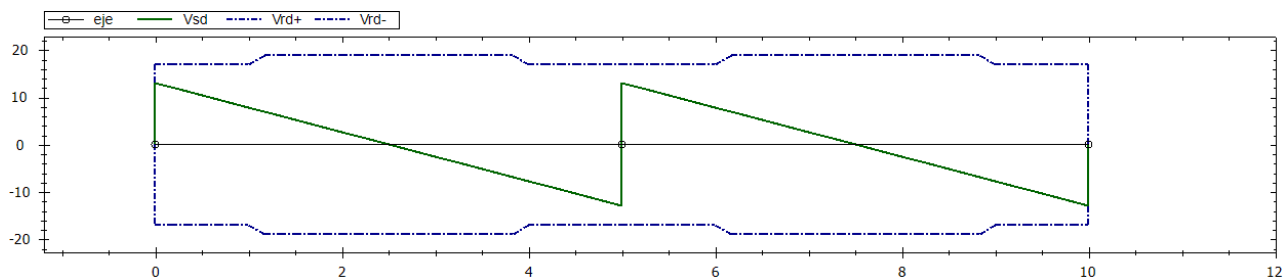
$$V_{r2} = (v_{\min} + 0.15 \sigma_{cp}) b_w \cdot ds = 11.18 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} = \max(V_{r1}; V_{r2}) = 16.94 \text{ kN}$$

Por lo tanto, se cumple la verificación del cortante:

$$V_{\max} = \frac{qL}{2} = 13.00 \text{ kN} < V_{Rd} = 16.94 \text{ kN}$$

Se muestra el gráfico generado por el programa:



Prueba de deslizamiento en la superficie de contacto con la nueva losa

Para calcular la perfecta adherencia entre la nueva losa de hormigón **Latermix Betón 1600** y la losa existente, se compara el esfuerzo cortante presente en la interfaz losa-forjado existente (evaluado mediante la fórmula de Jourawsky) con el valor de proyecto del **Conector Químico CentroStorico** de 0,72 MPa, necesario para que las dos partes trabajen juntas correctamente.

Coeficiente de homogeneización para las zonas con momento positivo:

$$n^+ = \frac{E_s}{\frac{E_{cls,LATERMIX}}{2}} = \frac{210000 \text{ MPa}}{\left(\frac{20000 \text{ MPa}}{2}\right)} = 21.0$$

Coeficiente de homogeneización para zonas con momento negativo:

$$n^- = \frac{E_s}{\frac{E_{horm,existente}}{2}} = \frac{210000 \text{ MPa}}{\left(\frac{29962 \text{ MPa}}{2}\right)} = 14.02$$

En este caso, el esfuerzo cortante máximo de 13 kN se produce en una zona sometida a momento negativo, por lo que las evaluaciones posteriores se realizan utilizando n^- .

En primer lugar, evaluamos la posición del eje neutro a partir del cálculo elástico de la sección, imponiendo que el momento estático de toda la sección parcializado respecto al eje neutro es cero (suposición de eje neutro en la vigueta existente):

$$bx_n \frac{x_n}{2} + n^- [A_{s1}(x_n - e_1) + A_{s2}(x_n - e_2) + A_{s3}(x_n - e_3)] = 0$$

de la que derivamos $x_n = 9.06 \text{ cm}$. La hipótesis se verifica.

A continuación, se evalúa el momento estático de la porción por encima del cordón b considerada situada en la interfaz entre el forjado existente y el nuevo, que en este caso sólo implica la armadura presente en el forjado:

$$S_{int} = A_{s1}n^-(e_1 - x_n) = 504.95 \text{ cm}^3$$

El momento de inercia de toda la sección parcial con respecto al eje neutro se evalúa del siguiente modo:

$$J_n = \frac{A_{c-1} \cdot x_n^2}{12} + A_{c-1} \cdot \left(\frac{x_n}{2}\right)^2 + n^- \cdot (A_{s1} \cdot (e_1 - x_n)^2 + A_{s2} \cdot (e_2 - x_n)^2 + A_{s3} \cdot (e_3 - x_n)^2)$$

$$J_n = 12605.03 \text{ cm}^4$$

Siendo $A_{c-1} = x_n b$ el área de la parte de hormigón comprimido.

Por último, la tensión tangencial en la interfaz se calcula mediante la fórmula de Jourawsky:

$$\tau_{interfaz} = \frac{V_{sd,max} \cdot S_{int}}{J_n \cdot b} = 0.10 \text{ MPa} < 0.72 \text{ MPa}$$



Con $V_{sd,max} = V_{max} = 13 \text{ kN}$ y $b = 50 \text{ cm}$

La verificación se cumple ya que la tensión es inferior a la tensión de proyecto del Conector Químico CentroStorico.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos en el programa informático:

Resultados

Resultados del cálculo

Msd+	5.42	kNm	Cumple
Mrd+	10.36	kNm	
Msd-	-10.83	kNm	Cumple
Mrd-	-21.79	kNm	
Vsd	13.00	kN	Cumple
Vrd	16.94	kN	
τ_{sd}	0.10	MPa	Cumple
τ_{rd}	0.72	MPa	

Calcular

Diagramas M, V

Verificación antes de la intervención

La combinación de carga ELU, antes de la intervención, considerada es:

$$q = i_{tr} \cdot [\gamma_{G1} \cdot (P_{forjado} + P_{solera} + P_{recrecido}) + \gamma_{G2} \cdot P_{otros} + \gamma_Q \cdot Q_{var}]$$

donde el peso propio del forjado se evalúa considerando una densidad del hormigón de la viga existente de 25 kN/m^3 y de las bovedillas de 6 kN/m^3 .

La carga por viga es, por tanto:

$$q = 0.5 \cdot [1.3 \cdot (3.11 + 0.4 + 0.325) + 1.5 \cdot 1 + 1.5 \cdot 2] = 4.74 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Se calculan las tensiones de la viga continua así formada:

$$V_{max} = \frac{qL}{2} = 11.86 \text{ kN}$$



$$M_{max} = \frac{qL^2}{24} = 4.94 \text{ kNm}$$

$$M_{min} = \frac{-qL^2}{12} = -9.88 \text{ kNm}$$

De forma análoga a la anterior, la posición del eje neutro en el momento positivo se obtiene escribiendo la ecuación de equilibrio en traslación (suponiendo que las armaduras no están unidas y que el eje neutro cae en la losa existente):

$$x = \frac{f_{sd}(A_{s2} + A_{s3})}{0.8f_{cd}i_{tr}} = 1.20 \text{ cm}$$

El resultado es un momento resistente positivo:

$$M_{rdp} = f_{sd} \cdot A_{s2} \cdot (c_2 - 0.4 \cdot x) + f_{sd} \cdot A_{s3} \cdot (c_3 - 0.4 \cdot x) = 6.77 \text{ kNm}$$

donde los valores de c_2 y c_3 se asignan a las alturas útiles de la armadura medidas desde los extradós del forjado existente.

Derivamos la posición del eje neutro en momento negativo escribiendo la ecuación de equilibrio en traslación (suponiendo que la armadura A_{s2} está al límite elástico mientras que la armadura A_{s3} es elástica:

$$-f_{sd} \cdot A_{s2} + \frac{E_s \cdot \varepsilon_{cu} \cdot (x1 - e_3)}{x1} \cdot A_{s3} + f_{cd} \cdot b \cdot 0.8 \cdot x1 = 0$$

$$x1 = 2.67 \text{ cm}$$

El resultado es un momento resistente negativo:

$$M_{rdn} = f_{sd} \cdot A_{s2} \cdot (e_2 - 0.4 \cdot x1) - \varepsilon_{s3} \cdot E_s \cdot A_{s3} \cdot (e_3 - 0.4 \cdot x1) = 2.96 \text{ kNm}$$

donde los valores de e_2 y e_3 se asignan a las alturas útiles de la armadura medidas desde el intradós del forjado existente.

Para la verificación a cortante (en los apoyos), se aplica la formulación para elementos no armados a cortante, de forma similar a lo realizado anteriormente:

$$V_{Rd} = \max \left\{ \left[\frac{0.18}{\gamma_m} \cdot k \cdot \left(100 \cdot \rho_l \cdot \frac{f_{ck}}{FC} \right)^{\frac{1}{3}} + 0.15\sigma_{cp} \right] b_w \cdot ds, (v_{\min} + 0.15\sigma_{cp}) b_w \cdot ds \right\} = \max (V_{r1}; V_{r2})$$

con:

$$ds = h + s_e - c_2 = 21 \text{ cm}$$

$$\rho_l = \frac{A_{sl}}{b_w \cdot ds} = \frac{A_{s2} + A_{s3}}{b_w \cdot ds} = 0.00647 \leq 0.02$$



$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{ds}} = 1.98 \leq 2$$

$$v_{\min} = 0.035k^{1.5} \left(\frac{f_{ck}}{FC} \right)^{0.5} = 0.397$$

$$\sigma_{cp} = 0$$

Y ds altura útil de la sección igual a 21 cm, A_{sl} área de la armadura longitudinal tensada (suma de A_{s2} y A_{s3}), b_w base mínima de la sección reactiva igual a 12 cm y γ_m igual a 1,5.

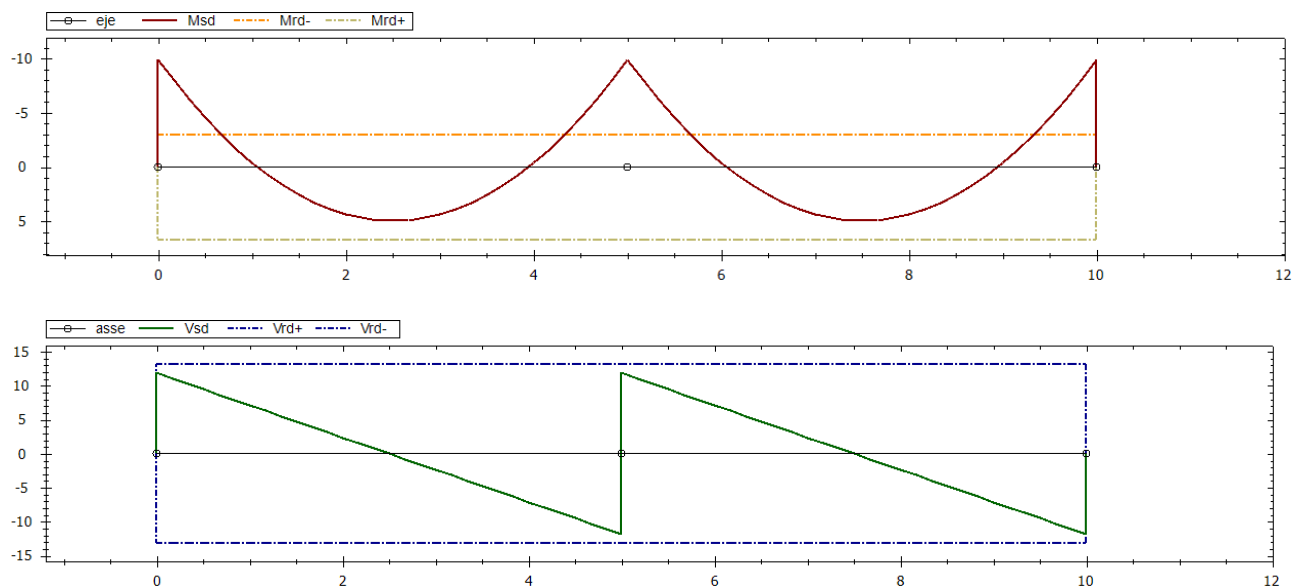
Por lo tanto, resulta:

$$V_{r1} = \left[\frac{0.18}{\gamma_m} \cdot k \cdot \left(100 \cdot \rho_l \cdot \frac{f_{ck}}{FC} \right)^{\frac{1}{3}} + 0.15\sigma_{cp} \right] b_w \cdot ds = 13.20 \text{ kN}$$

$$V_{r2} = (v_{\min} + 0.15\sigma_{cp}) b_w \cdot ds = 10.00 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} = \max(V_{r1}; V_{r2}) = 13.20 \text{ kN}$$

Se muestran los gráficos producidos por el software:



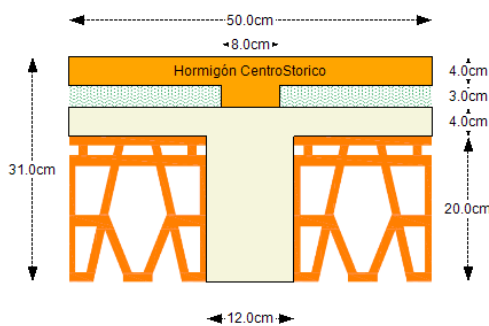
3.2. Caso 2 - Forjado con nueva losa y panel aislante y Conector Químico CentroStorico

Se analiza un forjado existente, con las características descritas a continuación, reforzado mediante la construcción de una nueva losa en hormigón estructural ligero **Hormigón CentroStorico**, conectado al forjado existente mediante **Conector Químico CentroStorico**. También se prevé la instalación de paneles aislantes, como se detalla a continuación.

Se adoptan los siguientes materiales existentes:

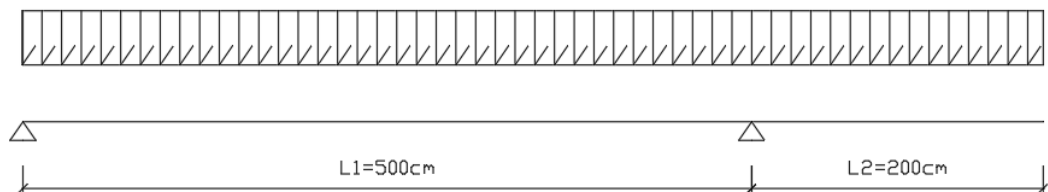
- para hormigón existente, se selecciona "Valor personalizado" y se introduce el valor de proyecto de 20 MPa de resistencia a la compresión;
- para el acero existente, se selecciona "Valor personalizado" y se introduce el valor de proyecto de 450 MPa.

Se adopta la geometría siguiente:



GEOMETRÍA		
Espesor de la nueva losa	4.0	cm
Espesor de la losa existente	4.0	cm
Base vigueta	12.0	cm
Altura vigueta	20.0	cm
Intereje viguetas	50.0	cm
Base del alma de hormigón	8.0	cm
Altura del alma de hormigón	3.0	cm
Longitud vano 1	500.0	cm
Longitud vano 2	200.0	cm

El esquema estático del forjado consta de 2 vanos, el primero de 500 cm y el segundo de 200 cm con un apoyo en el extremo izquierdo mientras que el otro extremo libre:



También hay una zona de hormigón macizo en el apoyo central con una extensión de 60 cm para el vano izquierdo y de 40 cm para el derecho.



La carga en el Estado Límite Último se determina de la siguiente manera:

Coeficientes de seguridad	Cargas estructurales permanentes	γ_{G1}	1.3 -
	Otras cargas permanentes no estructurales	γ_{G2}	1.5 -
	Cargas variables	γ_Q	1.5 -
Peso propio	Forjado existente	G_1	3.11 kN/m ²
	Losa colaborante (4 cm)		0.74 kN/m ²
Permanentes	-	G_2	0.00 kN/m ²
	-		0.00 kN/m ²
	Otros permanentes		1.50 kN/m ²
Variables		Q	2.00 kN/m ²

La combinación de carga ELU considerada es:

$$q = i_{tr} \cdot [\gamma_{G1} \cdot (P_{forjado} + P_{losa}) + \gamma_{G2} \cdot P_{otros} + \gamma_Q \cdot Q_{var}]$$

donde el peso propio del forjado se evalúa considerando una densidad del hormigón de la viga existente de 25 kN/m³ y de las bovedillas de 6 kN/m³, el peso de la losa se evalúa considerando la clase de densidad a la que pertenece el hormigón ligero estructural y el correspondiente valor de masa por unidad de volumen de acuerdo con la Tab. C4.1.VI (hormigón no armado).

La carga por viga es, por tanto:

$$q = 0.5 \cdot [1.3 \cdot (3.11 + 0.74) + 1.5 \cdot 1.5 + 1.5 \cdot 2] = 5.13 \frac{kN}{m}$$

Se calculan las tensiones de la viga continua así formada:

$$V_A = \frac{q \cdot (L1^2 - L2^2)}{2 \cdot L1} = 10.77 \text{ kN}$$

$$V_{B1} = -\left(\frac{q}{2 \cdot L1} \cdot (L1 + L2)^2 - q \cdot L2\right) = -14.87 \text{ kN}$$

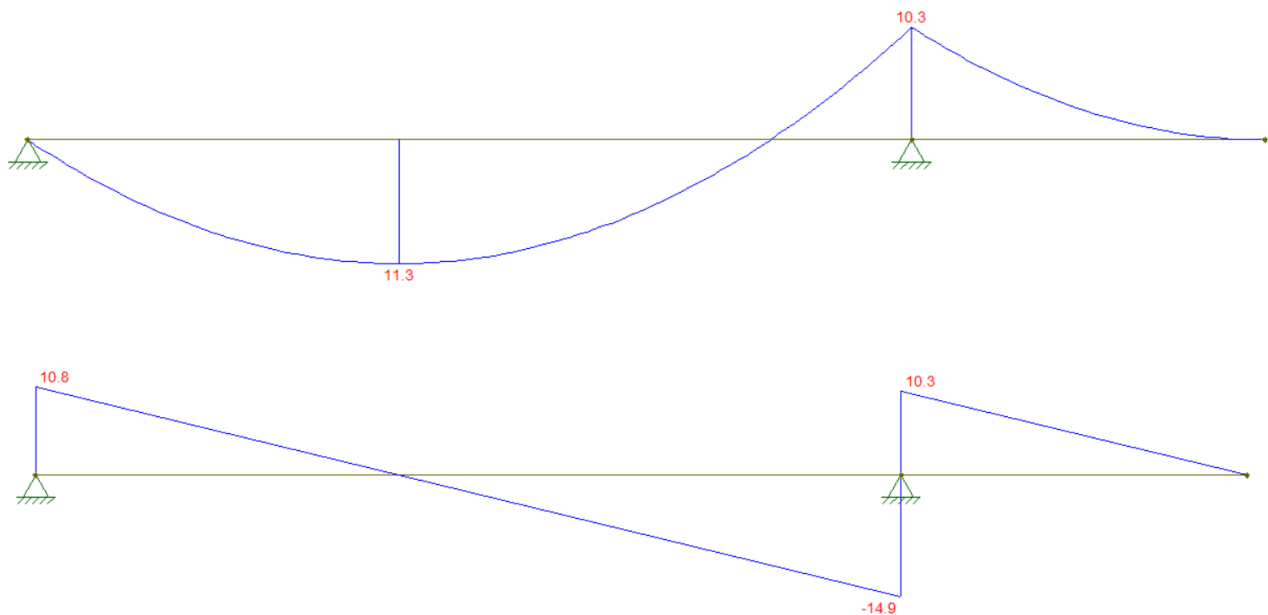
$$V_{B2} = q \cdot L2 = 10.26 \text{ kN}$$

$$x_0 = \frac{L1^2 - L2^2}{2 \cdot L1} = 2.1 \text{ m}$$

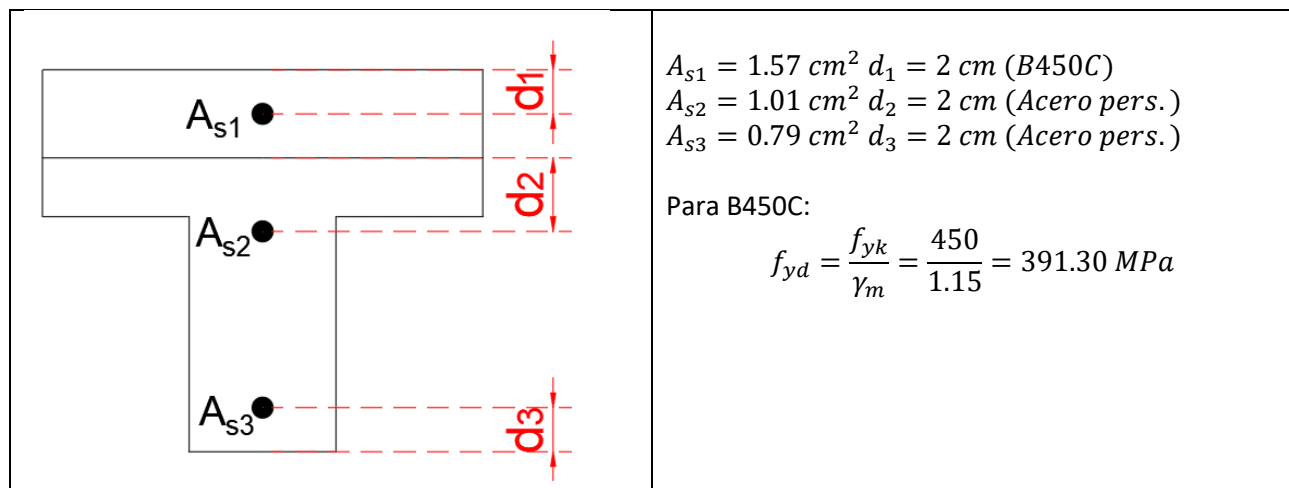
$$M_{max} = \frac{q}{2 \cdot L1} \cdot (L1^2 - L2^2) \cdot x_0 - \frac{q \cdot x_0^2}{2} = 11.3 \text{ kNm}$$

$$M_{min} = \frac{-q \cdot L2^2}{2} = -10.26 \text{ kNm}$$





El refuerzo seccional se define del siguiente modo:



Comprobación a flexión

A continuación, se procedió a calcular la resistencia a flexión positiva y negativa en ELU del forjado consolidado mediante la nueva losa de **Hormigón CentroStorico**, conectada al forjado existente mediante el **Conector Químico CentroStorico**, y con la interposición del panel aislante.

Las distancias a los extradós de la armadura en la sección son:

$$c_1 = 2 \text{ cm}$$

$$c_2 = 9 \text{ cm}$$

$$c_3 = 29 \text{ cm}$$



En lo que sigue, con el único propósito de simplificar la ejecución manual de los cálculos de validación, se utiliza un comportamiento del tipo bloque de tensiones para el hormigón ligero estructural. Cabe señalar, no obstante, que en el software utiliza el comportamiento de tipo parabólico-rectangular, de conformidad con la Norma.

La posición del eje neutro se obtiene imponiendo el equilibrio en la traslación, haciendo una suposición sobre el estado de deformación de la sección que se verificará:

$$\frac{\varepsilon_{lcu} \cdot (c_1 - x)}{x} \cdot E_s \cdot A_{s1} + f_{sd} \cdot (A_{s2} + A_{s3}) - f_{Ld} \cdot i_{tr} \cdot 0.8 \cdot x = 0$$

Donde ε_{lcu} es la deformación última del hormigón ligero estructural evaluada según la NTC18 y su Circular.

Resolviendo la ecuación de segundo grado resultante y descartando la solución no elegible se obtiene un eje neutro (flexión positiva) igual a:

$$x = 1.71 \text{ cm}$$

Se verifican los supuestos iniciales y, a continuación, se evalúa el momento resistente escribiendo la ecuación de equilibrio para la rotación:

$$M_{rdp} = \varepsilon_{s1} \cdot E_s \cdot A_{s1} \cdot (c_1 - 0.4 \cdot x) + f_{sd} \cdot A_{s2} \cdot (c_2 - 0.4 \cdot x) + f_{sd} \cdot A_{s3} \cdot (c_3 - 0.4 \cdot x) = 14.06 \text{ kNm}$$

Las pequeñas diferencias en términos de eje neutro y momento resistente se deben a los diferentes modelos constitutivos implementados en el software y utilizados en los cálculos manuales.

Por lo tanto, se cumple la prueba de flexión positiva.

La resistencia a la flexión negativa se evalúa en la zona maciza.

Las distancias desde el intradós de la armadura en la sección son:

$$e_1 = 29 \text{ cm}$$

$$e_2 = 22 \text{ cm}$$

$$e_3 = 2 \text{ cm}$$

En lo que sigue, con el único propósito de simplificar la ejecución manual de los cálculos de validación, se utiliza un comportamiento del tipo bloque de tensiones para el hormigón ligero estructural. Cabe señalar, no obstante, que en el software utiliza el comportamiento de tipo parabólico-rectangular. Las pequeñas diferencias en términos de eje neutro y momento resistente se deben a los diferentes modelos constitutivos implementados en el software y utilizados en los cálculos manuales.

La posición del eje neutro se obtiene imponiendo el equilibrio en la traslación, haciendo una suposición sobre el estado de deformación de la sección que se verificará posteriormente:



$$-f_{yd} \cdot A_{s1} - f_{sd} \cdot A_{s2} - \frac{\varepsilon_{cu} \cdot (e_3 - x1)}{x1} \cdot E_s \cdot A_{s3} + f_{cd} \cdot i_{tr} \cdot 0.8 \cdot x1 = 0$$

La profundidad del eje neutro en el momento negativo es igual a:

$$x1 = 1.55 \text{ cm}$$

Se verifican los supuestos iniciales y, a continuación, se evalúa el momento resistente escribiendo la ecuación de equilibrio para la rotación:

$$M_{rdn} = f_{yd} \cdot A_{s1} \cdot (e_1 - 0.4 \cdot x1) + f_{sd} \cdot A_{s2} \cdot (e_2 - 0.4 \cdot x1) + \sigma_{s3} \cdot A_{s3} \cdot (e_3 - 0.4 \cdot x1) = 27.39 \text{ kNm}$$

con:

$$\sigma_{s3} = \frac{\varepsilon_{cu} \cdot (e_3 - x1)}{x1} \cdot E_s$$

Por lo tanto, se cumple la prueba de flexión negativa.

Verificación del cortante

La resistencia al cortante se evalúa en la coordenada $x=5$ m en el primer vano, donde el esfuerzo cortante es máximo. Toda la armadura es a tracción en esta zona.

Desde $f_{ck,LATERMIX} > f_{cd}$, se procede a la **verificación a cortante en ELU**, para elementos sin refuerzo específico a cortante, de acuerdo con el §4.1.2.3.5.1 de las *Norme Tecniche delle Costruzioni*, según el siguiente informe:

$$V_{Rd} = \max \left\{ \left[\frac{0.18}{\gamma_m} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{cd})^{\frac{1}{3}} + 0.15 \sigma_{cp} \right] b_w \cdot ds, (v_{\min} + 0.15 \sigma_{cp}) b_w \cdot ds \right\} = \max (V_{r1}; V_{r2})$$

con:

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{ds}} = 1.83 \leq 2$$

$$v_{\min} = 0.035 k^{1.5} (f_{cd})^{0.5} = 0.388$$

$$\rho_l = \frac{A_{sl}}{b_w \cdot ds} = \frac{A_{s1} + A_{s2} + A_{s3}}{b_w \cdot ds} = 0.0145 \leq 0.02$$

$$\sigma_{cp} = 0$$

Y ds altura útil de la sección igual a 29 cm, A_{sl} área de la armadura longitudinal a tracción, b_w base mínima de la sección de reacción igual a 8 cm y γ_m igual a 1,5.



Por lo tanto, resulta:

$$V_{r1} = \left[\frac{0.18}{\gamma_m} \cdot k \cdot \left(100 \cdot \rho_l \cdot \frac{f_{ck}}{FC} \right)^{\frac{1}{3}} + 0.15 \sigma_{cp} \right] b_w \cdot ds = 15.67 \text{ kN}$$

$$V_{r2} = (v_{\min} + 0.15 \sigma_{cp}) b_w \cdot ds = 8.99 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} = \max(V_{r1}; V_{r2}) = 15.67 \text{ kN}$$

Por lo tanto, se cumple la verificación del cortante.

Prueba de deslizamiento en la superficie de contacto con la nueva losa

Para el cálculo de la perfecta adherencia entre la nueva losa de **Hormigón CentroStorico** y el forjado existente, se compara el esfuerzo cortante presente en la interfaz losa-forjado existente (evaluado mediante la fórmula de Jourawski) con el valor de proyecto del **Conector Químico CentroStorico** de 0,72 MPa, necesario para la correcta cooperación entre ambas partes.

Coefficiente de homogeneización para zonas con momento positivo:

$$n^+ = \frac{E_s}{\frac{E_{cls, LATERMIX}}{2}} = \frac{210000 \text{ MPa}}{\left(\frac{17000 \text{ MPa}}{2} \right)} = 24.71$$

Coefficiente de homogeneización para zonas con momento negativo:

$$n^- = \frac{E_s}{\frac{E_{horm, existente}}{2}} = \frac{210000 \text{ MPa}}{\left(\frac{27085 \text{ MPa}}{2} \right)} = 15.51$$

Como ejemplo para zonas sometidas a momento positivo, se evalúa la posición del eje neutro a partir del cálculo elástico de la sección, imponiendo que el momento estático de toda la sección parcializado con respecto al eje neutro sea cero (suposición de eje neutro en la nueva losa de hormigón estructural y en particular en el alma de la T de hormigón):

$$h_s i_{tr} \left(x_p - \frac{h_s}{2} \right) + \frac{b_r (x_p - h_s)(x - h_s)}{2} + n^+ [A_{s1}(x_p - c_1) + A_{s2}(x_p - c_2) + A_{s3}(x_p - c_3)] = 0$$

de la que derivamos $x_p = 4.47 \text{ cm}$. La hipótesis se verifica. En la ecuación anterior h_s es el espesor de la nueva losa (4 cm), b_r es el ancho de la conexión de hormigón (8 cm).

A continuación, se evalúa el momento estático de la porción por encima de la cuerda b considerada situada en la interfaz entre el forjado existente y el nuevo, que en este caso implica la armadura del forjado y la porción de hormigón comprimido:

$$S_{int} = h_s i_{tr} \left(x_p - \frac{h_s}{2} \right) + \frac{b_r (x_p - h_s)(x - h_s)}{2} + n^+ A_{s1}(x_p - c_1) = 591.63 \text{ cm}^3$$



El momento de inercia de toda la sección parcial con respecto al eje neutro se evalúa del siguiente modo:

$$J_n = \frac{i_{tr} \cdot h_s^3}{12} + h_s i_{tr} \cdot \left(x_p - \frac{h_s}{2}\right)^2 + b_r \frac{(x_p - h_s)^3}{12} + b_r (x_p - h_s) \left(\frac{x_p - h_s}{2}\right)^2 + n^+ \cdot (A_{s1} \cdot (x_p - c_1)^2 + A_{s2} \cdot (x_p - c_2)^2 + A_{s3} \cdot (x_p - c_3)^2)$$

$$J_n = 13979.99 \text{ cm}^4$$

Por último, la tensión tangencial en la interfaz se calcula utilizando la fórmula de Jourawsky en el soporte de la izquierda, donde se da el cortante máximo para las zonas sometidas a momento positivo:

$$\tau_{interfaz} = \frac{V_A \cdot S_{int}}{J_n \cdot b} = 0.57 \text{ MPa} < 0.72 \text{ MPa}$$

con $b = b_r = 8 \text{ cm}$

La verificación se cumple ya que la tensión es inferior a la tensión de proyecto del Conector Químico CentroStorico.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos en el software:

Resultados

Resultados del cálculo

Msd+	11.30	kNm	Cumple
Mrd+	14.01	kNm	
Msd-	-10.26	kNm	Cumple
Mrd-	-27.37	kNm	
Vsd	14.87	kN	Cumple
Vrd	15.67	kN	
τ_{sd}	0.57	MPa	Cumple
τ_{rd}	0.72	MPa	

Calcular

Diagramas M, V

Se muestran los diagramas de momento y cortante, incluidos los valores de resistencia.



Diagrama de momentos:

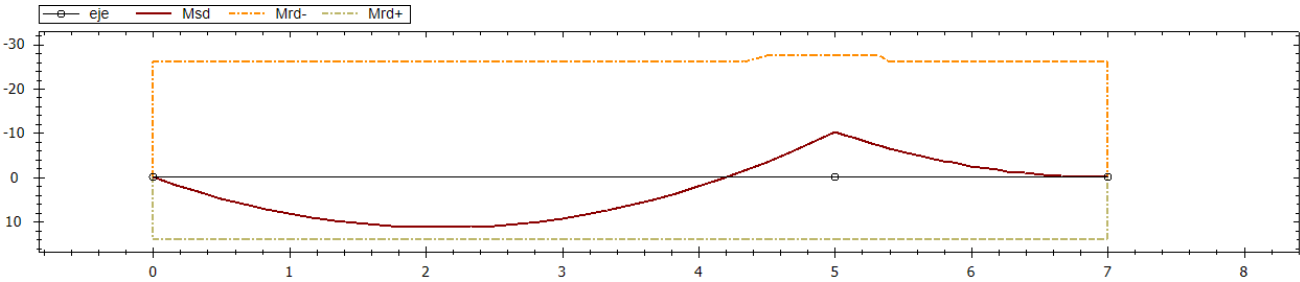
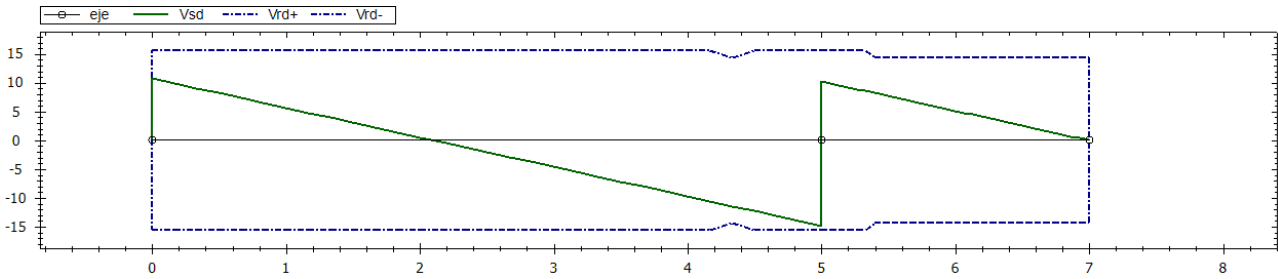


Diagrama de cortante:

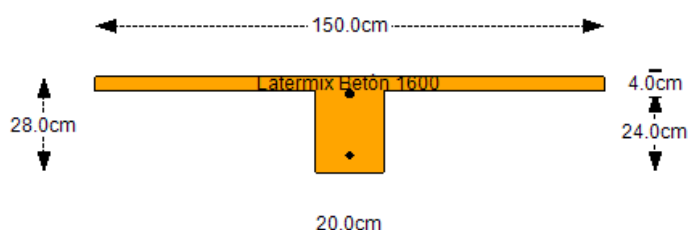


3.3. Caso 3 – Nueva losa dentro el forjado

En el caso de que el refuerzo del forjado existente mediante la construcción de una nueva losa de hormigón estructural aligerado, realizada con Conector Químico CentroStorico, no permita cumplir todas las verificaciones de los Estados Límite Últimos, el software permite el dimensionamiento de nuevas viguetas en el forjado existente.

En este caso concreto, se analiza el refuerzo con una nueva vigueta dentro el forjado existente. Consulte la sección siguiente para el dimensionamiento de la nueva vigueta encima el forjado existente.

Se mantiene el mismo esquema estático, la misma geometría de forjado existente y las mismas cargas que en el caso 1. Se supone un cambio en la armadura actual, fijado en 0,5 cm² para los niveles de refuerzo. Con el cambio de la armadura, el forjado ya no se verifica sólo con el forjado colaborante.



GEOMETRÍA	Tipo	Dentro el forjado
Espesor de la nueva	4.0	cm
Base nueva vigueta	20.0	cm
Altura nueva vigueta	24.0	cm
Intereje viguetas	150.0	cm
Longitud vano 1	500.0	cm
Longitud vano 2	500.0	cm

vano	As [cm2].	c [cm2]	As' [cm2].	c' [cm2].	Estribos y distancia
1	3.08	5.0	4.62	5.0	2φ6/25
2	3.08	5.0	4.62	5.0	2φ6/25

Para el cálculo de la carga, en combinación con el Estado Límite Último, en la vigueta única nueva de hormigón estructural aligerado, se utiliza la masa por unidad de volumen de hormigón armado para la clase de hormigón según la tabla C4.1.VI de la Circular. Concretamente, utilizando **Latermix Betón 1600**, el valor utilizado es de 18,5 kN/m³(clase D1.7).

La carga combinada ELU en la vigueta individual es de 16,83 kN/m.

Se recuerdan las propiedades mecánicas del acero nuevo y del hormigón ligero estructural **Latermix Betón 1600**:

- **Latermix Betón 1600:**

$$f_{lck} = 31.5 \text{ MPa}$$

$$f_{lcd} = \frac{0.85 f_{lck}}{1.5} = 18.85 \text{ MPa}$$

$$E = 20000 \text{ MPa}$$



- **Acero B450C:**

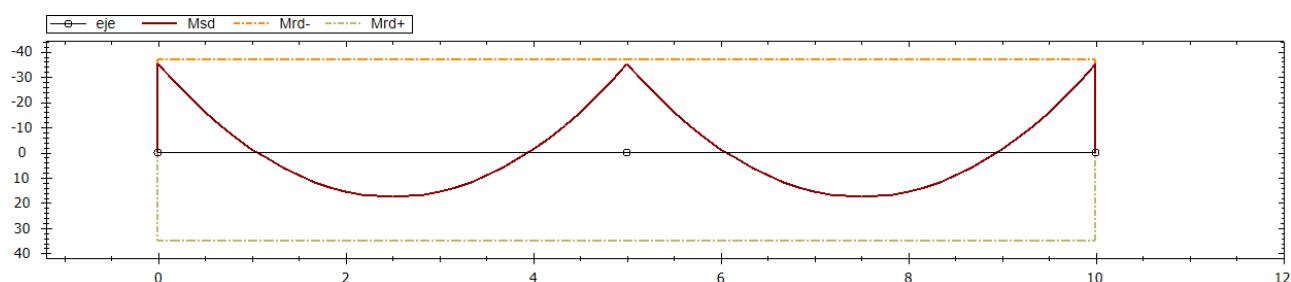
$$f_{yk} = 450 \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{1.15} = 391.3 \text{ MPa}$$

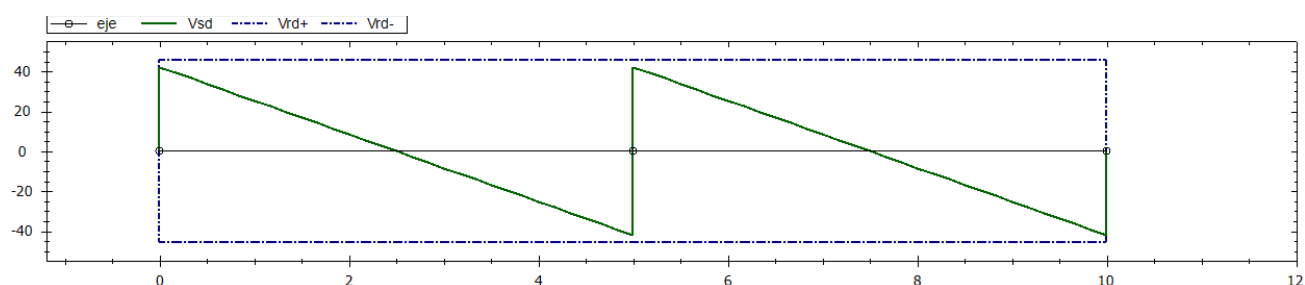
$$E_s = 210000 \text{ MPa}$$

Se muestran los diagramas de tensiones.

Diagrama de momentos



Esquema de corte



Comprobación a flexión

En primer lugar, se evalúa el momento resistente positivo. Resultan las distancias a los extradós de los refuerzos en la sección:

$$c_1 = 5 \text{ cm}$$

$$c_2 = 23 \text{ cm}$$

En lo que sigue, con el único propósito de simplificar la ejecución manual de los cálculos de validación, se utiliza un comportamiento del tipo bloque de tensiones para el hormigón ligero estructural. Cabe señalar, no obstante, que en el software utiliza el comportamiento de tipo parabólico-rectangular, de conformidad con la Norma.

Resulta la posición del eje neutro, obtenida escribiendo la ecuación de equilibrio a traslación suponiendo que cae en la losa y que ambos niveles de armadura están al límite elástico y tensados:



$$x_p = \frac{f_{yd} \cdot A_{s1} + f_{yd} \cdot A_{s2}}{f_{Ld} \cdot i_{tr} \cdot 0.8} = \frac{391.3 \text{ MPa} \cdot 4.62 \text{ cm}^2 + 391.3 \text{ MPa} \cdot 3.08 \text{ cm}^2}{17.85 \text{ MPa} \cdot 100 \text{ cm} \cdot 0.8} = 1.41 \text{ cm}$$

Se verifican los supuestos y, por tanto, se evalúa el momento resistente positivo escribiendo la ecuación de equilibrio para la rotación:

$$M_{rdp} = f_{yd} \cdot A_{s1} \cdot (c_1 - 0.4 \cdot x_p) + f_{yd} \cdot A_{s2} \cdot (c_2 - 0.4 \cdot x_p) = 35.06 \text{ kNm}$$

Las pequeñas diferencias en términos de eje neutro y momento resistente se deben a los diferentes modelos constitutivos implementados en el software y utilizados en los cálculos manuales.

Se evalúa el momento resistente negativo. Las distancias desde el intradós de la armadura en la sección son:

$$e_1 = 23 \text{ cm}$$

$$e_2 = 5 \text{ cm}$$

En lo que sigue, con el único propósito de simplificar la ejecución manual de los cálculos de validación, se utiliza un comportamiento del tipo bloque de tensiones para el hormigón ligero estructural. Cabe señalar, no obstante, que en el software utiliza el comportamiento de tipo parabólico-rectangular, de conformidad con la Norma.

Resulta la ecuación de equilibrio en traslación, suponiendo que la armadura a intradós está en compresión y fase elástica y la armadura a estrados está tensada y al límite elástico:

$$f_{yd} \cdot A_{s1} - E_s \cdot \frac{\varepsilon_{lcu} \cdot (x_n - e_2)}{x_n} \cdot A_{s2} - f_{lcd} \cdot b_{tr} \cdot 0.8 \cdot x_n = 0$$

Resolviendo la ecuación se obtiene un eje neutro igual a:

$$x_n = 5.60 \text{ cm}$$

Se verifican los supuestos y, por tanto, se evalúa el momento resistente negativo escribiendo la ecuación de equilibrio para la rotación:

$$M_{rdn} = f_{yd} \cdot A_{s1} \cdot (e_1 - 0.4 \cdot x_n) + E_s \cdot \frac{\varepsilon_{lcu} \cdot (x_n - e_2)}{x_n} \cdot A_{s2} \cdot (e_2 - 0.4 \cdot x_n) = 38.10 \text{ kNm}$$

Las diferencias en términos de eje neutro y momento resistente se deben a los distintos modelos constitutivos implementados en el software y utilizados en los cálculos manuales.

Verificación a cortante

La resistencia al cortante se evalúa para los elementos con armadura transversal resistente a cortante de acuerdo con §4.1.2.3.5.2 y §C4.1.12.1.3.2.2 de las *Norme Tecniche delle Costruzioni*:

$$V_{Rsd} = 0.9d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\cot \alpha + \cot \theta) \cdot \sin \alpha$$



$$V_{Rcd} = 0.9d \cdot b_w \cdot 0.4f_{lcd} \cdot \frac{(\cot\alpha + \cot\theta)}{(1 + \cot^2\theta)}$$

$$V_{Rd} = \min(V_{Rsd}, V_{Rcd})$$

Con A_{sw} área de refuerzo transversal (estribos), s distancia estribos, $\alpha = 90^\circ$ y $21.8^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$

En concreto, los resultados de A_{sw} :

$$A_{sw} = \frac{n_b \cdot \pi \cdot \phi_{st}^2}{4} = \frac{2 \cdot \pi \cdot (6 \text{ mm})^2}{4} = 56.55 \text{ mm}^2$$

Investigamos si existe un ángulo θ para el fallo por cortante equilibrado imponiendo la igualdad entre V_{Rcd} y V_{Rsd} . Esta ecuación arroja un ángulo de 12.87° , que no entra dentro del rango exigido por la norma. Por lo tanto, en los cálculos posteriores se asume un valor de 21.8° .

A continuación, se evalúa la resistencia en el lado del acero y en el lado del hormigón:

$$V_{Rsd} = 0.9d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\cot\alpha + \cot\theta) \cdot \sin\alpha = 45.80 \text{ kN}$$

$$V_{Rcd} = 0.9d \cdot b_w \cdot 0.4f_{lcd} \cdot \frac{(\cot\alpha + \cot\theta)}{(1 + \cot^2\theta)} = 101.93 \text{ kN}$$

Con b_w igual a 20 cm y d igual a 23 cm.

De ello resulta la resistencia al cortante de la nueva vigueta:

$$V_{Rd} = \min(V_{Rsd}; V_{Rcd}) = 45.80 \text{ kN}$$

Deslizamiento de la interfaz

El deslizamiento se evalúa en la interfaz entre el forjado superior de la nueva vigueta, el forjado existente y el núcleo de la nueva vigueta en la zona sometida a momento positivo. En la evaluación de la tensión tangencial se desprecia el forjado existente.

Coeficiente de homogeneización:

$$n^+ = \frac{E_s}{E} = 21$$

El eje neutro elástico se evalúa imponiendo que el momento estático de toda la sección parcial sea cero:

$$S = i_{tr} \cdot x \cdot \left(x - \frac{x}{2}\right) + n^+ \cdot A_{s1} \cdot (x - c_1) + n^+ \cdot A_{s2} \cdot (x - c_2) = 0$$

Resolviendo la ecuación, obtenemos



$$x = 4.16 \text{ cm}$$

A continuación, procedemos a la evaluación de los términos necesarios para calcular el deslizamiento en la interfaz:

$$\tau_{interfaz} = \frac{V_{sd} \cdot S_{int}}{J_n \cdot b}$$

Se aplica el momento estático (sección parcial) de la porción por encima de la cuerda S_{int} :

$$S_{int} = x \cdot i_{tr} \cdot \frac{x}{2} = 1298.98 \text{ cm}^3$$

Se mantiene la inercia de toda la sección parcial con respecto al eje neutro J_n :

$$J_n = \frac{A_c \cdot x^2}{12} + A_c \cdot \left(\frac{x}{2}\right)^2 + n^+ \cdot (A_{s1} \cdot (c_1 - x)^2 + A_{s2} \cdot (c_2 - x)^2) = 26625.65 \text{ cm}^4$$

El ancho del cordón a considerar se fija, por cautela, en 112 cm, que es la diferencia entre la separación de las nuevas viguetas y el ancho de la bovedilla que se rellena parcialmente con la nueva vigueta.

El esfuerzo cortante máximo en la combinación ELU en zonas sometidas a momento positivo es de 22,44 kN.

A continuación, se muestran los resultados del software:

Resultados nuevas viguetas

Resultados del cálculo: losa con nuevas viguetas

Carga en combinación ELU por una sola viga	16.83	kN/m	
Msd+	17.53	kNm	Cumple
Mrd+	34.99	kNm	
Msd-	-35.05	kNm	Cumple
Mrd-	-36.80	kNm	
Vsd	42.07	kN	Cumple
Vrd	45.80	kN	
τsd	0.10	MPa	Cumple
τrd	0.72	MPa	

Calcular nueva vigueta

Diagramas M, V

Longitud de cálculo para deslizamiento [cm]

112.0



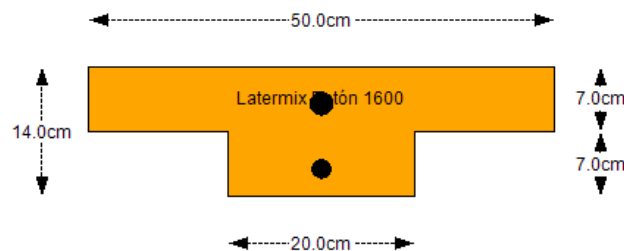
3.4. Caso 4 – Nueva vigueta encima del forjado

En el caso de que el refuerzo del forjado existente mediante la construcción de una nueva losa de hormigón estructural ligero, realizada con Conector Químico CentroStorico, no permita cumplir todas las verificaciones de los Estados Límite Últimos, el software permite el dimensionamiento de nuevas viguetas encima del forjado existente.

En este caso concreto, se analiza una nueva vigueta encima del forjado existente.

Se mantienen el mismo esquema estático, la geometría del forjado existente y las cargas del caso 1. Se supone un cambio en la armadura actual, fijada en 0,5 cm² para la armadura inferior en la vigueta existente, y la ausencia de armadura superior existente.

Con el cambio de la armadura, el forjado ya no se verifica sólo con la losa colaborante.



GEOMETRÍA	Tipo	Encima del forjado
Espesor nueva losa	7.0	cm
Base nueva vigueta	20.0	cm
Altura nueva vigueta	7.0	cm
Intereje nuevas viguetas	50.0	cm
Longitud vano 1	500.0	cm
Longitud vano 2	500.0	cm

Vano	As [cm2].	c [cm2]	As' [cm2].	c' [cm2].	Estribos y distancia
1	3.08	3.0	4.62	4.0	2φ6/25
2	3.08	3.0	4.62	4.0	2φ6/25

Para el cálculo de las cargas, en combinación con el Estado Límite Último, en la vigueta nueva de hormigón estructural ligero, se utiliza la masa por unidad de volumen de hormigón armado para la clase de hormigón según la tabla C4.1.VI de la Circular. Concretamente, utilizando el **Latermix Betón 1600**, el valor utilizado es de 18,5 kN/m³(clase D1.7).

La carga combinada ELU en la vigueta individual es de 5,92 kN/m.

Se recuerdan las propiedades mecánicas del acero nuevo y del hormigón ligero estructural **Latermix Betón 1600**:

- **Latermix Betón 1600:**

$$f_{lck} = 31.5 \text{ MPa}$$

$$f_{lcd} = \frac{0.85f_{lck}}{1.5} = 18.85 \text{ MPa}$$

$$E = 20000 \text{ MPa}$$



- **Acero B450C:**

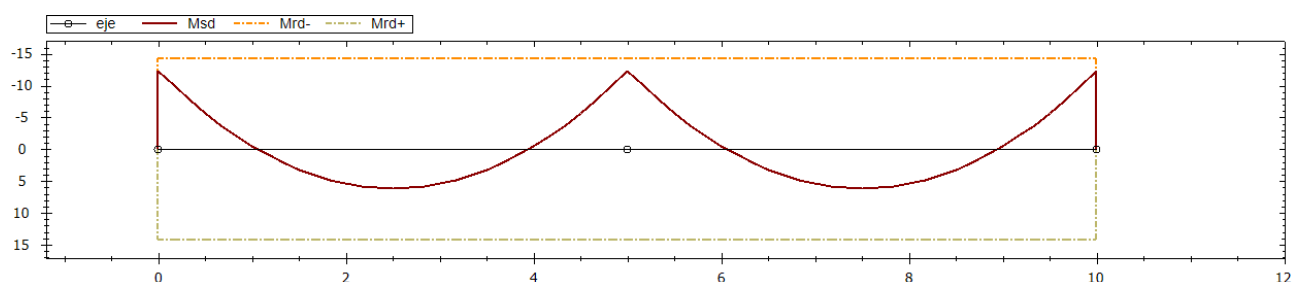
$$f_{yk} = 450 \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{1.15} = 391.3 \text{ MPa}$$

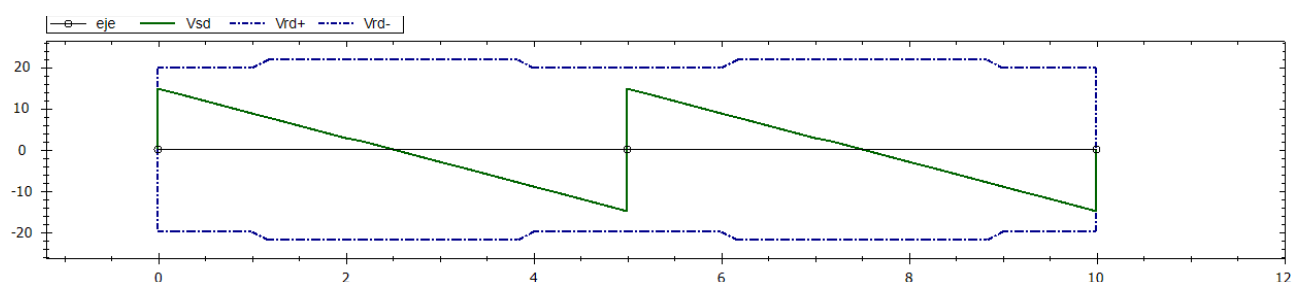
$$E_s = 210000 \text{ MPa}$$

Se muestran los diagramas de tensiones.

Diagrama de momentos



Esquema de corte



Comprobación a flexión

En primer lugar, se evalúa el momento resistente positivo. Resultan las distancias a los extradós de los refuerzos en la sección de la nueva vigueta:

$$c_1 = 4 \text{ cm}$$

$$c_2 = 11 \text{ cm}$$

En lo que sigue, con el único propósito de simplificar la ejecución manual de los cálculos de validación, se utiliza un comportamiento del tipo bloque de tensiones para el hormigón ligero estructural. Cabe señalar, no obstante, que en el software utiliza el comportamiento de tipo parabólico-rectangular, de conformidad con la Norma.

Resulta la ecuación de equilibrio en traslación, suponiendo que la armadura a intradós está tensada y a limite elástico y la armadura a extradós es a tracción y elástica:



$$f_{yd} \cdot A_{s2} + E_s \cdot \frac{\varepsilon_{lcu} \cdot (c_1 - x_p)}{x_p} \cdot A_{s1} - f_{lcd} \cdot i_{tr} \cdot 0.8 \cdot x_p = 0$$

Resolviendo la ecuación se obtiene un eje neutro igual a:

$$x_p = 3.02 \text{ cm}$$

Se verifican los supuestos y, por tanto, se evalúa el momento resistente positivo escribiendo la ecuación de equilibrio para la rotación:

$$M_{rdp} = E_s \cdot \frac{\varepsilon_{lcu} \cdot (c_1 - x_p)}{x_p} \cdot A_{s1} \cdot (c_1 - 0.4 \cdot x_p) + f_{yd} \cdot A_{s2} \cdot (c_2 - 0.4 \cdot x_p) = 14.45 \text{ kNm}$$

Las pequeñas diferencias en términos de eje neutro y momento resistente se deben a los diferentes comportamientos implementados en el software y utilizados en los cálculos manuales.

Se evalúa el momento resistente negativo. Las distancias desde el intradós de la armadura en la sección son:

$$e_1 = 10 \text{ cm}$$

$$e_2 = 3 \text{ cm}$$

En lo que sigue, con el único propósito de simplificar la ejecución manual de los cálculos de validación, se utiliza un comportamiento del tipo bloque de tensiones para el hormigón ligero estructural. Cabe señalar, no obstante, que en el software utiliza el comportamiento de tipo parabólico-rectangular, de conformidad con la Norma.

Resulta la ecuación de equilibrio de traslación, suponiendo que la armadura a intradós está en compresión y fase elástica y la armadura a extradós está tensada y al límite elástico:

$$f_{yd} \cdot A_{s1} - E_s \cdot \frac{\varepsilon_{lcu} \cdot (x_n - e_2)}{x_n} \cdot A_{s2} - f_{lcd} \cdot b_{tr} \cdot 0.8 \cdot x_n = 0$$

Resolviendo la ecuación se obtiene un eje neutro igual a:

$$x_n = 4.29 \text{ cm}$$

Se verifican los supuestos y, por tanto, se evalúa el momento resistente negativo escribiendo la ecuación de equilibrio para la rotación:

$$M_{rdn} = f_{yd} \cdot A_{s1} \cdot (e_1 - 0.4 \cdot x_n) + E_s \cdot \frac{\varepsilon_{lcu} \cdot (x_n - e_2)}{x_n} \cdot A_{s2} \cdot (e_2 - 0.4 \cdot x_n) = 14.23 \text{ kNm}$$

Las pequeñas diferencias en términos de eje neutro y momento resistente se deben a los diferentes comportamientos implementados en el software y utilizados en los cálculos manuales.



Verificación a cortante

La resistencia al cortante se evalúa para los elementos con armadura transversal resistente a cortante de acuerdo con §4.1.2.3.5.2 y §C4.1.12.1.3.2.2 de las *Norme Tecniche delle Costruzioni*:

$$V_{Rsd} = 0.9d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\cot\alpha + \cot\theta) \cdot \sin\alpha$$

$$V_{Rcd} = 0.9d \cdot b_w \cdot 0.4f_{lcd} \cdot \frac{(\cot\alpha + \cot\theta)}{(1 + \cot^2\theta)}$$

$$V_{Rd} = \min(V_{Rsd}, V_{Rcd})$$

Con A_{sw} área de refuerzo transversal (estribos), s distancia estribos, $\alpha = 90^\circ$ y $21.8^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$

En concreto, los resultados de A_{sw} :

$$A_{sw} = \frac{n_b \cdot \pi \cdot \phi_{st}^2}{4} = \frac{2 \cdot \pi \cdot (6 \text{ mm})^2}{4} = 56.55 \text{ mm}^2$$

Investigamos si existe un ángulo θ para el fallo por cortante equilibrado imponiendo la igualdad entre V_{Rcd} y V_{Rsd} . Esta ecuación arroja un ángulo de $14,42^\circ$, que no entra dentro del rango previsto por la norma. Por lo tanto, en los cálculos posteriores se asume un valor de $21,8^\circ$.

A continuación, se evalúa la resistencia en el lado del acero y en el lado del hormigón:

$$V_{Rsd} = 0.9d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\cot\alpha + \cot\theta) \cdot \sin\alpha = 19.91 \text{ kN}$$

$$V_{Rcd} = 0.9d \cdot b_w \cdot 0.4f_{lcd} \cdot \frac{(\cot\alpha + \cot\theta)}{(1 + \cot^2\theta)} = 44.32 \text{ kN}$$

Con b_w igual a 20 cm y d igual a 10 cm.

De eso resulta la resistencia al cortante de la nueva viga:

$$V_{Rd} = \min(V_{Rsd}; V_{Rcd}) = 19.91 \text{ kN}$$

La evaluación se llevó a cabo en zonas sometidas a momento negativo; del mismo modo, utilizando la altura correcta, la evaluación se lleva a cabo en zonas sometidas a momento positivo.

Deslizamiento a la interfaz

El deslizamiento se evalúa en la interfaz entre la nueva viga y el forjado existente en la zona sometida a momento positivo.

Coeficiente de homogeneización para las zonas con momento positivo:



$$n^+ = \frac{E_s}{\frac{E}{2}} = 21$$

Coeficiente de homogeneización para las zonas con momento negativo:

$$n^- = \frac{E_s}{\frac{E_{horm,ex}}{2}} = 14.02$$

A continuación, se realiza la evaluación del eje neutro elástico, del momento estático de la porción superior a la cuerda considerada y del momento de inercia de toda la sección parcializado respecto al eje neutro para las zonas sometidas a momento positivo y para las zonas sometidas a momento negativo. En cuanto al esfuerzo cortante a considerar para la evaluación del deslizamiento en la interfaz, es necesario considerar el valor del cortante en la sección exacta en la que se realiza la verificación. El ancho del cordón a considerar es igual a la base de la nueva vigueta.

Áreas con momento positivo:

El eje neutro elástico se evalúa imponiendo que el momento estático de toda la sección parcial sea cero:

$$S = i_{tr} \cdot x_{p1} \cdot \left(x_{p1} - \frac{x_{p1}}{2}\right) + n^+ \cdot A_{s1} \cdot (x_{p1} - c_1) + n^+ \cdot A_{s2} \cdot (x_{p1} - c_2) + n^+ \cdot A_{se3} \cdot (x_{p1} - c_{e3}) = 0$$

Con A_{se3} refuerzo en la vigueta existente igual a $0,50 \text{ cm}^2$ y colocado a 3 cm del intradós del forjado existente y c_{e3} altura útil de este refuerzo medida desde el extradós del forjado reforzado (35 cm).

Resolviendo la ecuación, obtenemos

$$x_{p1} = 4.96 \text{ cm}$$

Se aplica el momento estático (sección parcial) de la porción por encima de la cuerda S_{int} :

$$S_{int} = i_{tr} \cdot x_{p1} \cdot \left(x_{p1} - \frac{x_{p1}}{2}\right) + n^+ \cdot A_{s1} \cdot (x_{p1} - c_1) + n^+ \cdot A_{s2} \cdot (x_{p1} - c_2) = 315.47 \text{ cm}^3$$

Se mantiene la inercia de toda la sección parcial con respecto al eje neutro J_n :

$$J_n = \frac{i_{tr} \cdot x_{p1}^3}{12} + i_{tr} \cdot x_{p1} \cdot \left(x_{p1} - \frac{x_{p1}}{2}\right)^2 + n^+ \left(A_{s1} \cdot (c_1 - x_{p1})^2 + A_{s2} \cdot (c_2 - x_{p1})^2 + A_{se3} \cdot (c_{e3} - x_{p1})^2 \right)$$

$$J_n = 13958 \text{ cm}^4$$

Áreas con momento negativo:

El eje neutro elástico se evalúa imponiendo que el momento estático de toda la sección parcial sea cero:

$$S = b \cdot x_{n1} \cdot \left(x_{n1} - \frac{x_{n1}}{2}\right) + n^- \cdot A_{s1} \cdot (x_{n1} - cn_1) + n^- \cdot A_{s2} \cdot (x_{n1} - cn_2) + n^- \cdot A_{se3} \cdot (x_{n1} - e_{e3}) = 0$$



Con b base de la vigueta existente (12 cm), cn_1 altura útil de la armadura A_{s1} medida desde el intradós del forjado armado (34 cm), cn_2 altura útil de la armadura A_{s2} medida desde el intradós del forjado armado (27 cm) y e_{e3} altura útil de la armadura A_{se3} medida desde el intradós del forjado armado (3 cm).

Resolviendo la ecuación, obtenemos

$$x_{n1} = 16.04 \text{ cm}$$

Se aplica el momento estático (sección parcial) de la porción por encima de la cuerda S_{int} :

$$S_{int} = n^- \cdot A_{s1} \cdot (x_{n1} - cn_1) + n^- \cdot A_{s2} \cdot (x_{n1} - cn_2) = 1635.89 \text{ cm}^3$$

El valor anterior se da en valor absoluto.

Se mantiene la inercia de toda la sección parcial con respecto al eje neutro J_n :

$$J_n = \frac{b \cdot x_{n1}^3}{12} + b \cdot x_{n1} \cdot \left(x_{n1} - \frac{x_{n1}}{2}\right)^2 + n^- \cdot (A_{s1} \cdot (cn_1 - x_{n1})^2 + A_{s2} \cdot (cn_2 - x_{n1})^2 + A_{se3} \cdot (e_{e3} - x_{n1})^2)$$

$$J_n = 43774.9 \text{ cm}^4$$

A continuación, se muestran los resultados del programa informático:

Resultados nuevas viguetas

Resultados del cálculo: losa con nuevas viguetas

Carga en combinación ELU por una sola viga			5.92	kN/m
Msd+	6.17	kNm	Cumple	
Mrd+	14.29	kNm		
Msd-	-12.33	kNm	Cumple	
Mrd-	-14.15	kNm		
Vsd	14.80	kN	Cumple	
Vrd	19.91	kN		
τ_{sd}	0.28	MPa	Cumple	
τ_{rd}	0.72	MPa		

Calcular nueva vigueta

Diagramas M, V



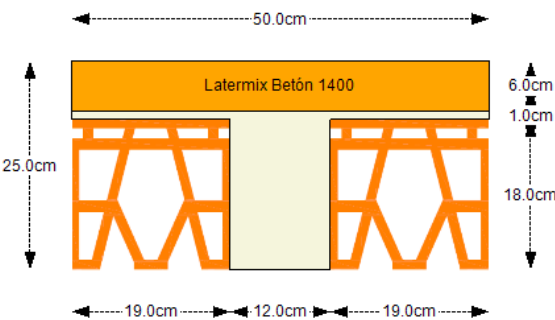
3.5. Caso 5 - Forjado con nueva losa y Conector Hormigón Plus D12

Se analiza un forjado existente con las características descritas a continuación, reforzado mediante la construcción de una nueva losa en hormigón ligero estructural **Latermix Betón 1400**, conectado al forjado existente mediante **Conector Hormigón Plus D12**.

Se adoptan los siguientes materiales existentes con parámetros frágiles:

- para hormigón existente, se selecciona "Valor de informe" para elegir una clase C20/25 y un Nivel de Conocimiento LC1 correspondiente a un Factor de Confianza de 1,35;
- para acero existente, se selecciona "Valor de informe" para elegir una clase FeB44k y se selecciona un Nivel de Conocimiento LC1 correspondiente a un Factor de Confianza de 1,35.

Se adopta la geometría siguiente:



GEOMETRÍA		
Espesor nueva losa	6.0	cm
Espesor losa existente	1.0	cm
Base vigueta	12.0	cm
Altura vigueta	18.0	cm
Intereje viguetas	50.0	cm
Longitud vano 1	450.0	cm

El grado de rigidez es muy baja en ambos extremos.

La carga en el Estado Límite Último se determina de la siguiente manera:

Coeficientes de seguridad	Cargas estructurales permanentes	γ_{G1}	1.3 -
	Otras cargas permanentes no estructurales	γ_{G2}	1.5 -
	Cargas variables	γ_Q	1.5 -
Peso propio	Forjado existente	G_1	2.15 kN/m ²
	Losa colaborante (6 cm)		0.93 kN/m ²
Permanentes	Latermix Facile (6,00 cm)	G_2	0.60 kN/m ²
	Otros permanentes		0.30 kN/m ²
Variables		Q	2.00 kN/m ²

La combinación de carga ELU considerada es:

$$q = i_{tr} \cdot [\gamma_{G1} \cdot (P_{forjado} + P_{losa} + P_{solera}) + \gamma_{G2} \cdot P_{otros} + \gamma_Q \cdot Q_{var}]$$

donde el peso propio del forjado se evalúa considerando una densidad del hormigón de la vigueta existente de 25 kN/m³ y de las bovedillas de 6 kN/m³, el peso de la losa se evalúa considerando la clase de densidad a



la que pertenece el hormigón ligero estructural y el correspondiente valor de masa por unidad de volumen de acuerdo con la Tab. C4.1.VI (hormigón no armado).

La carga por viga es, por tanto:

$$q = 50 \text{ cm} \cdot [1.3 \cdot (2.15 + 0.93 + 0.60) + 1.5 \cdot 0.30 + 1.5 \cdot 2.00] = 4.12 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Para calcular la separación de los conectores, es necesario conocer la dirección del momento tensional previo a la intervención y, concretamente, la tendencia viene determinada por la siguiente expresión:

$$M_{sd,pre-int}(x) = q_{pre-int} \cdot \frac{L}{2} \cdot x - q_{pre-int} \cdot \frac{x^2}{2} - q_{pre-int} \cdot \frac{L^2}{48}$$

El momento se anula en las coordenadas:

$$x = 4.30 \text{ m}$$

$$x = 0.20 \text{ m}$$

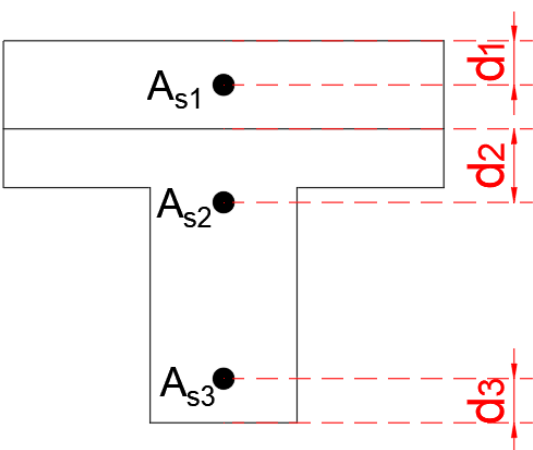
Por lo tanto, en el caso que nos ocupa para $x < 0.20 \text{ m}$ y $x > 4.30 \text{ m}$ el momento es negativo mientras que para $0.20 \text{ m} \leq x \leq 4.30 \text{ m}$ es positivo.

Para calcular la distancia de los conectores, también es necesario conocer la tendencia del esfuerzo cortante luego de la intervención:

$$V(x) = q \cdot \left(\frac{L}{2} - x \right)$$

El valor máximo del esfuerzo cortante se produce en los apoyos y es de 9,26 kN.

El refuerzo seccional se define del siguiente modo:

	$A_{s2} = 0.50 \text{ cm}^2 \quad d_2 = 3 \text{ cm (FeB44k)}$ $A_{s3} = 1.57 \text{ cm}^2 \quad d_3 = 2 \text{ cm (FeB44k)}$ <p>Para FeB44k - parámetros frágiles:</p> $f_{sd} = \frac{f_{sk}}{FC \cdot \gamma_{ac,es}} = \frac{430}{1.35 \cdot 1.15} = 276.97 \text{ MPa}$ <p>Para C20/25 - parámetros frágiles:</p> $f_{cd} = \frac{0.85 \cdot f_{ck}}{FC \cdot \gamma_{c,es}} = \frac{0.85 \cdot 20}{1.35 \cdot 1.50} = 8.40 \text{ MPa}$
---	---



Cálculo del eje neutro positivo antes de la intervención

Las distancias desde el extradós de la sección de refuerzo existente son las siguientes:

$$c_2 = 3 \text{ cm}$$

$$c_3 = 17 \text{ cm}$$

La posición del eje neutro se obtiene imponiendo el equilibrio en la traslación, suponiendo que el fallo llega a la deformación máxima en el extremo comprimido del hormigón, que el eje neutro cae en la viga existente, que la armadura superior es a tracción y elástica y que la armadura inferior es a tracción y elástica (estas hipótesis deben ser verificadas). De forma simplificada, se utiliza un comportamiento de tipo bloque de tensión para el hormigón existente (en el software, el enlace implementado es el parabólico-rectangular):

$$i_{tr} \cdot f_{cd} \cdot h_{s,es} + b \cdot f_{cd} \cdot (0.8x - h_{s,es}) - A_{s3} \cdot f_{sd} - A_{s2} \cdot E_s \cdot \varepsilon_{s2} = 0$$

Donde $h_{s,es}$ es el espesor de la losa existente, E_s igual a 210000 MPa y ε_{s2} es la deformación de la armadura superior que puede obtenerse utilizando la similitud entre triángulos en el diagrama lineal de deformaciones en sección:

$$\varepsilon_{s2} = \frac{\varepsilon_{cu}(c_2 - x)}{x}$$

Resolviendo la ecuación se obtiene un eje neutro (flexión positiva) igual a:

$$x = 2.46 \text{ cm}$$

Las pequeñas diferencias en cuanto al eje neutro se deben a los distintos comportamientos de los materiales implementados en el software y utilizados en los cálculos manuales.

Se cumplen los supuestos establecidos.

Cálculo del deslizamiento en la interfaz

El número de conectores a utilizar es el necesario para transmitir el deslizamiento entre el forjado existente y la nueva losa estructural de hormigón ligero. El deslizamiento se calcula mediante la fórmula de Jourawsky.

La evaluación se realiza tanto para las zonas de momento positivo como para las de momento negativo.

Coeficiente de homogeneización para zonas con momento positivo:

$$n^+ = \frac{E_s}{\frac{E_{horm,LATERMIX}}{2}} = \frac{210000 \text{ MPa}}{\left(\frac{15000 \text{ MPa}}{2}\right)} = 28.0$$



Evaluamos la posición del eje neutro a partir del cálculo elástico de la sección, imponiendo que el momento estático de toda la sección parcializada respecto al eje neutro es cero (suposición de eje neutro en la losa en **Latermix Betón 1400**):

$$i_{tr} \cdot x_p \cdot \left(x_p - \frac{x_p}{2}\right) + n^+ \cdot \left(A_{s2} \cdot (x_p - c_2) + A_{s3} \cdot (x_p - c_3)\right) = 0$$

Donde i_{tr} es la distancia entre viguetas.

Se deriva:

$$x_p = 5.68 \text{ cm}$$

A continuación, se evalúa el momento estático de la porción situada por encima de la cuerda considerada en la interfaz entre el forjado existente y el nuevo, que en este caso implica la porción comprimida del forjado estructural de hormigón aligerado:

$$S_{int} = i_{tr} \cdot x_p \cdot \left(x_p - \frac{x_p}{2}\right) = 807.64 \text{ cm}^3$$

El momento de inercia de toda la sección parcial con respecto al eje neutro se evalúa del siguiente modo:

$$J_n = \frac{i_{tr} \cdot x_p^3}{12} + i_{tr} \cdot x_p \cdot \left(x_p - \frac{x_p}{2}\right)^2 + n^+ \cdot \left(A_{s2} \cdot (x_p - c_2)^2 + A_{s3} \cdot (x_p - c_3)^2\right) = 16395.68 \text{ cm}^4$$

Coeficiente de homogeneización para zonas con momento negativo:

$$n^- = \frac{E_s}{\frac{E_{horm, existente}}{2}} = \frac{210000 \text{ MPa}}{\left(\frac{29962 \text{ MPa}}{2}\right)} = 14.0$$

Evaluamos la posición del eje neutro a partir del cálculo elástico de la sección, imponiendo que el momento estático de toda la sección parcializado con respecto al eje neutro es cero (suposición de eje neutro en la vigueta existente):

$$b_t \cdot x_n \cdot \left(x_n - \frac{x_n}{2}\right) + n^- \cdot (A_{s2} \cdot (x_n - e_2)^2 + A_{s3} \cdot (x_n - e_3)^2) = 0$$

Donde b_t es la base de la vigueta y e_2 y e_3 son las distancias de la armadura desde el intradós, es decir

$$e_2 = 16 \text{ cm}$$

$$e_3 = 2 \text{ cm}$$

Se deriva:

$$x_n = 3.23 \text{ cm}$$

Por lo tanto, el momento estático de la parte situada por encima de la cuerda considerada en la interfaz entre el forjado existente y el nuevo es nulo:



$$S_{int} = 0 \text{ cm}^3$$

El momento de inercia de toda la sección parcial con respecto al eje neutro se evalúa del siguiente modo:

$$J_n = \frac{b_t \cdot x_n^3}{12} + b_t \cdot x_n \cdot \left(x_n - \frac{x_n}{2}\right)^2 + n^- \cdot (A_{s2} \cdot (x_n - e_2)^2 + A_{s3} \cdot (x_n - e_3)^2) = 1311.05 \text{ cm}^4$$

A continuación, es posible calcular la tensión tangencial en la interfaz para cada punto en el que se ha discretizado el forjado:

$$\tau_{interfaz} \cdot b = \frac{V_{sd} \cdot S_{int}}{J_n}$$

La tabla siguiente muestra el esfuerzo cortante y el valor correspondiente de $\tau_{interfaz} \cdot b$ en los puntos de discretización del forjado:

Vano.	Coord. [m]	V _{sd} [kN].	S _{int} [cm ³].	J _n [cm ⁴].	τ _{sd} b [N/mm].
1	0.00	9.26	0.00	1311.05	0.00
1	0.15	8.65	0.00	1311.05	0.00
1	0.30	8.03	807.64	16395.68	39.55
1	0.45	7.41	807.64	16395.68	36.51
1	0.60	6.79	807.64	16395.68	33.47
1	0.75	6.18	807.64	16395.68	30.42
1	0.90	5.56	807.64	16395.68	27.38
1	1.05	4.94	807.64	16395.68	24.34
1	1.20	4.32	807.64	16395.68	21.30
1	1.35	3.71	807.64	16395.68	18.25
1	1.50	3.09	807.64	16395.68	15.21
1	1.65	2.47	807.64	16395.68	12.17
1	1.80	1.85	807.64	16395.68	9.13
1	1.95	1.24	807.64	16395.68	6.08
1	2.10	0.62	807.64	16395.68	3.04
1	2.25	0	807.64	16395.68	0.00
1	2.40	-0.62	807.64	16395.68	3.04
1	2.55	-1.24	807.64	16395.68	6.08
1	2.70	-1.85	807.64	16395.68	9.13
1	2.85	-2.47	807.64	16395.68	12.17
1	3.00	-3.09	807.64	16395.68	15.21
1	3.15	-3.71	807.64	16395.68	18.25
1	3.30	-4.32	807.64	16395.68	21.30
1	3.45	-4.94	807.64	16395.68	24.34
1	3.60	-5.56	807.64	16395.68	27.38
1	3.75	-6.18	807.64	16395.68	30.42
1	3.90	-6.79	807.64	16395.68	33.47
1	4.05	-7.41	807.64	16395.68	36.51
1	4.20	-8.03	807.64	16395.68	39.55
1	4.35	-8.65	0.00	1311.05	0.00
1	4.50	-9.26	0.00	1311.05	0.00



Cálculo de la adherencia de la interfaz

La contribución de la adherencia a la fluencia v_{Rdi} se evalúa de acuerdo con el §6.2.5 EN 1992-1-1:2015, utilizando los parámetros para superficies lisas, mediante la siguiente fórmula:

$$v_{Rdi} = \min(c \cdot f_{ctd} + \mu \cdot \sigma_n; 0.5 \cdot v \cdot f'_{cd})$$

donde:

$$c = 0.2$$

$$\mu = 0.6$$

$$f_{ctd,existente} = \frac{0.7 \cdot 0.3 f_{ck}^{2/3}}{FC \cdot \gamma_c} = 0.76 \text{ MPa}$$

$$\eta_1 = 0.4 + 0.6 \cdot \frac{\rho}{2200} = 0.809$$

$$f_{lctm} = 0.3 \cdot f_{lck}^{\frac{2}{3}} \cdot \eta_1 = 1.93 \text{ MPa}$$

$$f_{lctk} = 0.7 \cdot f_{lctm} = 1.35 \text{ MPa}$$

$$f_{lctd} = \frac{0.85 \cdot f_{lctk}}{\gamma_c} = 0.77 \text{ MPa}$$

$$f_{ctd} = \min(f_{ctd,existente}; f_{lctd}) = 0.76 \text{ MPa}$$

$$f'_{cd} = \min(f_{cd,existente,parametros fragiles}; f_{lcd}) = 8.40 \text{ MPa}$$

$$v = \min\left[0.6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck,existente}}{250}\right); 0.5 \cdot \left(1 - \frac{f_{lck}}{250}\right)\right] = 0.455$$

$$q_{slu}^* = \gamma_{G1} \cdot [P_{losa} + P_{solera}] + \gamma_{G2} \cdot P_{otros} + \gamma_Q \cdot Q_{var} = 0.005 \text{ MPa}$$

$$\sigma_n = \min(q_{slu}^*; 0.6 f'_{cd}) = 0.005 \text{ MPa}$$

Donde ρ es el valor límite superior de la masa por unidad de volumen del hormigón para la clase pertinente de masa por unidad de volumen en kg/m³, que es 1500 en este caso.

Por lo tanto, resulta:

$$v_{Rdi} = \min(c \cdot f_{ctd} + \mu \cdot \sigma_n; 0.5 \cdot v \cdot f'_{cd}) = \min(0.16 \text{ MPa}; 1.91 \text{ MPa}) = 0.16 \text{ MPa}$$

A continuación, el término v_{Rdi} se multiplica por el término L para obtener una cantidad comparable a $\tau_{interfaz} \cdot b$. El término L es igual a la base de la viga. $L = b_t = 120 \text{ mm}$



Por lo tanto, resulta:

$$v_{Rdi} \cdot L = 18.72 \frac{N}{mm}$$

Evaluación de la resistencia de proyecto de Conector Hormigón Plus D12

Los términos que contribuyen a la determinación de la resistencia de proyecto del conector a utilizar con fines de cálculo se calculan en aquellas porciones del forjado donde el hormigón existente está fisurado ($P_{Rd,ck}$) y donde el hormigón existente no está fisurado ($P_{Rd,ucl}$).

Fallo del acero de anclaje:

La resistencia característica a la rotura del acero de anclaje, común al caso agrietado y no agrietado, es:

$$V_{Rd,s} = \frac{V_{Rk,s}}{\gamma_{Ms}} = \frac{25.6 \text{ kN}}{1.25} = 20.48 \text{ kN}$$

Fallo por cono de hormigón:

Este modo de fallo depende en gran medida del estado de compresión/tensión del hormigón en el que se inserta el conector y, por este motivo, se calculan dos valores de $N_{Rk,c}^0$ y, por tanto, de $N_{Rk,c}$ (uno para el estado de hormigón fisurado y otro para el estado de hormigón no fisurado).

$$N_{Rk,c}^0 = k_1 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot h_{ef}^{1.5} = \begin{cases} 7.7 \cdot \sqrt{20} \cdot 52^{1.5} = 12912.51 \text{ N (ck)} \\ 11 \cdot \sqrt{20} \cdot 52^{1.5} = 18446.45 \text{ N (ucl)} \end{cases}$$

$$A_{c,N}^0 = s_{cr,N} \cdot s_{cr,N} = 156 \cdot 156 = 24336 \text{ mm}^2$$

$$A_{c,N} = \left(\frac{b_t}{2} + \min \left(\frac{b_t}{2}; 0.5 s_{cr,N} \right) \right) \cdot s_{cr,N} = \left(\frac{120}{2} + \min \left(\frac{120}{2}; 0.5 \cdot 156 \right) \right) \cdot 156 = 18720 \text{ mm}^2$$

$$\psi_{s,N} = 0.7 + 0.3 \cdot \frac{c}{c_{cr,N}} = 0.7 + 0.3 \cdot \frac{60}{78} = 0.931 \leq 1$$

$$\psi_{re,N} = 0.5 + \frac{h_{ef}}{200} = 0.5 + \frac{52}{200} = 0.76 \leq 1$$

$$N_{Rk,c} = N_{Rk,c}^0 \cdot \frac{A_{c,N}}{A_{c,N}^0} \cdot \psi_{s,N} \cdot \psi_{re,N} = \begin{cases} 12912.51 \cdot \frac{18720}{24336} \cdot 0.931 \cdot 0.76 = 7026.24 \text{ N (ck)} \\ 18446.45 \cdot \frac{18720}{24336} \cdot 0.931 \cdot 0.76 = 10037.49 \text{ N (ucl)} \end{cases}$$

$$V_{Rd,cp} = \frac{k_8 \cdot N_{Rk,c}}{\gamma_{Mc}} = \begin{cases} \frac{1 \cdot 7026.24}{1.5} = 4684.16 \text{ N (ck)} \\ \frac{1 \cdot 10037.49}{1.5} = 6691.66 \text{ N (ucl)} \end{cases}$$



Fallo del borde de hormigón:

Este modo de fallo depende en gran medida del estado de compresión/tensión del hormigón en el que se inserta el conector y, por este motivo, se calculan dos valores de $V_{Rk,c}^0$ y, por tanto, de $V_{Rk,c}$ (uno para el estado de hormigón agrietado y otro para el estado de hormigón no agrietado).

$$\alpha = 0.1 \cdot \left(\frac{l_f}{c_1}\right)^{0.5} = 0.1 \cdot \left(\frac{52}{60}\right)^{0.5} = 0.093$$

$$\beta = 0.1 \cdot \left(\frac{d_{nom}}{c_1}\right)^{0.2} = 0.1 \cdot \left(\frac{12.5}{60}\right)^{0.2} = 0.073$$

$$V_{Rk,c}^0 = k_9 \cdot d_{nom}^\alpha \cdot l_f^\beta \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot c_1^{1.5} = \begin{cases} 1.7 \cdot 12.5^{0.093} \cdot 52^{0.073} \cdot \sqrt{20} \cdot 60^{1.5} = 5966.22 \text{ N (ck)} \\ 2.4 \cdot 12.5^{0.093} \cdot 52^{0.073} \cdot \sqrt{20} \cdot 60^{1.5} = 8422.90 \text{ N (uck)} \end{cases}$$

$$A_{c,v}^0 = 1.5c_1 \cdot (1.5c_1 + 1.5c_1) = 4.5c_1^2 = 4.5 \cdot 45^2 = 9112.5 \text{ mm}^2$$

$$A_{c,v} = \min(h_t + h_c; 1.5c_1) \cdot \min(3c_1; b_t) = \min(190; 67.5) \cdot \min(135; 120) = 8100 \text{ mm}^2$$

$$\psi_{s,v} = 0.7 + 0.3 \cdot \frac{c_2}{1.5c_1} = 0.7 + 0.3 \cdot \frac{60}{1.5 \cdot 60} = 0.90 \leq 1$$

$$\psi_{h,v} = \left(\frac{1.5c_1}{h}\right)^{0.5} = \left(\frac{1.5 \cdot \frac{b_t}{2}}{h_t + h_c}\right)^{0.5} = \left(\frac{1.5 \cdot 60}{190}\right)^{0.5} = 0.69 < 1 \rightarrow \psi_{h,v} = 1$$

$$\psi_{\alpha,v} = \sqrt{\frac{1}{(\cos \alpha_v)^2 + (0.5 \sin \alpha_v)^2}} = \sqrt{\frac{1}{(\cos 90^\circ)^2 + (0.5 \sin 90^\circ)^2}} = 2 \geq 1$$

$$V_{Rk,c} = V_{Rk,c}^0 \cdot \frac{A_{c,v}}{A_{c,v}^0} \cdot \psi_{s,v} \cdot \psi_{h,v} \cdot \psi_{\alpha,v} = \begin{cases} 5966.22 \cdot \frac{8100}{9112.5} \cdot 0.90 \cdot 1 \cdot 2 = 9545.96 \text{ N (ck)} \\ 8422.90 \cdot \frac{8100}{9112.5} \cdot 0.90 \cdot 1 \cdot 2 = 13476.65 \text{ N (uck)} \end{cases}$$

$$V_{Rd,c} = \frac{V_{Rk,c}}{\gamma_{Mc}} = \begin{cases} \frac{9545.96}{1.5} = 6363.97 \text{ N (ck)} \\ \frac{13476.65}{1.5} = 8984.43 \text{ N (uck)} \end{cases}$$

A continuación, puede evaluarse la resistencia de proyecto del conector:

$$P_{Rd,ck} = \min(V_{Rd,s}; V_{Rd,cp}; V_{Rd,c}) = \min(20480 \text{ N}; 4684.16 \text{ N}; 6363.97 \text{ N}) = 4.68 \text{ kN}$$

$$P_{Rd,uck} = \min(V_{Rd,s}; V_{Rd,cp}; V_{Rd,c}) = \min(20480 \text{ N}; 6691.66 \text{ N}; 8984.43 \text{ N}) = 6.69 \text{ kN}$$



Cálculo de la distancia y de la distribución de los conectores

Para cada punto en el que se ha discretizado el forjado analizado, se calcula el distancia (denominado PC = distancia calculada) de los conectores en la coordenada considerada. El valor de cálculo del **Conector Hormigón Plus D12** es $P_{Rd,ck}$ en cada coordenada, es decir, tanto en las zonas de momento negativo como en las zonas de momento positivo ya que el eje neutro, en estas últimas zonas, respeta la siguiente condición:

$$A_{N,pre-int}^+ = 2.46 \text{ cm} < 0.9h_{ef} = 4.68 \text{ cm}$$

Como ejemplo, se muestra el cálculo del PC en el punto donde el deslizamiento es máximo:

$$PC (x = 0.30 \text{ m}) = \frac{P_{Rd}}{(\tau_{interfaz} \cdot b) - (v_{Rdi} \cdot L)} = 225 \text{ mm}$$

Para cada coordenada, si el distancia calculado PC es menor o igual que cero o mayor que el espaciado máximo, se impone el espaciado máximo de 500 mm, lo que da como resultado la distancia calculada correcta .PCC

La siguiente tabla muestra las distancias calculadas y las distancias calculadas corregidas para cada punto de discretización del forjado:

Vano.	Coord. [m]	PC [cm]	PCC [cm]
1	0.00	-25.01	50.00
1	0.15	-25.01	50.00
1	0.30	22.50	22.50
1	0.45	26.35	26.35
1	0.60	31.79	31.79
1	0.75	40.06	40.06
1	0.90	54.14	50.00
1	1.05	83.51	50.00
1	1.20	182.49	50.00
1	1.35	-985.04	50.00
1	1.50	-133.15	50.00
1	1.65	-71.40	50.00
1	1.80	-48.78	50.00
1	1.95	-37.04	50.00
1	2.10	-29.86	50.00
1	2.25	-25.01	50.00
1	2.40	-29.86	50.00
1	2.55	-37.04	50.00
1	2.70	-48.78	50.00
1	2.85	-71.40	50.00
1	3.00	-133.15	50.00
1	3.15	-985.04	50.00
1	3.30	182.49	50.00
1	3.45	83.51	50.00
1	3.60	54.14	50.00
1	3.75	40.06	40.06
1	3.90	31.79	31.79
1	4.05	26.35	26.35
1	4.20	22.50	22.50
1	4.35	-25.01	50.00
1	4.50	-25.01	50.00



A continuación, se determina la disposición de los conectores, tanto suponiendo una separación constante por vano como una separación variable.

Distancia constante por vano

La distancia de colocación teórica es el mínimo de las distancias calculadas correctamente:

$$distancia\ teorica = \min(PCC) = 22.50\ cm$$

Una vez conocido La distancia teórica, es posible calcular el número teórico de conectores para el vano considerado:

$$N.\ conn\ teorico = \frac{L_i}{distancia\ teorica} = \frac{450}{22.50} = 20.02$$

El $N.\ conn\ teorico$ se redondea al siguiente número entero par, con lo que se obtiene $N.\ conectores$ (igual a 22) y, por tanto, el distancia real con el que se colocarán los conectores:

$$distancia = \frac{L_i}{N.\ conectores} = \frac{450}{22} = 20.5\ cm$$

Por último, el número de conectores por metro cuadrado se determina dividiendo el número total de conectores por la luz total y la separación de las viguetas.

$$N.\ con.\ a\ m^2 = \frac{N.\ conectores}{L_i \cdot i_{tr}} = \frac{22}{4.5 \cdot 0.50} = 9.8$$

Esto resulta en:

Vano 1	
	L
Longitud [cm]	450.0
Conn. no. [-]	22
Distancia [cm]	20.5
Número de conexiones por m ²	9.8
No. con. tot [-]	22

Distancia variable

La separación variable se calcula considerando los cuartos extremos de la viga y el eje central. Se identifican los puntos en los que se ha discretizado el forjado pertenecientes a $L/4$ a la izquierda, a $L/4$ a la derecha y a $L/2$ en el centro, y para cada uno de los vanos el distancia de colocación teórico es el mínimo de los distancias corregidos calculados de los puntos pertenecientes a ese vano:



$$distancia\ teórica = \begin{cases} \min(PCC) \text{ in } \frac{L}{4} \text{ a la izquierda} = 22.50\text{ cm} \\ \min(PCC) \text{ in } \frac{L}{2} \text{ centrales} = 50\text{ cm} \\ \min(PCC) \text{ in } \frac{L}{4} \text{ a la derecha} = 22.50\text{ cm} \end{cases}$$

Una vez conocido el distancia teórico, es posible calcular el número teórico de conectores para la sección considerada:

$$N.\text{con teorico} = \frac{L_i}{distancia\ teórica} = \begin{cases} \frac{112.5}{22.50} = 5.004 \text{ in } \frac{L}{4} \text{ a la izquierda} \\ \frac{225}{50} = 4.5 \text{ in } \frac{L}{2} \text{ centrales} \\ \frac{112.5}{22.50} = 5.004 \text{ in } \frac{L}{4} \text{ a la derecha} \end{cases}$$

Con L_i igual a la longitud del vano considerado.

$N.\text{con teorico}$ resulta ser un número no entero, procedemos entonces a redondear el número teórico de conectores al siguiente número entero en $L/4$ y al siguiente número entero par en $L/2$, calculando así $N.\text{conectores}$ y, por tanto, el distancia real con el que se colocarán los conectores:

$$distancia = \frac{L_i}{N.\text{conectores}} = \begin{cases} \frac{100}{6} = 18.8\text{ cm in } \frac{L}{4} \text{ a la izquierda} \\ \frac{200}{6} = 37.5\text{ cm in } \frac{L}{2} \text{ centrales} \\ \frac{100}{6} = 18.8\text{ cm in } \frac{L}{4} \text{ a la derecha} \end{cases}$$

Por último, el número de conectores por metro cuadrado se determina dividiendo el número total de conectores por la luz total y la separación de las viguetas.

$$N.\text{con. a m}^2 = \frac{N.\text{conectores totales}}{L_{tot} \cdot i_{tr}} = \frac{6 + 6 + 6}{4.5 \cdot 0.50} = 8.0$$

Esto resulta en:

	Vano 1		
	L/4	L/2	L/4
Longitud [cm]	112.5	225.0	112.5
Con. no. [-]	6	6	6
Distancia [cm]	18.8	37.5	18.8
Número de conexiones por m²	8.0		
No. con. tot [-]	18		



Saludos cordiales.

Asistencia técnica

Laterlite

