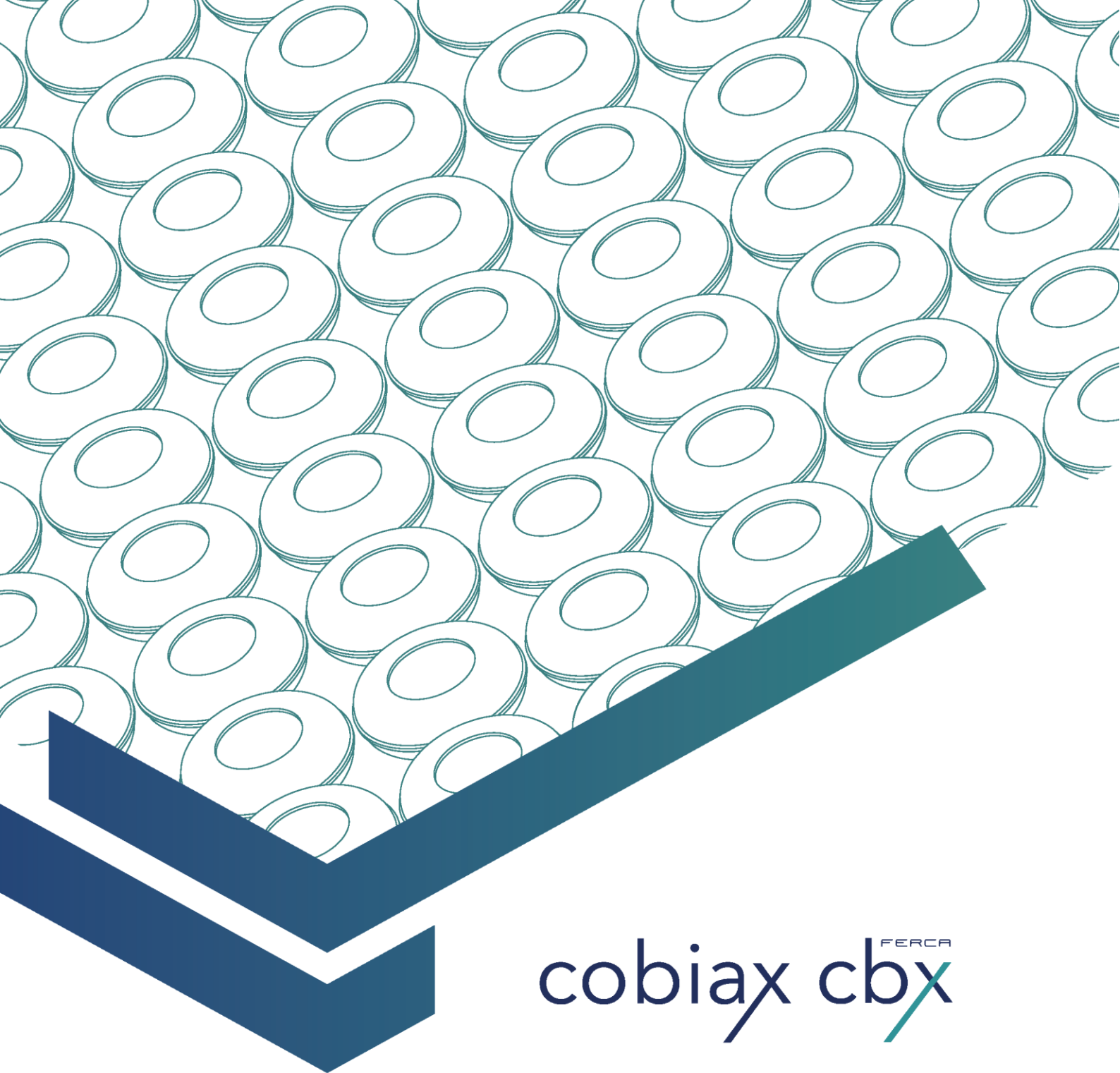




cobiax cbx^{FERCA}

MANUAL
TÉCNICO





cobiax cbx^{FERCA}





Manual Técnico – Sistema COBIAX CBX

Índice

INTRODUCCIÓN AL SISTEMA COBIAX CBX.....	4
POR QUÉ UTILIZAR EL SISTEMA COBIAX CBX.....	5
FORJADO COBIAX CBX VERSUS FORJADO MACIÇA.....	5
FORJADO COBIAX CBX VERSUS FORJADO ALIGERADO.....	5
IMPACTO AMBIENTAL.....	5
ESPECIFICIDADES DEL SISTEMA COBIAX CBX.....	6
CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA COBIAX CBX.....	7
PARÁMETROS PRINCIPALES DE LOS FORJADOS COBIAX CBX.....	8
CONFIGURACIÓN DE LA SECCIÓN DEL FORJADO.....	9
CONSIDERACIONES TÉCNICAS DEL SISTEMA COBIAX CBX.....	10
RESISTENCIA A FLEXIÓN.....	10
RIGIDEZ.....	10
CORTANTE.....	11
PUNZONAMIENTO.....	14
JUNTA FRÍA.....	16
ARMADURAS MÍNIMAS.....	16
ESFUERZOS HORIZONTALES.....	17
PROTECCIÓN CONTRA INCENDIO.....	19
AISLAMIENTO ACÚSTICO.....	24
AISLAMIENTO TÉRMICO.....	24
CONTROLO TÉRMICO.....	25
PRETENSADO.....	26
ELEMENTOS PREFABRICADOS.....	26
SOSTENIBILIDAD.....	27
CASO DE ESTUDIO.....	27
PROCESO DE CÁLCULO DE UN FORJADO COBIAX CBX.....	29
PASO 1- HIPÓTESIS, DATOS INICIALES Y PARÁMETROS COBIAX CBX.....	29
PASO 2 - PATRÓN DE CARGA PERMANENTE ADICIONAL.....	30
PASO 3 - MODIFICACIÓN DE LA INERCIA DEL FORJADO.....	30
PASO 4 - CRITERIO DE RESISTENCIA A CORTANTE E IDENTIFICACIÓN DEL ÁREA MACIZA.....	31
PASO 5 - REFINAMIENTO DEL CASO DE REDUCCIÓN DE CARGA.....	32
PASO 6 - VERIFICACIÓN Y DETALLADO DE LA SECCIÓN DEL FORJADO.....	33
DETALLADO.....	34



PLANOS DE IMPLANTACIÓN/GEOMETRÍA.....	34
INSTALACIÓN DE SERVICIOS TÉCNICOS.....	36
MONTAJE DE UN FORJADO COBIAX CBX.....	36



INTRODUCCIÓN AL SISTEMA COBIAX CBX

El sistema **COBIAX CBX** se basa en principios de racionalización económica y ambiental que permiten la ejecución de forjados aligerados bidireccionales de comportamiento similar a un forjado macizo tradicional. La introducción de un hueco de forma elipsoidal en la zona donde el hormigón no es esencial en términos del comportamiento global del forjado permite una optimización del canto del forjado, la mejora de su comportamiento y una mayor eficiencia en la utilización de los recursos.

En un contexto donde la sostenibilidad de los recursos naturales adquiere una importancia creciente, la utilización de materiales reciclados para la constitución de los huecos y la reducción de las necesidades de hormigón permiten que el sistema **COBIAX CBX** promueva por sí solo una estructura con menor impacto ambiental y una significativa reducción de la emisión de CO₂ inherente al proceso constructivo.

La tecnología **COBIAX CBX** es de origen suizo y se encuentra ya ampliamente difundida en los mercados de Europa central, donde encuentra aplicación desde 2004. Resultado de un trabajo de investigación posteriormente sometido a un riguroso programa de pruebas y ensayos, obtuvo la “National Technical Approval” por parte del Instituto Alemán para la Construcción (DIBt) y se encuentra patentada internacionalmente.

Premio otorgado por el Swiss Federal Office for the Environment a **COBIAX CBX Technologies AG** en el área de la innovación técnica en el ámbito ambiental



La tecnología de forjado **COBIAX CBX** posee el número de registro de “National Technical Approval” Z-15.1-307, emitido por el Instituto Alemán de Tecnología de la Construcción (DIBt)

Deutsches
Institut
für
Bautechnik



La tecnología de forjado **COBIAX CBX** cuenta con una declaración ambiental de producto





POR QUÉ UTILIZAR EL SISTEMA COBIAX CBX

El sistema **COBIAX CBX** se presenta como una solución que reúne las ventajas de un forjado aligerado y de un forjado macizo, al permitir la reducción de consumos y las economías derivadas del aligeramiento, manteniendo aun así prácticamente inalteradas las características y el comportamiento del forjado frente a un forjado macizo.

FORJADO **COBIAX CBX** *VERSUS* FORJADO MACIÇA

En comparación con un forjado macizo, y como resultado de la aplicación del sistema, un forjado **COBIAX CBX** presenta una reducción de peso propio en la zona aligerada de hasta un 32% y una reducción en la inercia del forjado de apenas un 7 a 12%, lo que se traduce naturalmente en una mejora de su comportamiento en términos de deformabilidad, en la reducción de los niveles de armadura necesaria y en una significativa reducción de los efectos de retracción, además de la consiguiente reducción de masa con impacto a nivel del comportamiento sísmico, los elementos verticales y las cimentaciones.

Al mismo tiempo, el forjado **COBIAX CBX** permite mantener las ventajas de un proceso más rápido, análogo a la ejecución de un forjado macizo, conservando igualmente las características relativas a la resistencia al fuego y al comportamiento térmico y acústico.

FORJADO **COBIAX CBX** *VERSUS* FORJADO ALIGERADO

Los forjados aligerados convencionales recurren genéricamente a un sistema de nervios bidireccionales que confieren una reducción significativa del peso propio del forjado frente al forjado macizo necesario para la misma envolvente; sin embargo, la reducción de inercia de estos forjados, fruto del funcionamiento mediante una sección en “T”, es del orden de 2/3, originando forjados de mayor canto y procesos constructivos más complejos, lentos y costosos.

En comparación directa, el forjado **COBIAX CBX** permite la reducción de espesores, la mejora del comportamiento, el aspecto final de un forjado macizo y la ejecución según procesos más simples y rápidos.

IMPACTO AMBIENTAL

Al estar los moldes de los huecos constituidos en un 100% por material reciclado y promover al mismo tiempo la reducción del consumo de hormigón, el sistema **COBIAX CBX** contribuye así activamente a un mejor aprovechamiento de los recursos naturales y a una reducción de las emisiones de CO₂ inherentes al proceso constructivo.

En resumen, el sistema **COBIAX CBX** se presenta como una alternativa a los sistemas convencionales, con ventajas que deben ponderarse debidamente en función de las condiciones específicas de cada forjado, poniendo de relieve el impacto en la solución global del edificio desde el punto de vista técnico y económico.



ESPECIFICIDADES DEL SISTEMA COBIAX CBX

Los forjados **COBIAX CBX** presentan, en lo esencial, tres características que los distinguen de los forjados macizos y que deben tenerse en cuenta en el proceso de cálculo y detallado.

Peso propio reducido debido a la presencia de los huecos, lo que se traduce en esfuerzos menores en el forjado y en los elementos verticales. En la zona aligerada, la reducción puede alcanzar el 32%.

Inercia del forjado reducida en torno a un 7 a 12%, debido a la presencia de los huecos, hecho que se ve ampliamente compensado por la reducción de peso en términos del comportamiento del forjado.

Resistencia a cortante reducida en la zona aligerada debido a la presencia de los huecos. Esta reducción se traduce en valores del 50 al 45% del esfuerzo cortante del forjado macizo correspondiente, dependiendo del canto del **COBIAX CBX**.

Considerando estos tres aspectos en la concepción estructural de la solución, el forjado **COBIAX CBX** deberá respetar los demás criterios y el detallado de un forjado macizo, con inclusión de zonas no aligeradas donde el esfuerzo cortante no exceda los niveles admitidos anteriormente.

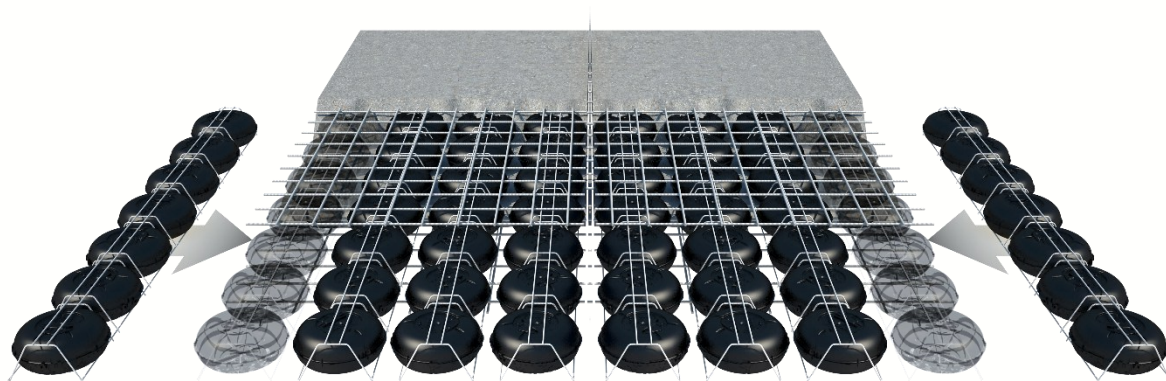


Figura 1- Forjado COBIAX CBX



CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA COBIAX CBX

La gama de soluciones **COBIAX CBX** se compone genéricamente de una línea denominada Slim-Line, en la que los huecos están compuestos por formas elipsoidales con diferentes alturas, destinadas a diferentes cantos de forjados.

Los módulos de compartimento Slim-Line de **COBIAX CBX**, denominados S-xxx, en los que xxx identifica la altura del hueco en mm.

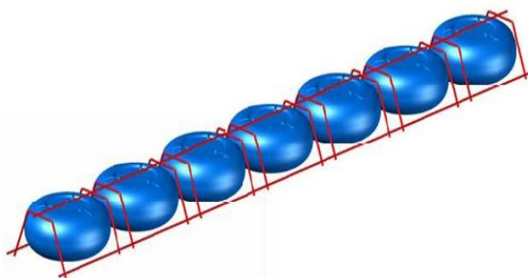


Figura 2- Celosía COBIAX CBX

Compuesto por huecos de altura variable entre 100 mm y 260 mm para forjados con cantos de 200 mm a 400 mm

$H = 0.20m$ a $0.40m$

En cualquiera de los casos, el sistema se compone de los moldes del hueco y de las celosías que los contienen y que sirven al mismo tiempo de soporte a las armaduras superiores del forjado; estas celosías tendrán cerca de 2,50 m, incorporando un número variable de huecos.





PARÁMETROS PRINCIPALES DE LOS FORJADOS COBIAX CBX

La tabla siguiente incorpora todos los datos necesarios para la correcta incorporación de los forjados COBIAX CBX a efectos de cálculo, detallado y contabilización.

cobiax cbx FERCA	200	225	250	275	300	325	350	375	400
	S-100	S-120	S-140	S-160	S-180	S-200	S-220	S-240	S-260
Reducción de Carga [kN/m ²]	-1.40	-1.64	-1.88	-2.10	-2.32	-2.56	-2.80	-3.10	-3.37
Factor de Corrección de Inercia [-]	0.93	0.92	0.92	0.91	0.91	0.91	0.91	0.89	0.88
Factor de Reducción a Cortante [-]	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.45	0.45	0.45	0.45
Altura del Soporte (A) [mm]	110	130	150	170	190	210	230	250	270
Altura del Hueco (B) [mm]	100	120	140	160	180	200	220	240	260
Nº de Huecos [un/m ²]	8.16	8.16	8.16	8.16	8.16	8.16	8.16	8.16	8.16
Volumen del Hueco [m ³ /m ²]	0.056	0.066	0.075	0.084	0.093	0.102	0.112	0.124	0.135
Reducción de CO ₂ [ton/m ²]	0.012	0.014	0.016	0.018	0.020	0.022	0.023	0.026	0.028
Dist. entre Huecos (C) [mm]	350	350	350	350	350	350	350	350	350

Tabla 1 – Parámetros principales para el cálculo y cuantificación del sistema COBIAX CBX

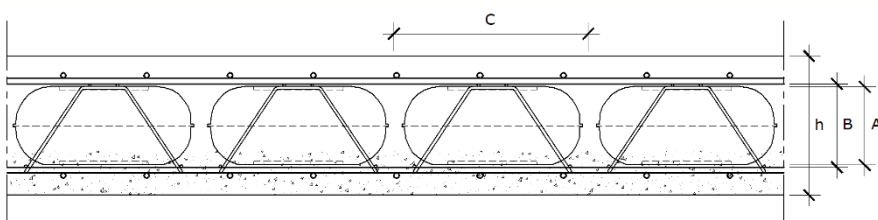


Figura 3 - Sección tipo de un forjado COBIAX CBX



CONFIGURACIÓN DE LA SECCIÓN DEL FORJADO

El sistema **COBIAX CBX** incluye la celosía de soporte donde se encuentran los moldes de los huecos, que deberá colocarse directamente sobre la armadura inferior sirviendo al mismo tiempo de apoyo a la armadura superior. El orden de montaje de las armaduras y de los soportes **COBIAX CBX** deberá, por tanto, tener en cuenta que la primera capa de armadura será siempre paralela a estos.

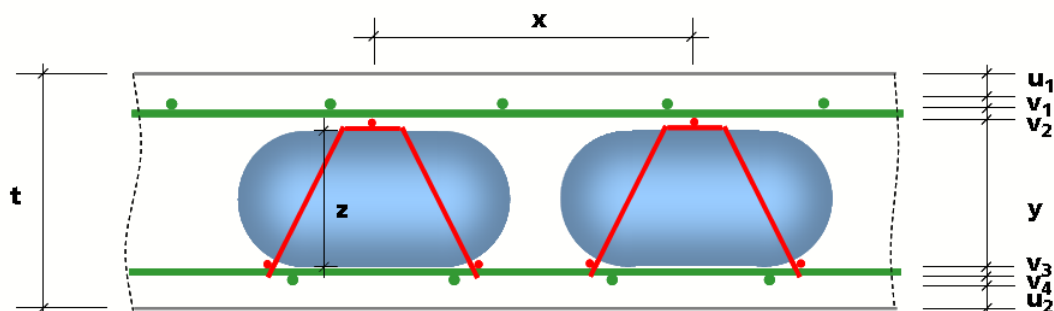


Figura 4 - Sección tipo Slim-Line

z : altura del hueco **COBIAX CBX**;

y : altura del soporte;

x : separación entre huecos;

v_1 , v_2 , v_3 y v_4 : diámetro de las armaduras;

u_1 y u_2 : recubrimiento superior e inferior,

Una verificación importante para realizar durante el proceso de detallado del forjado **COBIAX CBX** se refiere a la composición y al canto final del mismo, considerando los recubrimientos definidos, el diámetro de las barras seleccionadas y la dimensión del hueco **COBIAX CBX** en función del canto definido en el cálculo (h).

$$t = u_1 + u_2 + v_1 + v_2 + v_3 + v_4 + y + \text{tolerancia de construcción de 5-10 mm} < h$$

CONSIDERACIONES TÉCNICAS DEL SISTEMA COBIAX CBX

En el presente capítulo se describen las características técnicas asociadas al sistema **COBIAX CBX** y sus condicionantes en proyecto.

RESISTENCIA A FLEXIÓN

El comportamiento a flexión de los forjados **COBIAX CBX** fue objeto de investigación y pruebas de laboratorio para los distintos cantos y configuraciones de forjados posibles, habiéndose comprobado que su rendimiento es, en situaciones corrientes, idéntico al de un forjado macizo.

En la práctica, el nivel de esfuerzos de un forjado está limitado por criterios de deformabilidad y por el nivel de tensiones de los distintos códigos y reglamentos, que originan posiciones de la línea neutra por encima del hueco **COBIAX CBX**, en algún punto de la lámina de compresión creada entre este y el límite del forjado.

De esta forma, un forjado **COBIAX CBX** puede concebirse y dimensionarse igual que un forjado macizo de igual canto tras la obtención de los respectivos esfuerzos según el proceso ya identificado anteriormente, por lo que el momento resistente de un forjado **COBIAX CBX** es idéntico al de un forjado macizo de igual canto.

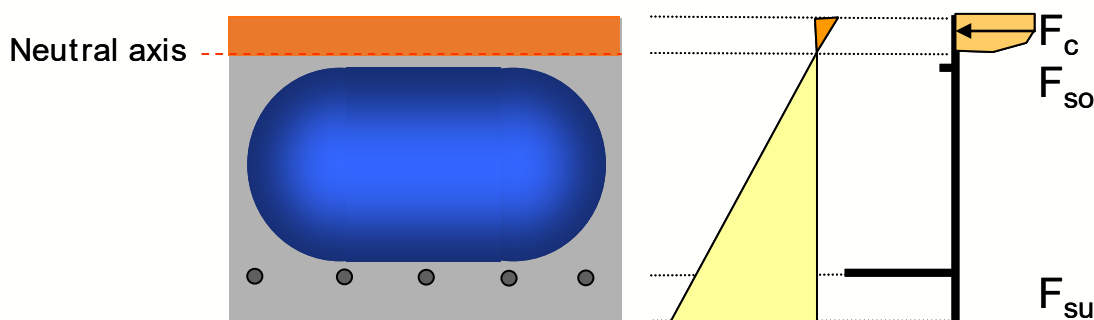


Figura 5 – Posición de la línea neutra por encima del hueco en la lámina de compresión.

En casos específicos con cargas elevadas se debe determinar la posición de la línea neutra; sin embargo, la práctica demuestra que los criterios de deformabilidad y las limitaciones a la cantidad de armadura impiden que se produzca un posicionamiento de la línea neutra fuera de la lámina de compresión.

RIGIDEZ

Una de las características de este sistema es la reducción de la inercia de la sección en comparación con un forjado macizo de igual canto, que resulta de la disminución de la sección provocada por la introducción del hueco.

La introducción del sistema **COBIAX CBX** en los forjados reduce, según se ha indicado anteriormente, la inercia del forjado en niveles que varían entre el 7 y el 12% en comparación con los forjados macizos de igual canto, lo que se expresa mediante el respectivo factor de corrección indicado en la Tabla 2 para determinadas configuraciones.

Los factores de corrección de la rigidez representan las ratios del cálculo tridimensional del momento de inercia (I_{CB}) para los forjados **COBIAX CBX** (teniendo en cuenta los huecos y asumiendo su posicionamiento) y el momento de inercia de un forjado macizo (I), basando el cálculo de los valores en secciones no fisuradas. La tabla siguiente proporciona los factores de corrección de inercia de (I_{CB} / I) para diferentes configuraciones de huecos **COBIAX CBX** y cantos de forjados, además de los indicados anteriormente en la Tabla 2.



COBIAX CBX		S-100	
Canto del forjado [cm]	20	21	22
I_{CB} / I	0.93	0.94	0.95
COBIAX CBX		S-120	
Canto del forjado [cm]	23	24	25
I_{CB} / I	0.93	0.94	0.94
COBIAX CBX		S-140	
Canto del forjado [cm]	25	26	27
I_{CB} / I	0.92	0.93	0.94
COBIAX CBX		S-160	
Canto del forjado [cm]	28	29	30
I_{CB} / I	0.92	0.92	0.93
COBIAX CBX		S-180	
Canto del forjado [cm]	30	31	32
I_{CB} / I	0.91	0.92	0.93
COBIAX CBX		S-200	
Canto del forjado [cm]	32	33	34
I_{CB} / I	0.91	0.91	0.92
COBIAX CBX		S-220	
Canto del forjado [cm]	35	36	37
I_{CB} / I	0.91	0.92	0.92
COBIAX CBX		S-240	
Canto del forjado [cm]	38	39	40
I_{CB} / I	0.89	0.90	0.90
COBIAX CBX		S-260	
Canto del forjado [cm]	40	41	42
I_{CB} / I	0.88	0.89	0.90

Tabla 2- Factores de corrección de rigidez del sistema COBIAX CBX.

CORTANTE

ENFOQUE TEÓRICO SOBRE LA FUERZA CORTANTE

El cálculo de la fuerza cortante para los forjados aligerados tradicionales debe basarse en el ancho más pequeño disponible de la sección; ahora bien, utilizando este criterio en los forjados COBIAX CBX resultaría una fuerza cortante de cerca del 10% de la fuerza cortante de un forjado macizo de igual canto. Sin embargo, para el forjado COBIAX CBX, el ancho más pequeño de una sección solo está presente en un único punto, es decir, directamente entre dos huecos, ya que incluso a pequeñas distancias de este punto en las tres direcciones el ancho de sección disponible aumenta rápidamente.

Las pruebas realizadas en laboratorio demostraron una resistencia al cortante muy superior para los forjados COBIAX CBX en relación con el valor mencionado anteriormente, y es sobre la base de esos resultados que se presenta el enfoque desarrollado para la determinación de la capacidad máxima a cortante de los forjados que incorporan el sistema COBIAX CBX.

Este enfoque fue aprobado en el número de registro Z-15.1-307 de “Aprobación Técnica Nacional”, emitido por el Instituto Alemán de Tecnología de la Construcción (DIBt).

Por regla general, el concepto de fuerza cortante en elementos de hormigón no armados a este efecto se basa en la suma de varios mecanismos de soporte y contribución:

La resistencia a cortante de la zona de compresión sin fisuras $V_{c,comp}$

El rozamiento interno de los áridos a lo largo de la superficie de cortante $V_{c,cr}$

La resistencia a cortante conferida por las armaduras de flexión $V_{c,D}$

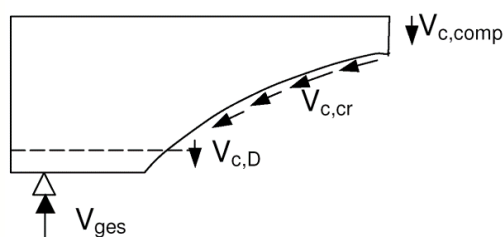


Figura 6 - Esfuerzo Cortante en Forjado Macizo

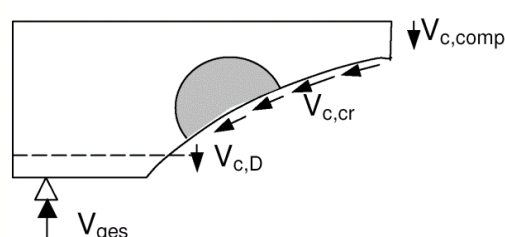


Figura 7 - Esfuerzo Cortante en Forjado COBIAX

En el caso del forjado **COBIAX CBX**, la contribución del rozamiento interno de los áridos se ve reducida debido a la presencia de los huecos (ver Figura 3); por consiguiente, la resistencia a cortante de un forjado **COBIAX CBX** es efectivamente menor y debe considerarse en consecuencia, mientras que la resistencia a cortante de las zonas de compresión y la contribución de las armaduras de flexión permanecen, sin embargo, inalteradas.

La proporción de la contribución de estos tres factores a la resistencia global al cortante es desconocida, y los datos de la literatura existente no son concluyentes, por lo que se opta por considerar nula la contribución del rozamiento interno, $V_{c,cr} = 0$, y, en consecuencia, se considerará el área de hormigón de contribución efectiva en la sección relevante (ver figuras en la página siguiente) en lugar del ancho más pequeño disponible de la sección.

La sección relevante no está posicionada verticalmente, sino con una inclinación en el intervalo de 30° a 45°, que es el intervalo habitual de las superficies de cortante.

Un análisis geométrico permite, por tanto, concluir que el valor de cálculo de la fuerza máxima admisible de cortante para un forjado **COBIAX CBX** se sitúa con seguridad por encima del 50% para los **COBIAX CBX**.

Con estos factores de reducción, la fuerza máxima de cortante permitida V_c para el forjado **COBIAX CBX** puede calcularse de acuerdo con las siguientes fórmulas.

Slim-Line S-100 ao S-180: $V_{c,COBIAX CBX} = 0,50 \times V_c$

Slim-Line S-200 ao S-260: $V_{c,COBIAX CBX} = 0,45 \times V_c$

Por consiguiente, las áreas en un forjado **COBIAX CBX** para las cuales se supera $V_{c,COBIAX CBX}$ debido a la elevada concentración de esfuerzos cortantes deben ejecutarse sin incorporación de huecos, convirtiéndose en áreas macizas con la sección íntegra de hormigón.

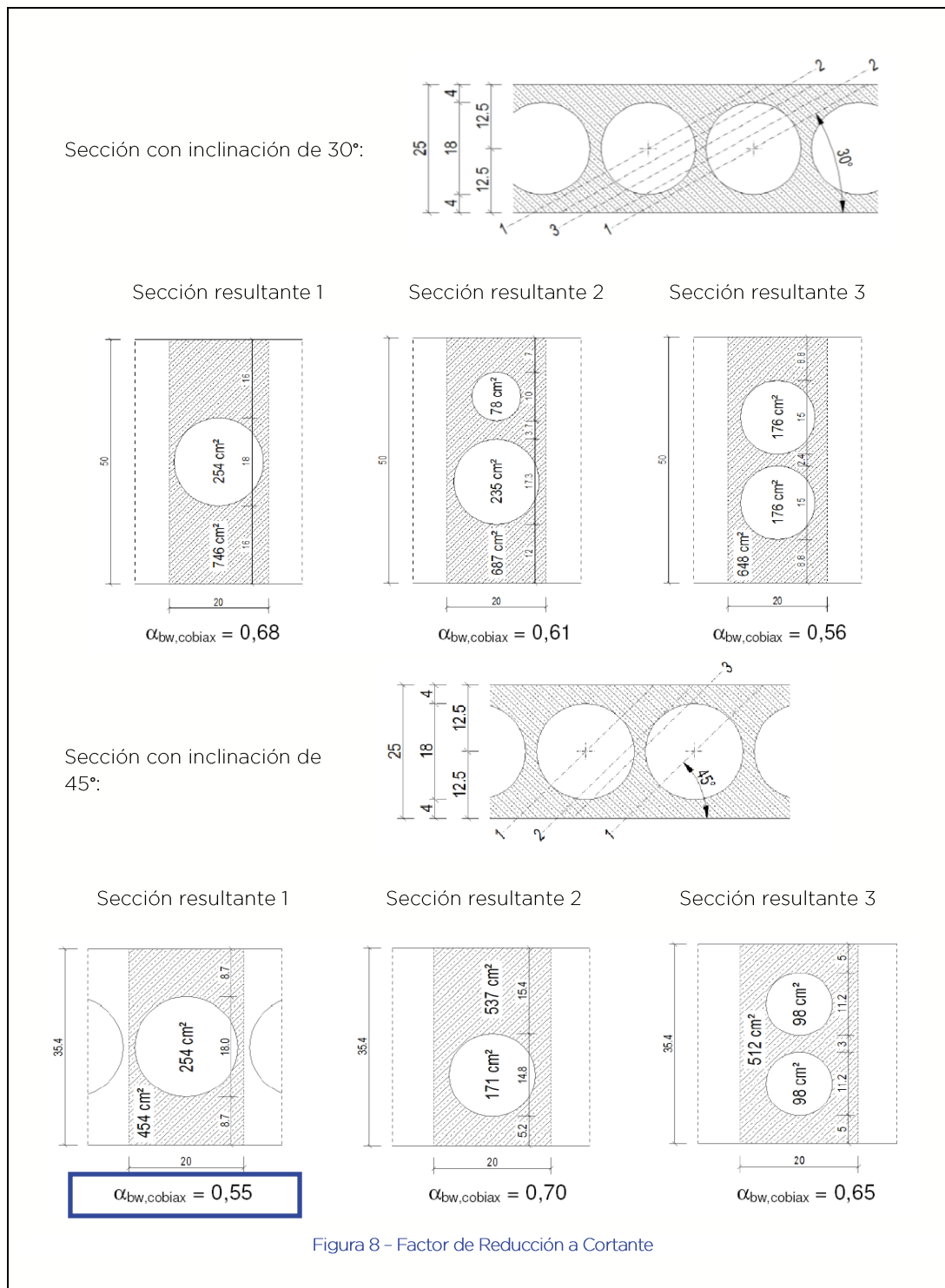
Los valores mencionados anteriormente fueron confirmados empíricamente mediante una serie de pruebas de laboratorio para una amplia combinación de configuraciones y solicitaciones.

En las consideraciones anteriores y en los ensayos realizados no se tuvieron en cuenta las barras de la celosía de posicionamiento, que actúan naturalmente como un refuerzo a cortante en todo el forjado; sin embargo, posteriormente se pudo constatar en nuevos ensayos que, en el caso del **COBIAX CBX**, esta contribución permite un incremento de la resistencia a cortante de hasta el 66%. No obstante, estos datos no se consideran en las hipótesis



del cálculo de un forjado COBIAx CBX según se describe en los capítulos anteriores, funcionando, así como una garantía adicional de la seguridad de los forjados COBIAx CBX.

ANÁLISIS GEOMÉTRICO DEL FACTOR DE REDUCCIÓN A CORTANTE





PUNZONAMIENTO

Debido a las limitaciones en términos de esfuerzos transversales, las áreas con elevada concentración de fuerzas cortantes, como por ejemplo alrededor de los pilares en forjados fungiformes, deben ejecutarse sin incorporación de huecos COBIAX CBX, debiendo el perímetro crítico de punzonamiento encontrarse en la zona maciza del forjado.

Las consideraciones sobre cortante y punzonamiento en estas zonas son idénticas a las tenidas en cuenta para los forjados macizos corrientes, recomendándose verificar categóricamente que el perímetro de determinación del punzonamiento esté situado dentro de la zona maciza, tal como se presenta en el dibujo siguiente.

Cabe señalar, además, que la reducción de peso propio inherente a la aplicación del sistema COBIAX CBX reduce efectivamente las condicionantes relacionadas con los esfuerzos de punzonamiento, permitiendo la reducción de las armaduras específicas a este efecto.

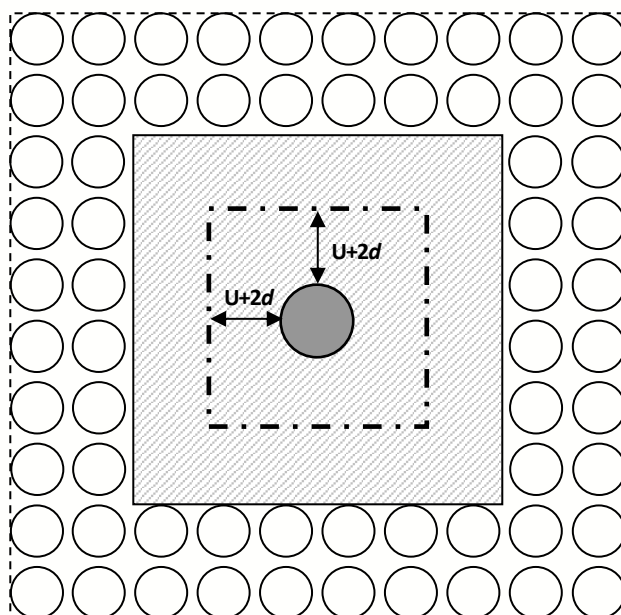


Figura 9 – Perímetro de Control

Para cargas concentradas, puede exigirse la verificación puntual de punzonamiento, que puede incluso producirse sobre la cúpula del hueco. Los ensayos realizados para el análisis de este tipo de sollicitación demuestran que, para cargas concentradas con una superficie de aplicación de 5 x 5 cm, 7,5 x 7,5 cm, 10 x 10 cm y diferentes recubrimientos de hormigón sobre el hueco, se obtiene una carga de rotura máxima respectiva, presentada en la Tabla 3, según la clase de hormigón utilizada.

Cabe destacar que estas pruebas consideraron como valor límite 75 kN. Para cargas concentradas superiores se recomienda dejar el forjado localmente macizo.



Carga de rotura [kN]				
Área de implantación, a_{load}		5 x 5 cm	7,5 x 7,5 cm	10 x 10 cm
Recubrimiento [cm]		5	8	10
Módulo COBIAX CBX	Clase de hormigón			
S-100	C25/30	23.6	55.9	75.0
	C30/37	26.6	63.1	75.0
	C35/45	29.5	69.9	75.0
S-120	C25/30	24.5	58.8	75.0
	C30/37	27.7	66.4	75.0
	C35/45	30.7	73.6	75.0
S-140	C25/30	25.8	52.5	75.0
	C30/37	29.1	70.2	75.0
	C35/45	32.3	75.0	75.0
S-160	C25/30	27.4	66.0	75.0
	C30/37	30.9	74.5	75.0
	C35/45	34.3	75.0	75.0
S-180	C25/30	29.3	70.2	75.0
	C30/37	33.1	75.0	75.0
	C35/45	36.7	75.0	75.0
S-200	C25/30	31.6	75.0	75.0
	C30/37	35.7	75.0	75.0
	C35/45	39.6	75.0	75.0
S-220	C25/30	34.3	75.0	75.0
	C30/37	38.8	75.0	75.0
	C35/45	42.9	75.0	75.0

Tabla 3- Carga de rotura para cargas concentradas.

JUNTA FRÍA

Con el hormigonado en dos fases de un forjado **COBIAX CBX** se crea una junta horizontal y, si el intervalo de tiempo entre las dos fases de hormigonado es suficiente para que la primera capa haya curado íntegramente, el hormigonado de la segunda capa debe considerarse como una junta fría de hormigonado; sin embargo, las armaduras de las celosías **COBIAX CBX** que se encuentran en el forjado funcionan como anclaje y confieren suficiente armadura a cortante para la verificación de la junta.

La primera fase de hormigonado debe garantizar una zona de integración de, como mínimo, 20 mm.

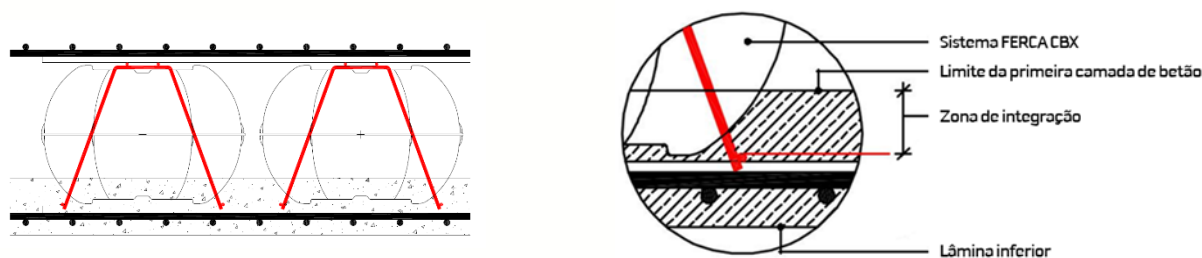


Figura 10 – Junta Fría

ARMADURAS MÍNIMAS

La limitación de la fisuración se realiza de acuerdo con las normas y reglamentos actuales. Para simplificar el procedimiento, puede utilizarse la sección transversal completa para las verificaciones necesarias. Únicamente para la determinación de la armadura mínima en el control de la fisuración debe tenerse en cuenta la sección transversal estructural con el hueco, para una consideración más rigurosa y exacta, pudiendo recurrirse en este caso a un canto equivalente del forjado para el cálculo.

El canto equivalente viene dado por la siguiente expresión:

$$h_{d,eq}=h_d-h_{CBX}$$

Siendo h_d el canto del forjado y h_{CBX} el volumen correspondiente al tipo de hueco **COBIAX CBX** considerado.

El incremento de capacidad debido a la existencia de zonas macizas en un porcentaje del forjado debe tenerse en cuenta en la determinación de la armadura mínima.

Áreas de la sección de hormigón									
Canto del forjado (m)	0,200	0,225	0,250	0,275	0,300	0,325	0,350	0,375	0,400
COBIAX CBX	100	120	140	160	180	200	220	240	260
A_{vazio} (m²)	0,0302	0,0357	0,0412	0,0463	0,0514	0,0568	0,0622	0,0675	0,0728
Hormigón (m³/ml)	0,1137	0,1230	0,1323	0,1427	0,1531	0,1627	0,1723	0,1821	0,1920

Tabla 4– Áreas de la sección de hormigón.



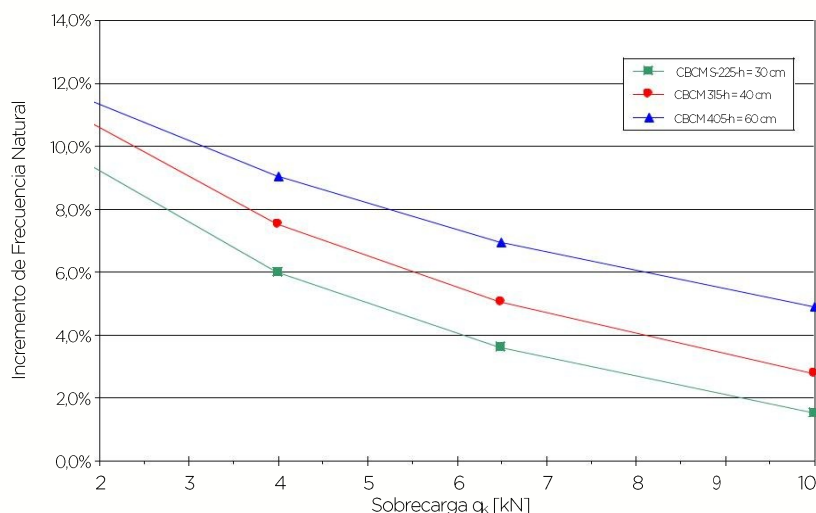
ESFUERZOS HORIZONTALES

Las propiedades dinámicas de una construcción y de su comportamiento frente a un sismo u otro tipo de cargas horizontales deben evaluarse individualmente, proyecto a proyecto, con los métodos de verificación recomendados por los respectivos códigos; sin embargo, es conocida la importancia que la masa del edificio, y en particular la de los forjados, tiene, amplificando especialmente los efectos de este tipo de acciones, por lo que la reducción de carga permanente proporcionada por la presencia de los huecos en el interior del forjado tiene un efecto beneficioso sobre el comportamiento de las estructuras.

Para ciertos requisitos de uso de una estructura, el comportamiento modal de la estructura resulta relevante e importante.

En una extensa investigación teórica, la frecuencia natural de un forjado aligerado **COBIAx CBx** presenta un comportamiento modal superior en comparación con un forjado macizo del mismo canto, pudiendo presentar una frecuencia natural de hasta un 12% superior a la de un forjado macizo convencional.

Lo que demuestra que un forjado **COBIAx CBx** tiene un rendimiento superior frente a los modos de vibración, ya que presenta frecuencias naturales más elevadas para las cargas comunes.



[Fuente: Wolski, L; Natural frequency of Cobiax flat slabs, Hochschule Bochum, 2006]

En este gráfico se muestra el incremento de frecuencia natural en comparación con un forjado macizo de igual canto, según la sobrecarga actuante en el forjado. A medida que la sobrecarga aumenta, el rendimiento del forjado aligerado se va aproximando al comportamiento de un forjado macizo.



En cuanto a la conducción de esfuerzos normales en el plano del forjado, el forjado COBIAX CBX, a pesar de la presencia de los huecos, sigue funcionando como una placa rígida con capacidad de transferir a los apoyos las cargas horizontales debidas al viento, a la inclinación de la construcción, a los terremotos y a las variaciones de temperatura.

En su dimensionado, las láminas de hormigón superior e inferior del forjado COBIAX CBX pueden considerarse como secciones rectangulares equivalentes, a fin de simplificar, y dimensionarse para las fuerzas axiales. Para fuerzas elevadas, como en el caso de forjados postesados que excedan la capacidad de la sección equivalente, se recomienda la consideración de bandas macizas en estos alineamientos.

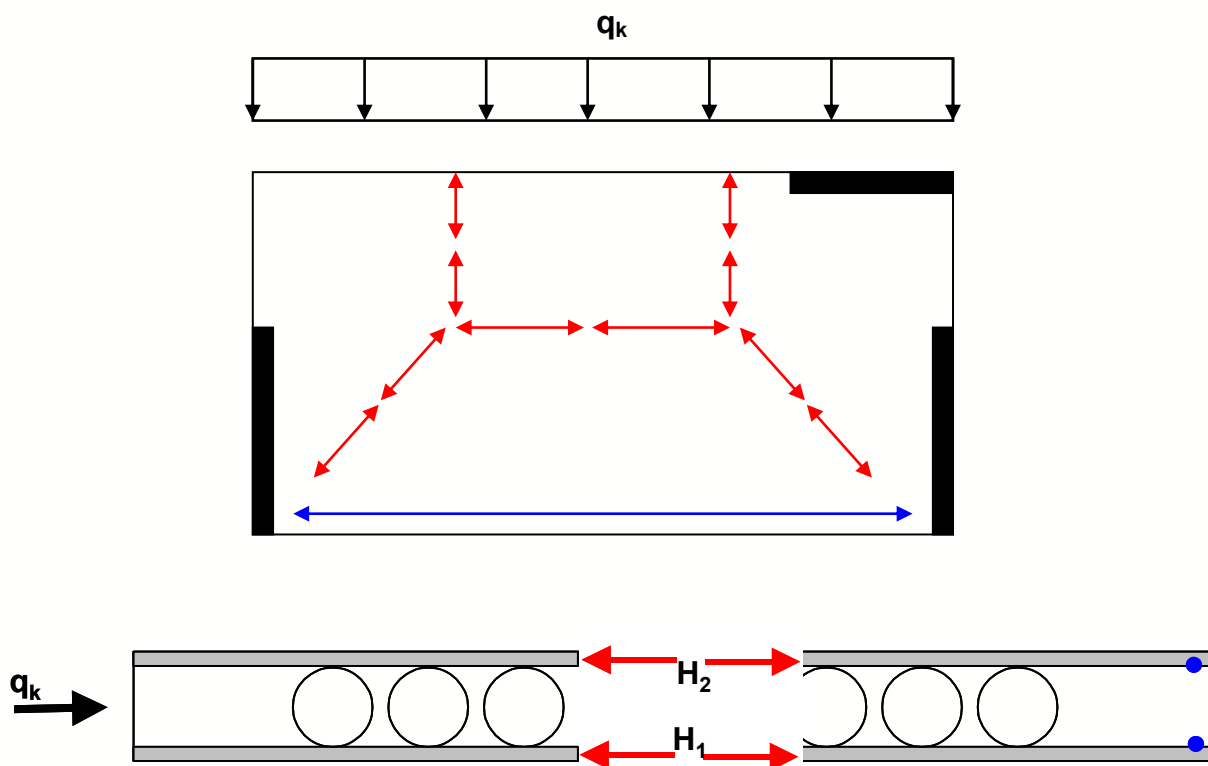


Figura 11 – Efecto Diafragma



PROTECCIÓN CONTRA INCENDIO

Independientemente del código o reglamento utilizado, el parámetro relevante para los criterios de dimensionado que orientan la clasificación de resistencia al fuego de forjados de hormigón es el recubrimiento de hormigón entre la superficie expuesta del forjado y la primera capa de armadura.

Los ensayos de resistencia al fuego en laboratorios especializados con muestras de forjado demostraron que el parámetro y el criterio utilizados para los forjados macizos deben emplearse sin ningún tipo de limitación para los forjados COBIAX CBX, y que estos pueden resistir al fuego de la misma forma que los forjados macizos.

Cabe destacar que la propagación de calor registrada durante las pruebas de resistencia al fuego de las muestras de forjado COBIAX CBX es idéntica a la registrada en forjados macizos. Se registró, además, que los huecos existentes en un forjado COBIAX CBX tienen un efecto de retardo en el proceso de desfragmentación de la superficie de hormigón expuesta, ya que los huecos absorben la concentración de presión de vapor interna (proveniente de la humedad del hormigón) que se produce en el hormigón y que, de otro modo, presionaría de inmediato el hormigón del recubrimiento del forjado; no obstante, este beneficio no es cuantificable.

Si se exponen a fuego directo, los moldes COBIAX CBX (fabricados en HD-PE o PP) se descompondrían en H_2O y CO_2 , que no son nocivos.

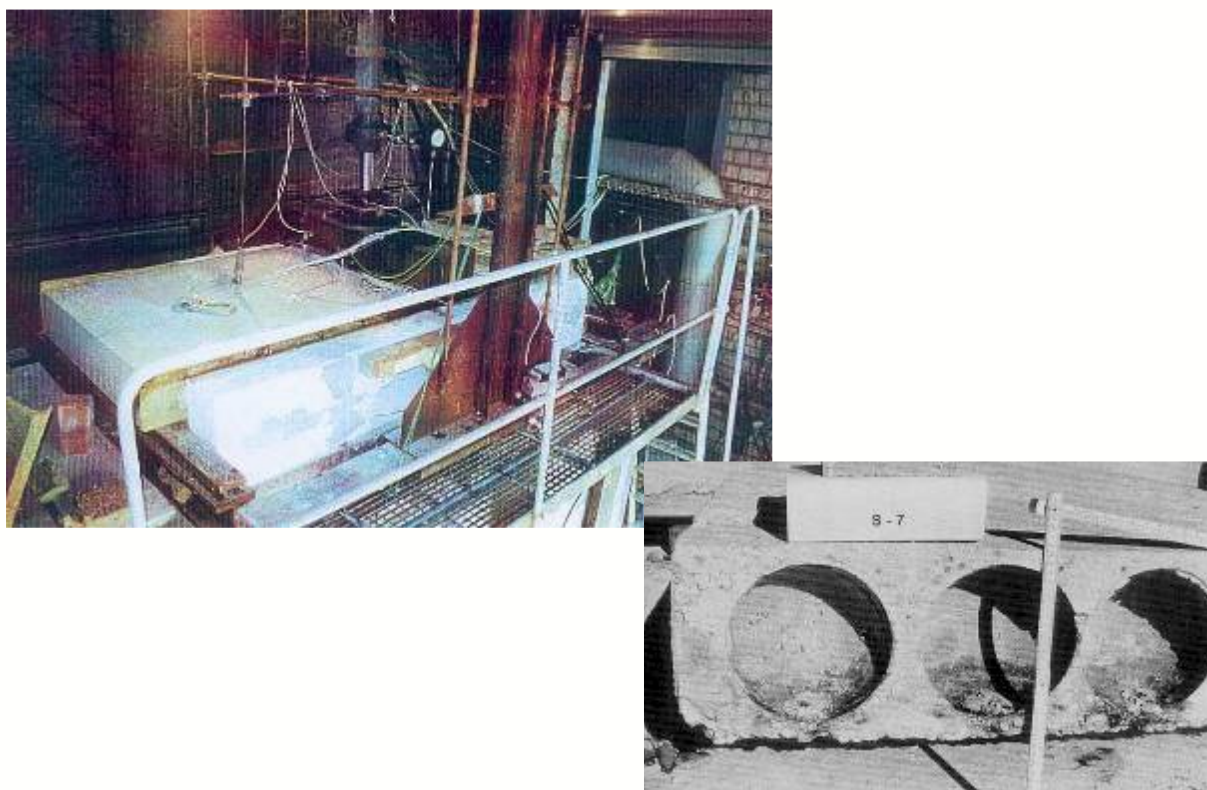


Figura 12 – Ensayos al Fuego



Durante el análisis del forjado es esencial una adecuación de las distancias presentes en el sistema COBIAX CBX: la distancia al eje de la primera capa de armadura (a_{HK}) y la dimensión de la lámina del forjado ($d_{2,HK}$). A través de estudios y ensayos, la adecuación de estos dos valores demostró un rendimiento de la temperatura en las armaduras similar al de un forjado macizo.

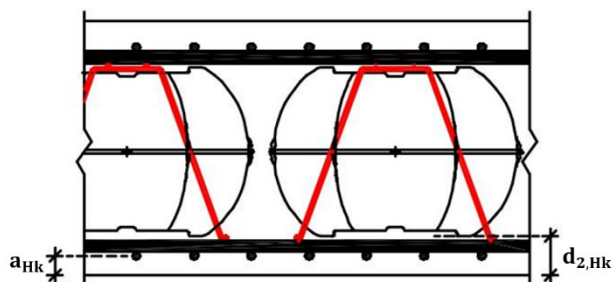


Figura 13 – Alturas para Cálculo de la Resistencia al Fuego

Este enfoque está descrito en el Expert Report No. GS 3.2/16-357 (MPA Leipzig GmbH).

En las tablas 4, 5 y 6 se presentan los valores mínimos de recubrimiento para una dimensión de lámina del sistema COBIAX CBX y la clase de resistencia al fuego deseada. Según el análisis del forjado en estudio, se presentan las tablas respectivas:

- Tabla 5 – forjados bidireccionales con $l_y/l_x \leq 1,5$
- Tabla 6 – forjados bidireccionales con $1,5 < l_y/l_x \leq 2,0$
- Tabla 7 – Forjados unidireccionales y bidireccionales con $l_y/l_x > 2,0$



		d2,Hk							
		50	55	60	65	70	80	90	100
S-100	R 30	13	12	11	11	11	11	11	11
	R 60	28	20	17	14	13	12	11	11
	R 90	-	43	30	25	22	19	17	16
	R 120	-	-	48	38	32	27	24	23
	R 180	-	-	-	-	-	59	46	40
	R 240	-	-	-	-	-	-	-	67
S-120	R 30	13	12	11	11	11	11	11	11
	R 60	28	20	17	14	13	12	11	11
	R 90	-	40	30	25	22	19	17	16
	R 120	-	-	47	37	32	27	24	23
	R 180	-	-	-	-	-	58	45	39
	R 240	-	-	-	-	-	-	-	66
S-140	R 30	13	12	11	11	11	11	11	10
	R 60	28	20	16	14	13	12	11	11
	R 90	-	41	30	25	22	19	17	16
	R 120	-	-	46	37	32	27	24	22
	R 180	-	-	-	-	-	57	44	39
	R 240	-	-	-	-	-	-	-	64
S-160	R 30	13	12	11	11	11	11	11	10
	R 60	28	20	16	14	13	12	11	11
	R 90	-	39	29	25	22	19	17	16
	R 120	-	-	45	36	31	27	24	22
	R 180	-	-	-	-	-	55	44	39
	R 240	-	-	-	-	-	-	-	62
S-180	R 30	13	12	11	11	11	11	11	10
	R 60	27	20	16	14	13	12	11	11
	R 90	-	38	29	24	22	19	17	16
	R 120	-	-	43	35	31	26	24	22
	R 180	-	-	-	-	-	53	43	38
	R 240	-	-	-	-	-	-	89	61
S-200	R 30	13	12	11	11	11	11	11	10
	R 60	26	19	16	14	13	12	11	11
	R 90	-	36	28	24	21	18	17	16
	R 120	-	-	41	34	30	26	24	22
	R 180	-	-	-	-	-	51	42	38
	R 240	-	-	-	-	-	-	78	59
S-220	R 30	13	12	11	11	11	11	11	10
	R 60	25	19	16	14	13	11	11	11
	R 90	-	35	27	23	21	18	17	16
	R 120	-	-	39	33	30	26	23	22
	R 180	-	-	-	-	-	49	41	37
	R 240	-	-	-	-	-	-	72	57
S-240	R 30	13	12	11	11	11	11	11	10
	R 60	25	19	16	14	13	11	11	11
	R 90	-	35	27	23	21	18	17	16
	R 120	-	-	39	33	30	26	23	22
	R 180	-	-	-	-	-	49	41	37
	R 240	-	-	-	-	-	-	72	57
S-260	R 30	13	12	11	11	11	11	11	10
	R 60	25	19	16	14	13	11	11	11
	R 90	-	35	27	23	21	18	17	16
	R 120	-	-	39	33	30	26	23	22
	R 180	-	-	-	-	-	49	41	37
	R 240	-	-	-	-	-	-	72	57

Tabla 5- Recubrimiento mínimo de forjados bidireccionales con $l_y/l_x \leq 1,5$.



		d2,Hk							
		50	55	60	65	70	80	90	100
S-100	R 30	13	12	11	11	11	11	11	11
	R 60	33	25	22	19	18	17	16	16
	R 90	-	48	35	30	27	24	22	21
	R 120	-	-	-	-	50	36	31	29
	R 180	-	-	-	-	-	-	71	56
	R 240	-	-	-	-	-	-	-	-
S-120	R 30	13	12	11	11	11	11	11	11
	R 60	33	25	22	19	18	17	16	16
	R 90	-	45	35	30	27	24	22	21
	R 120	-	-	-	-	48	35	31	29
	R 180	-	-	-	-	-	-	69	56
	R 240	-	-	-	-	-	-	-	-
S-140	R 30	13	12	11	11	11	11	11	10
	R 60	33	25	21	19	18	17	16	16
	R 90	-	46	35	30	27	24	22	21
	R 120	-	-	-	-	47	35	31	28
	R 180	-	-	-	-	-	-	68	55
	R 240	-	-	-	-	-	-	-	-
S-160	R 30	13	12	11	11	11	11	11	10
	R 60	33	25	21	19	18	17	16	16
	R 90	-	44	34	30	27	24	22	21
	R 120	-	-	-	-	45	35	31	28
	R 180	-	-	-	-	-	-	66	54
	R 240	-	-	-	-	-	-	-	-
S-180	R 30	13	12	11	11	11	11	11	10
	R 60	32	25	21	19	18	17	16	16
	R 90	-	43	34	29	27	24	22	21
	R 120	-	-	-	-	44	34	31	28
	R 180	-	-	-	-	-	-	64	53
	R 240	-	-	-	-	-	-	-	-
S-200	R 30	13	12	11	11	11	11	11	10
	R 60	31	24	21	19	18	17	16	16
	R 90	-	41	33	29	26	23	22	21
	R 120	-	-	-	-	42	34	30	28
	R 180	-	-	-	-	-	-	62	52
	R 240	-	-	-	-	-	-	-	89
S-220	R 30	13	12	11	11	11	11	11	10
	R 60	30	24	21	19	18	16	16	16
	R 90	-	40	32	28	26	23	22	21
	R 120	-	-	-	-	41	33	30	28
	R 180	-	-	-	-	-	-	60	51
	R 240	-	-	-	-	-	-	-	83
S-240	R 30	13	12	11	11	11	11	11	10
	R 60	30	24	21	19	18	16	16	16
	R 90	-	40	32	28	26	23	22	21
	R 120	-	-	-	-	41	33	30	28
	R 180	-	-	-	-	-	-	60	51
	R 240	-	-	-	-	-	-	-	83
S-260	R 30	13	12	11	11	11	11	11	10
	R 60	30	24	21	19	18	16	16	16
	R 90	-	40	32	28	26	23	22	21
	R 120	-	-	-	-	41	33	30	28
	R 180	-	-	-	-	-	-	60	51
	R 240	-	-	-	-	-	-	-	83

Tabla 6- Recubrimiento mínimo de forjados bidireccionales $1,5 < l_y/l_x \leq 2,0$.



		d2,Hk							
		50	55	60	65	70	80	90	100
S-100	R 30	13	12	11	11	11	11	11	11
	R 60	38	30	27	24	23	22	21	21
	R 90	-	-	-	63	46	38	34	32
	R 120	-	-	-	-	-	76	53	47
	R 180	-	-	-	-	-	-	-	-
	R 240	-	-	-	-	-	-	-	-
S-120	R 30	13	12	11	11	11	11	11	11
	R 60	38	30	27	24	23	22	21	21
	R 90	-	-	-	61	46	37	34	32
	R 120	-	-	-	-	-	73	53	47
	R 180	-	-	-	-	-	-	-	-
	R 240	-	-	-	-	-	-	-	-
S-140	R 30	13	12	11	11	11	11	11	10
	R 60	38	30	26	24	23	22	21	21
	R 90	-	-	-	59	45	37	34	32
	R 120	-	-	-	-	-	69	53	47
	R 180	-	-	-	-	-	-	-	-
	R 240	-	-	-	-	-	-	-	-
S-160	R 30	13	12	11	11	11	11	11	10
	R 60	38	30	26	24	23	22	21	21
	R 90	-	-	-	56	45	37	34	32
	R 120	-	-	-	-	-	68	52	47
	R 180	-	-	-	-	-	-	-	-
	R 240	-	-	-	-	-	-	-	-
S-180	R 30	13	12	11	11	11	11	11	10
	R 60	37	30	26	24	23	22	21	21
	R 90	-	-	-	54	44	37	34	32
	R 120	-	-	-	-	-	66	51	46
	R 180	-	-	-	-	-	-	-	-
	R 240	-	-	-	-	-	-	-	-
S-200	R 30	13	12	11	11	11	11	11	10
	R 60	36	29	26	24	23	22	21	21
	R 90	-	-	-	53	44	37	33	32
	R 120	-	-	-	-	-	64	51	46
	R 180	-	-	-	-	-	-	-	-
	R 240	-	-	-	-	-	-	-	-
S-220	R 30	13	12	11	11	11	11	11	10
	R 60	35	29	26	24	23	21	21	21
	R 90	-	-	-	50	42	36	33	32
	R 120	-	-	-	-	-	61	50	46
	R 180	-	-	-	-	-	-	-	-
	R 240	-	-	-	-	-	-	-	-
S-240	R 30	13	12	11	11	11	11	11	10
	R 60	35	29	26	24	23	21	21	21
	R 90	-	-	-	50	42	36	33	32
	R 120	-	-	-	-	-	61	50	46
	R 180	-	-	-	-	-	-	-	-
	R 240	-	-	-	-	-	-	-	-
S-260	R 30	13	12	11	11	11	11	11	10
	R 60	35	29	26	24	23	21	21	21
	R 90	-	-	-	50	42	36	33	32
	R 120	-	-	-	-	-	61	50	46
	R 180	-	-	-	-	-	-	-	-
	R 240	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 7- Recubrimiento mínimo de forjados unidireccionales y bidireccionales con $l_y/l_x > 2,0$.



AISLAMIENTO ACÚSTICO

Los dos principales parámetros para la clasificación del aislamiento acústico de los forjados son:

- Aislamiento a ruidos aéreos;
- Aislamiento a ruidos de impacto.

Las pruebas de comportamiento acústico realizadas en forjados **COBIAX CBX**, tanto con muestras en laboratorios especializados como en construcciones completas, con el objetivo de calcular su comportamiento acústico y comparar los resultados con el comportamiento de los forjados macizos, permitieron definir un método adecuado de clasificación del aislamiento.

La interpretación de las mediciones realizadas muestra que, para el forjado **COBIAX CBX**, pueden utilizarse los mismos métodos de evaluación del aislamiento acústico ya empleados para los forjados macizos.

En ambos casos, ruidos de impacto y ruidos aéreos, el elemento principal para evaluar el grado de aislamiento acústico proporcionado por los forjados de hormigón es la masa media por metro cuadrado del área en estudio, existiendo diversas publicaciones que proporcionan estos datos en función del canto y de la respectiva masa.

A los valores obtenidos a partir de estas tablas se añaden a continuación los valores de aislamiento proporcionados por los elementos de relleno, pavimento y techos, resultando de esta suma la capacidad de aislamiento acústico del forjado. Obviamente, la masa media de un forjado **COBIAX CBX** es inferior a la de un forjado macizo del mismo canto y, por consiguiente, la capacidad de aislamiento acústico del forjado **COBIAX CBX** será menor en proporción a su respectiva masa.

La evaluación acústica de edificios que incorporen forjados **COBIAX CBX** puede, por tanto, basarse en los mismos métodos habitualmente utilizados para construcciones tradicionales, a partir de la masa media de superficie del forjado **COBIAX CBX**.

A título de ejemplo, cabe señalar que, para un forjado de 20 cm (el forjado de menor canto realizable con el sistema **COBIAX CBX**), se midieron los siguientes valores en una muestra sin revestimientos ni techos en laboratorio:

Aislamiento acústico atmosférico: $R_{w,P} = 56$ dB

Nivel de ruido de impacto: $L_{n,eq,0,w,R} = 76$ dB

La masa media de este forjado corresponde a un canto medio de hormigón de 15 cm.

La evaluación del aislamiento acústico de un forjado **COBIAX CBX** puede así realizarse recurriendo a un canto equivalente del forjado.

AISLAMIENTO TÉRMICO

Los huecos creados por los módulos **COBIAX CBX** influyen en la conductividad térmica del forjado. Teóricamente, tienen un efecto positivo en la transferencia de calor a través del forjado y, en consecuencia, en el aislamiento térmico del mismo. No obstante, el efecto es insignificante para la aplicación práctica del sistema, ya que solo podría alcanzarse una mejora del 5-10% (para un forjado plano sin ningún tipo de aislamiento).

La mejora del aislamiento térmico resulta aún menor cuando se observa como un forjado aislado, donde el material de aislamiento térmico proporciona la mayor parte del rendimiento.

CONTROLO TÉRMICO

Los forjados **COBIAx CBx** pueden combinarse fácilmente con sistemas de control de temperatura del núcleo de la estructura de hormigón. Estos combinan sistemas de calefacción y refrigeración mediante un sistema de tuberías que se integra en el interior de la estructura.

Con el siguiente estudio es posible observar el efecto que los huecos tienen en la capacidad de almacenamiento de temperatura:

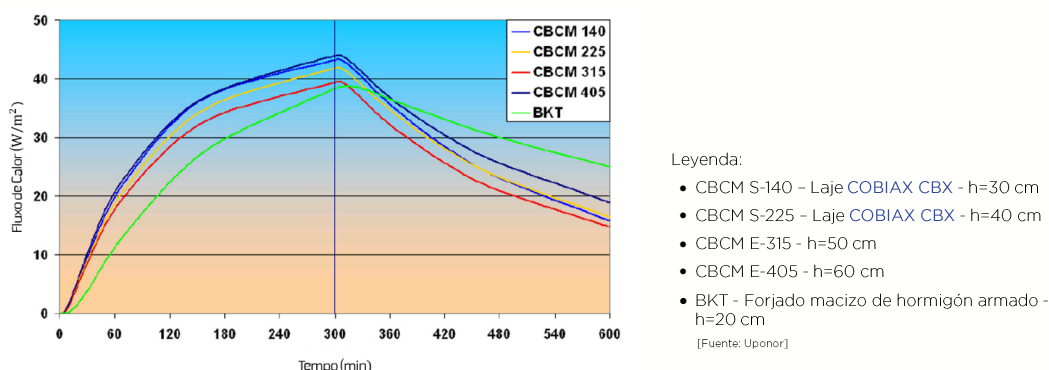


Figura 14 – Capacidad de Almacenamiento de Temperatura

Para cada tipo de forjado aligerado es posible observar el rendimiento de los forjados con el sistema **COBIAx CBx** en comparación con los forjados macizos convencionales (mediante un modelo dinámico de carga a lo largo de un período de 5 horas, con una temperatura ambiente constante de 26 °C y una temperatura media de 18 °C).

Los ensayos y estudios a lo largo del tiempo demuestran que, para una regulación selectiva de la temperatura, los forjados **COBIAx CBx** presentan un rendimiento mejor y más eficiente que un forjado macizo convencional.

El sistema **COBIAx CBx** presenta una rápida adaptación a los cambios de temperatura, debido a su rápida acumulación y disipación de energía.

Para el mejor rendimiento posible del forjado **COBIAx CBx**, los tubos se instalan entre la zona de refuerzo inferior y los huecos CBx. La lámina inferior de hormigón, en este caso, deberá tener aproximadamente 8 cm de canto. Estas características son suficientes para presentar un rendimiento similar al de un forjado macizo de hormigón con este tipo de sistema.

Para la protección de los tubos del sistema, se recomienda el uso de una capa de esterilla en la zona inferior del forjado correspondiente a la altura de estos.

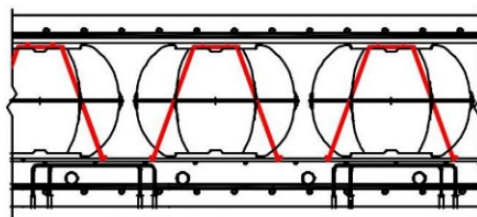


Figura 15 – Sillas de elevación

PRETENSADO

La combinación del pretensado con un forjado COBIAX CBX es uno de los principios posibles y, al combinar ambos efectos, es posible obtener factores positivos en términos económicos y soluciones muy eficientes.

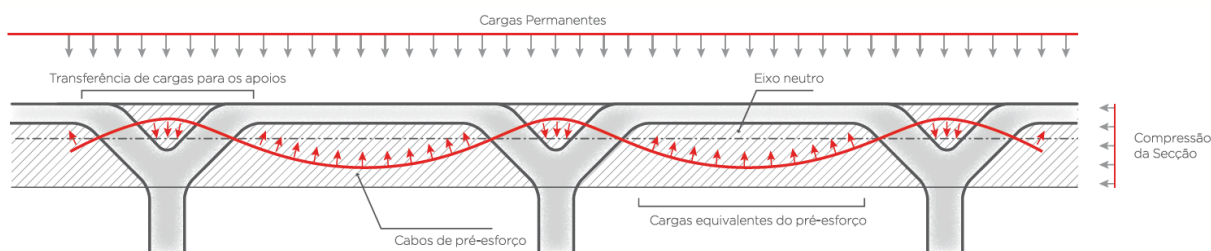


Figura 16 – Cargas Equivalentes

El pretensado, mediante el control del peso propio a través de las fuerzas equivalentes impuestas en el forjado, y la ventaja de la reducción de peso propio presente en un forjado COBIAX CBX hacen que esta solución resulte muy ventajosa en comparación con soluciones más convencionales.

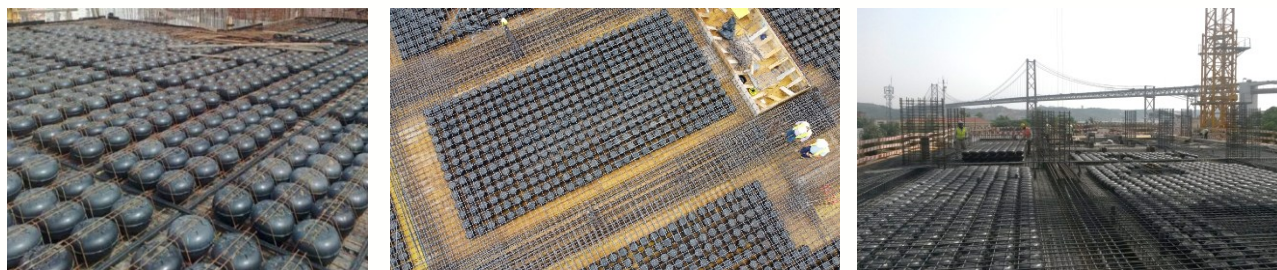


Figura 17 – Forjados COBIAX Pretensados

ELEMENTOS PREFABRICADOS

El uso de los módulos COBIAX CBX en elementos prefabricados proporciona soluciones más ligeras y económicas. En estos casos, el factor peso no solo ofrece ventajas estáticas, sino también ventajas de transporte e instalación de los elementos. Los balcones son uno de los elementos de construcción destacados, adecuados para esta utilización.

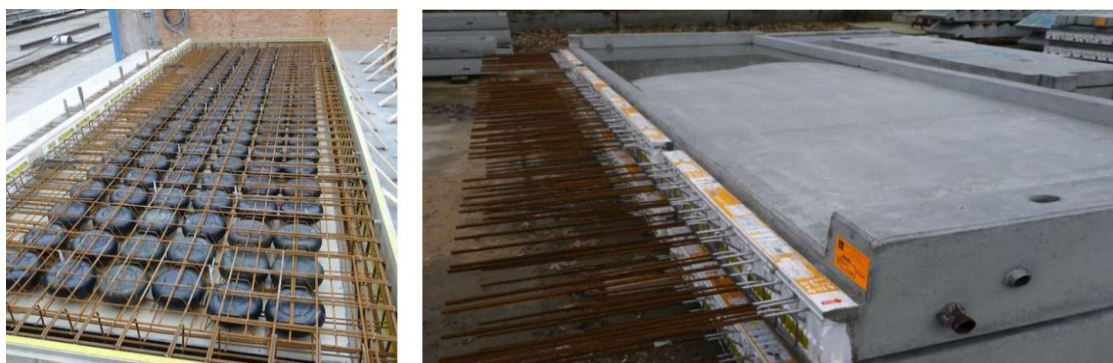


Figura 18 – Forjados COBIAX Prefabricados



SOSTENIBILIDAD

La industria de la construcción es uno de los sectores que mayor impacto directo genera en el medio ambiente, siendo la producción de cemento una de las principales fuentes de emisión de CO₂.

Durante la producción de un forjado de hormigón armado, la fabricación de materiales de construcción conlleva emisiones de CO₂ relacionadas con la materia prima y la energía. La mayor parte de las emisiones de CO₂ en la producción de hormigón se debe a la producción de cemento, debido al elevado consumo de energía (térmica y eléctrica) y a las emisiones de CO₂ derivadas principalmente de la descarbonatación de la caliza durante la producción del cemento.

En un estudio llevado a cabo por el Instituto Fraunhofer fue posible mostrar y cuantificar el potencial de la tecnología **COBIAX CBX** en la reducción de emisiones de CO₂ en la fabricación de forjados.

CASO DE ESTUDIO

En el análisis se consideró una emisión media de CO₂ de 0,70 kg por kg de cemento. Para la producción de cemento se supone un adicional de hormigón de 0,63 kg de CO₂ por m³ de forjado, y para la producción de acero de refuerzo se consideró una emisión de CO₂ de 1,73 kg por kg de acero.

Para un forjado macizo convencional se obtuvieron los siguientes valores de consumos:

Forjado macizo	Masa [kg/m ³ de laje]	Emisiones de CO ₂ [kg/kg emitidos]	Emisiones de CO ₂ [kg/m ³ de laje]
Cemento	300	0,70	210,00
Hormigón (excluyendo el cemento)	2,200	0,0003	0,63
Acero	145	1,73	250,85
Total			461,48

Tabla 8 – Emisiones de CO₂ durante la producción de un forjado macizo convencional por m³.

En otro enfoque se consideró un forjado aligerado similar con la tecnología del sistema **COBIAX CBX**. La introducción de los huecos permitió ahorrar un 17% del acero de refuerzo necesario, de acuerdo con el cálculo comparativo. Las celosías metálicas del sistema, que sirven para posicionar los huecos **COBIAX CBX**, no se consideraron en el cálculo estático, pero sí se incluyeron en el balance de CO₂, de acuerdo con la tabla siguiente.

El consumo de energía en la producción de un hueco **COBIAX CBX** con un 100% de material reciclado es de cerca de 0,04 kWh por pieza. Asumiendo una producción de CO₂ de 0,70 kg por kWh, se produce una emisión de CO₂ de 0,34 kg por m³ de forjado.



Para un forjado COBIAX CBX similar al forjado macizo convencional considerado, se obtuvieron los siguientes valores de consumos:

Forjado COBIAX CBX	Masa [kg/m³ de laje]	Emisiones de CO ₂ [kg/kg emitidos]	Emisiones de CO ₂ [kg/m³ de laje]
Cemento	210	0,70	147,00
Hormigón (excluyendo el cemento)	1,540	0,0003	0,44
Acero	120	1,73	207,60
Módulo Cobiax CBX	10	0,03	0,34
Celosías metálicas	8	1,73	13,84
		Total	369,22

Tabla 9 – Emisiones de CO₂ durante la producción de un forjado COBIAX CBX por m³.

Esto resulta en emisiones de CO₂ de aproximadamente 369,22 kg para un forjado con tecnología COBIAX CBX.

Para el balance comparativo de la cantidad de emisiones de CO₂ entre los dos tipos de forjado presentados, se tiene la siguiente expresión:

$$\Delta = 461,48 - 369,22 = 92,26 \text{ kg/m}^3$$

En resumen, se obtiene un ahorro de 92,26 kg de CO₂ por m³ de forjado en comparación directa con el forjado macizo convencional, iuna reducción del orden del 20%!

La sostenibilidad de los recursos naturales adquiere una importancia creciente hoy en día; con la utilización de materiales reciclados para la constitución de los huecos y la reducción de la necesidad de hormigón, el sistema COBIAX CBX permite promover por sí solo una estructura con menor impacto ambiental y una significativa reducción de la emisión de CO₂ inherente al proceso constructivo.



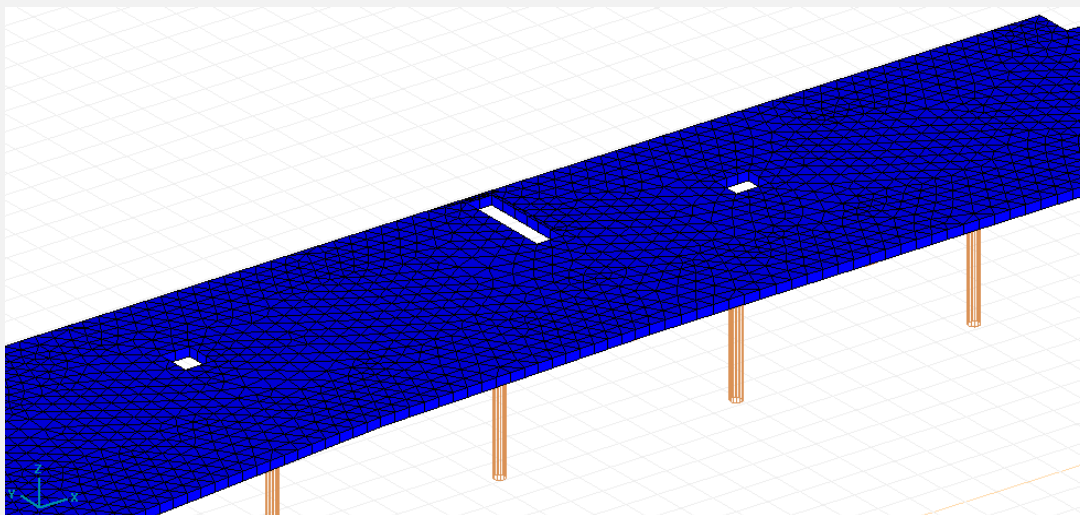
PROCESO DE CÁLCULO DE UN FORJADO COBIAX CBX

En el presente capítulo se describe el proceso de cálculo de un forjado **COBIAX CBX** con la ayuda de un software de elementos finitos. El proceso se basa en los métodos comúnmente utilizados para la concepción estructural de forjados macizos y es compatible con cualquier código o reglamento en vigor.

El ejemplo incluido se basa en el software FEM "Axis VM9"; no obstante, los principios subyacentes son aplicables a cualquier software de elementos finitos que permita el cálculo de forjados macizos.

PASO 1 - HIPÓTESIS, DATOS INICIALES Y PARÁMETROS **COBIAX CBX**

Defina los datos iniciales de acuerdo con las hipótesis de la estructura, tales como la geometría del forjado, los apoyos, las cargas y los materiales, de la misma forma que lo haría para un forjado macizo, asumiendo desde el principio el canto del forjado deseado. Con base en el canto del forjado definido, seleccione el hueco **COBIAX CBX** que desea utilizar, considerando la reducción de carga y el factor de corrección de la inercia de acuerdo con los parámetros de la Tabla 1 de este manual.



Modelo de cálculo de un forjado (visualización 3D) con algunas aberturas apoyado en columnas

Parámetros genéricos de cálculo

$E = 34000 \text{ N/mm}^2$; $\delta = 25 \text{ kN/m}^3$; recubrimiento = 25 mm; canto $h = 300 \text{ mm}$

Parámetros del sistema **COBIAX CBX** seleccionado **S-180**

Reducción de carga permanente - **2.32 kN/m²**

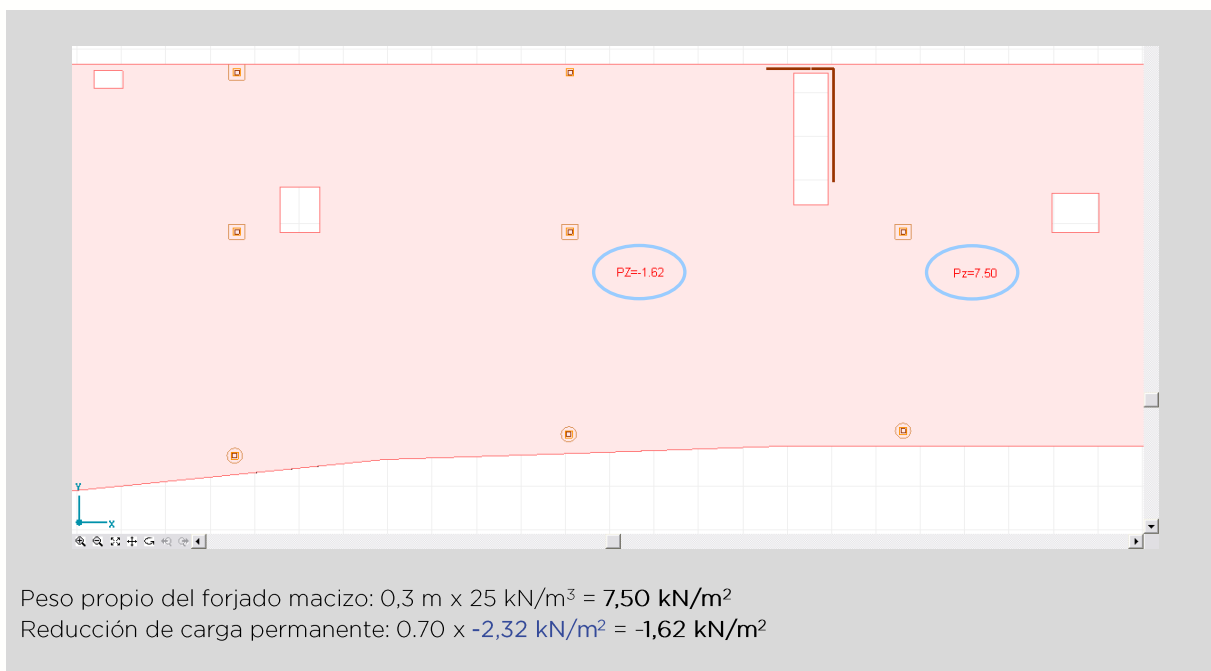
Factor de corrección de inercia - **0.91**



PASO 2 - PATRÓN DE CARGA PERMANENTE ADICIONAL

Por regla general, observable en un conjunto amplio de ensayos, el área aligerada representa aproximadamente del 70 al 80% del área total del forjado; sin embargo, se recomienda, a efectos de predimensionado, la utilización de un valor no superior al 70% para la reducción de la carga permanente en la primera fase del cálculo.

Proponemos entonces que cree un caso de carga permanente adicional que represente la reducción de carga proveniente de los huecos COBIAX CBX a instalar, de acuerdo con la selección efectuada en el punto anterior; esta carga deberá tener sentido inverso al del peso propio del forjado considerado automáticamente.



PASO 3 - MODIFICACIÓN DE LA INERCIA DEL FORJADO

Para la consideración de la reducción de inercia del forjado debida a la introducción del sistema COBIAX CBX, deberá, de acuerdo con las posibilidades que ofrezca su programa, efectuar una de las siguientes operaciones:

- Altere el módulo de elasticidad del hormigón del forjado afectándolo del coeficiente constante de la Tabla 1;
- Altere la inercia de los elementos de forjado afectándolos del factor de corrección indicado en la Tabla 1;

Calcule la deformación resultante incorporando en el modelo el patrón de reducción de carga permanente y la inercia modificada; verifique si cumple sus criterios y, en caso de que no sea así, deberá aumentar el canto de su forjado.

Modificación de E: $0,91 \times 34000 \text{ N/mm}^2 = 30940 \text{ N/mm}^2$

Modificación del factor de rigidez global de 1 a $0,91$

Dependiendo del software utilizado, este presenta el cálculo de la deformación lineal (Estado I, elástica) o no lineal y permite calcular la deformación a largo plazo (Estado II). Para el caso lineal, los valores de la deformación elástica obtenidos a partir del cálculo se tratan de la misma forma que para los forjados macizos en cuanto a la evaluación de la deformación a largo plazo.



PASO 4 - CRITERIO DE RESISTENCIA A CORTANTE E IDENTIFICACIÓN DEL ÁREA MACIZA

Calcule manualmente la resistencia a cortante máxima permitida V_{cd} para un forjado macizo de igual canto y multiplique ese valor por el factor de corrección a cortante indicado en la Tabla 1 para obtener la resistencia a cortante del forjado en la zona aligerada.

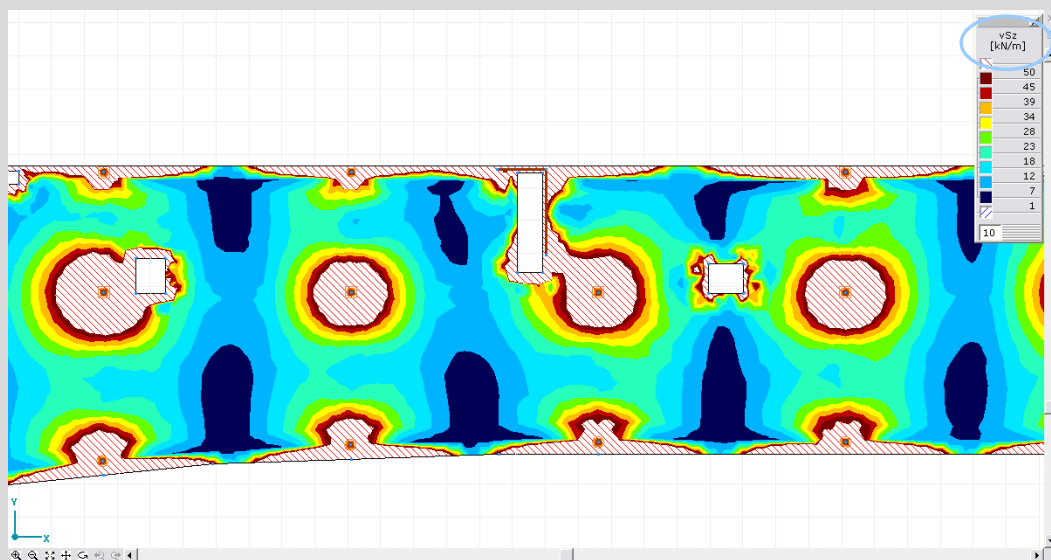
Visualice la distribución de los esfuerzos cortantes en su modelo e identifique las áreas del forjado en las que este valor excede la capacidad a cortante de la zona aligerada; naturalmente, en estas áreas no deberán colocarse los COBIAx CBX.

Supóngase que para el ejemplo tenemos $V_{cd} = 100 \text{ kN/m}$

Factor de reducción a cortante para el COBIAx CBX S-180: 0.50

Tendremos entonces, en la zona del forjado aligerado: $V_{cd, \text{COBIAx CBX}} = 0.50 \times 100 \text{ kN/m} = 50 \text{ kN/m}$

La distribución de los esfuerzos cortantes en el forjado, calculada manteniendo el caso de reducción de carga, permite identificar las zonas donde estos valores exceden la fuerza máxima de cortante permitida $V_{cd, \text{COBIAx CBX}}$.





PASO 5 - REFINAMIENTO DEL CASO DE REDUCCIÓN DE CARGA

Este paso solo será necesario en caso de que se pretenda un mayor refinamiento y exactitud de los valores de los esfuerzos, especialmente en elementos verticales y cimentaciones, ya que su redistribución en el forjado resultará en una reducción tanto de esfuerzos como de deformaciones.

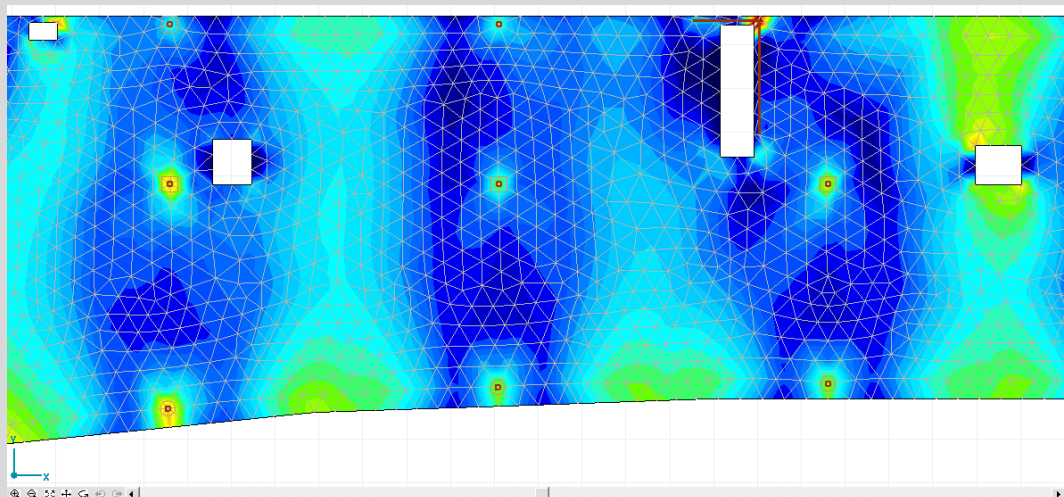
Utilizando los contornos de las áreas macizas identificadas anteriormente, vuelva a definir el caso de reducción de la carga permanente, afectando las zonas aligeradas del 100% del valor de la reducción indicada en la Tabla 1 y retirando esta carga de las zonas macizas.



PASO 6 - VERIFICACIÓN Y DETALLADO DE LA SECCIÓN DEL FORJADO

A partir del análisis de esfuerzos y del dimensionado de las armaduras y recubrimientos necesarios, es importante verificar la conformidad de la sección preconizada, especialmente mediante la constatación de su viabilidad.

La suma de los recubrimientos, de los diámetros de las barras y de la altura de la celosía **COBIAx CBx** deberá ser menor o igual al canto del forjado definido; en caso contrario, deberá redefinir las barras a utilizar o aumentar el canto del forjado. En caso de que sea inferior, esta diferencia podrá compensarse mediante separadores colocados a tal efecto.



Distribución de esfuerzos en estados límite últimos

Verificación de sección tras la selección de armadura

Recubrimiento: 25 mm

Diámetro de las barras de armadura inferior: 12 y 16 mm (direcciones x e y en la zona aligerada)

Diámetro de las barras de armadura superior: 12 mm (direcciones x e y en la zona aligerada)

Altura de soporte S-180: 190 mm

→ $\Sigma 25\text{mm} + 25\text{mm} + 12\text{mm} + 16\text{mm} + 12\text{mm} + 12\text{mm} + 190\text{mm} = 292\text{ mm}$

→ $292\text{ mm} \leq 300\text{ mm}$

La sección está correctamente dimensionada, incluyendo una tolerancia de construcción de 8 mm.



DETALLADO

PLANOS DE IMPLANTACIÓN/GEOMETRÍA

Para un correcto montaje de las celosías **COBIAX CBX** en obra, deben elaborarse planos de geometría que incluyan la caracterización, cantidad, orientación y cotas de implantación de los huecos, de manera que, junto con los planos de geometría del encofrado y el detallado de las armaduras, permitan la ejecución de los trabajos del forjado.

Los planos de implantación del sistema deben contener los siguientes elementos:

- Cotas relativas a los ejes o al límite de la estructura para la implantación de los huecos;
- Sección característica del forjado, identificando las alturas del módulo **COBIAX CBX** y de las láminas;
- Indicación del orden de montaje de las armaduras y orientación de las celosías;
- Notas generales sobre la utilización, manipulación y montaje de un forjado **COBIAX CBX**.

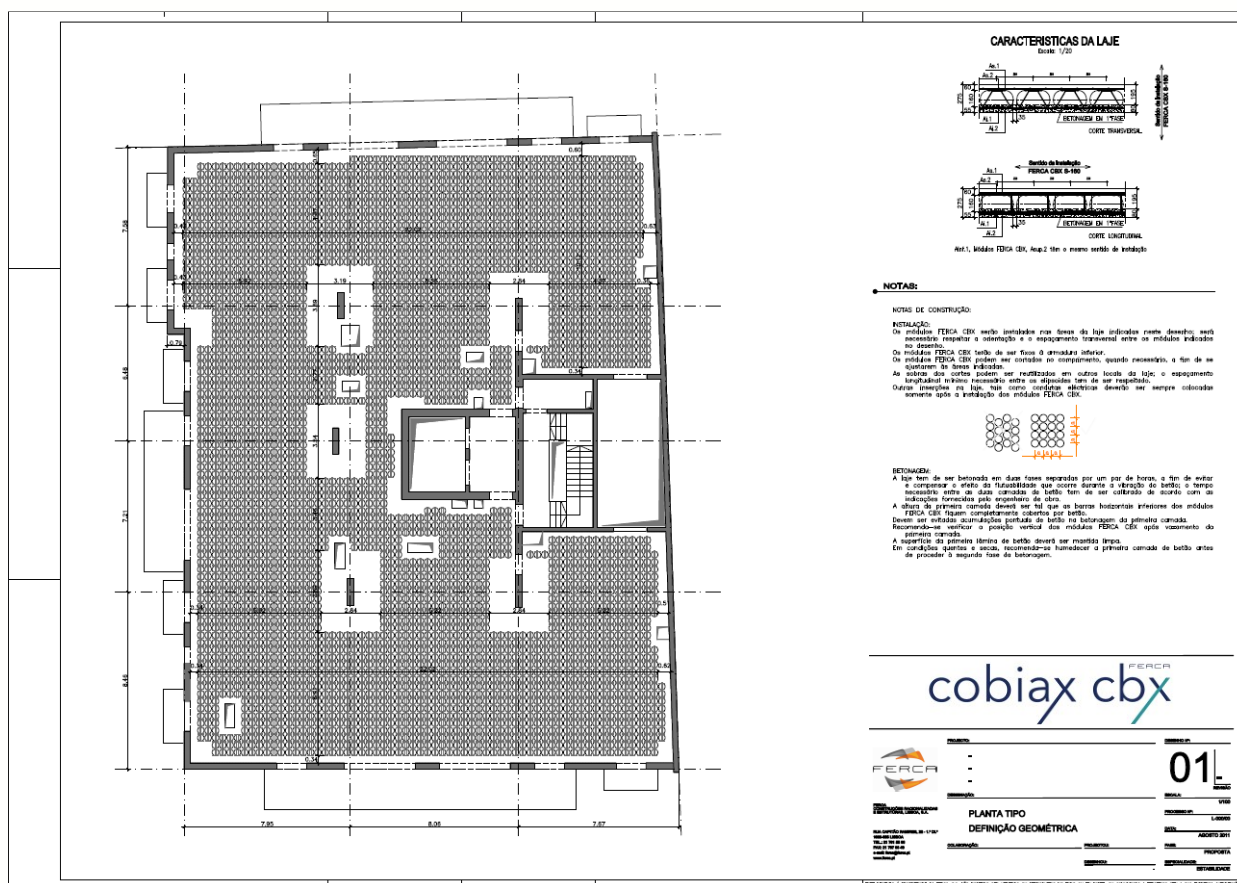


Figura 19 – Plano de distribución COBIAX CBX



En la distribución del sistema **COBIAX CBX** deben respetarse los siguientes principios:

La distribución del sistema **COBIAX CBX** debe respetar las zonas donde el esfuerzo cortante excede la capacidad del forjado, dejando estas áreas macizas (ver figuras 20 y 21);

La separación entre ejes de los huecos **COBIAX CBX** debe respetar las dimensiones indicadas en la Tabla 1 de este documento, salvo indicación específica en contrario;

A lo largo del borde del forjado y de las aberturas, se recomienda dejar una franja maciza de aproximadamente 0,30 m, aunque no se exceda el esfuerzo cortante del forjado, con el fin de evitar la interferencia de las celosías **COBIAX CBX** con eventuales armaduras de refuerzo de los bordes;

Siempre que sea necesario, las celosías **COBIAX CBX** deben cortarse a la longitud necesaria para rellenar las áreas definidas, y su distribución debe respetar la ortogonalidad de su disposición;

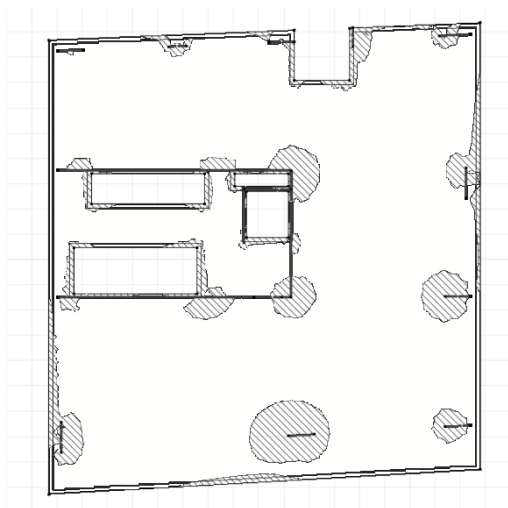


Figura 20 - Identificación en el modelo de cálculo de las áreas donde el esfuerzo cortante supera la capacidad resistente del forjado.

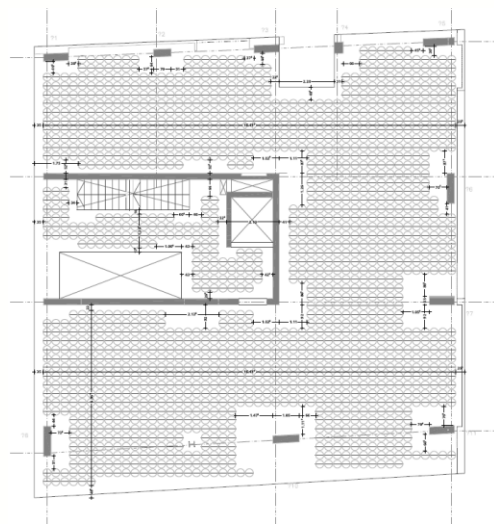


Figura 21 - Distribución del sistema **COBIAX CBX** teniendo en consideración las áreas macizas necesarias.

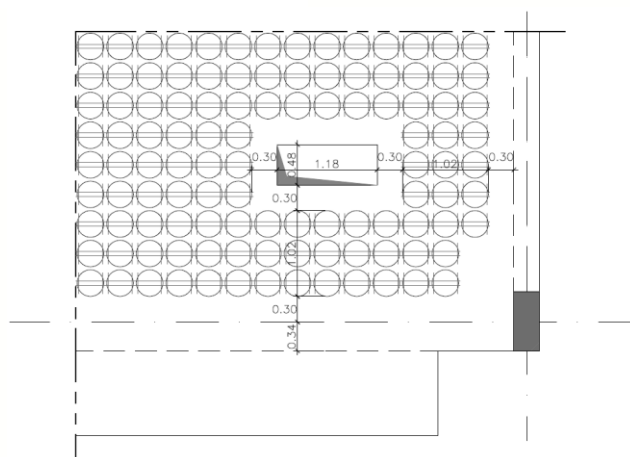


Figura 22 - Ejemplo de plano de implantación del sistema **COBIAX CBX**

INSTALACIÓN DE SERVICIOS TÉCNICOS

Al ser el **COBIAx CBx** un sistema modular, es posible la compatibilización con las diversas instalaciones que se pretendan llevar a cabo en el forjado, debiendo preverse previamente y reflejarse en los planos de distribución las implicaciones en la disposición de los módulos **COBIAx CBx**. Los huecos pueden retirarse individualmente para el paso de tubos, o en líneas para el paso de diversas instalaciones, como por ejemplo la aplicación de postesado en el forjado.

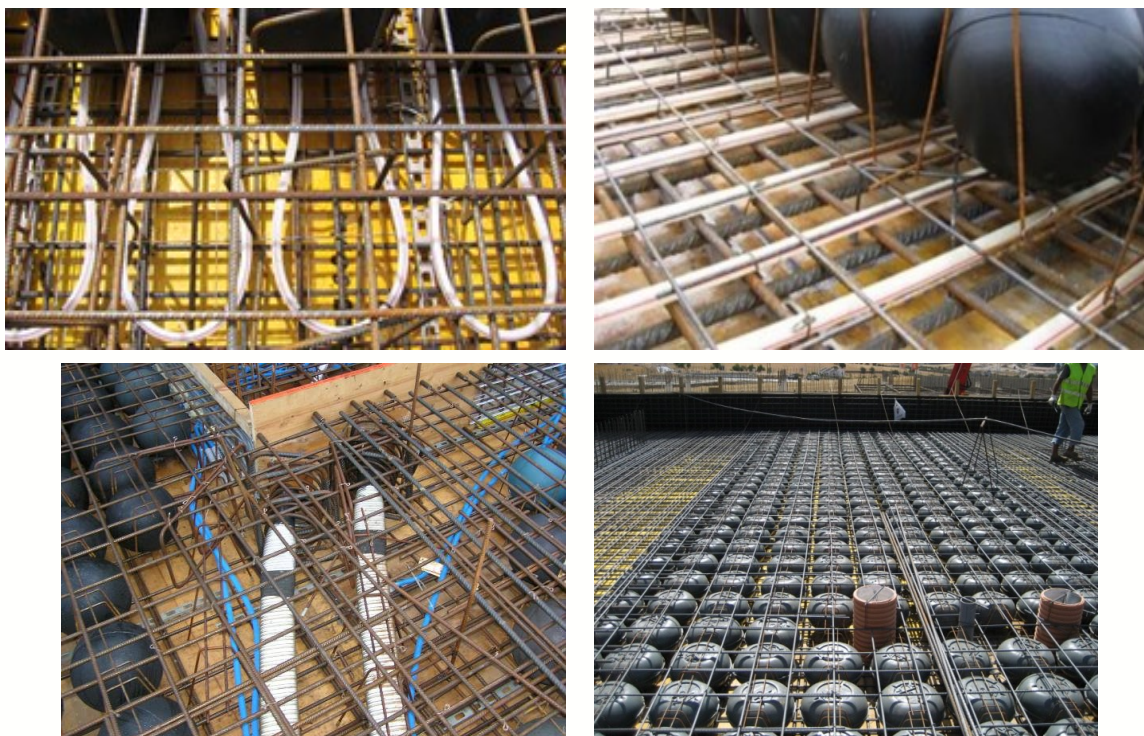


Figura 23 - Ejemplos de instalaciones diversas y sistemas de postesado en un forjado COBIAx CBx

MONTAJE DE UN FORJADO COBIAx CBx

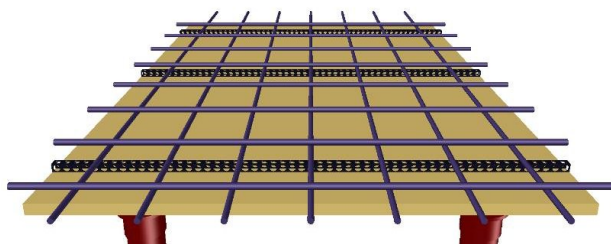
El montaje de un forjado **COBIAx CBx** se compone de diversos procedimientos, desde los factores logísticos, el transporte del material, así como el proceso de ensamblaje del producto, hasta los procedimientos durante su ejecución en obra. Consultar el Manual de Procedimientos del sistema.



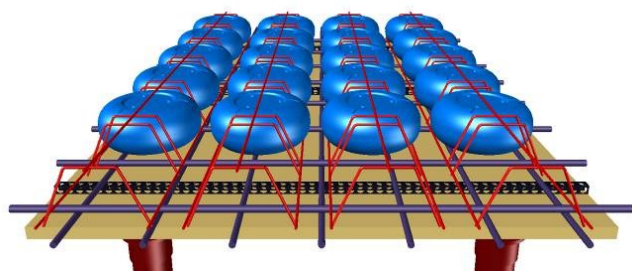
Figura 24 - Proceso de ensamblaje y almacenamiento del material



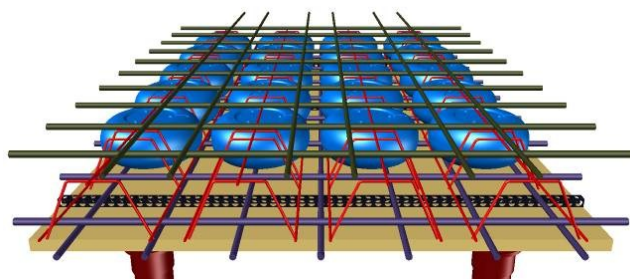
La ejecución de un forjado COBIAx CBx respeta íntegramente los mismos principios y procedimientos del montaje de un forjado macizo, colocándose y fijándose las celosías directamente sobre la armadura inferior. Cabe señalar, además, la particularidad de que estas sirven de apoyo a las armaduras superiores, evitando las habituales “sillas” de los forjados macizos.



Ejecución de tablero continuo, colocación de calzos para recubrimiento y armadura inferior

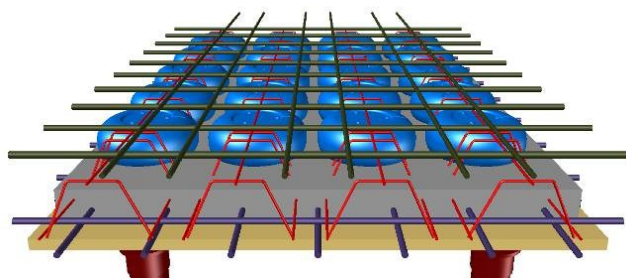


Colocación de las celosías COBIAx CBx directamente sobre la armadura inferior, fijación con 2/3 nudos por celosía

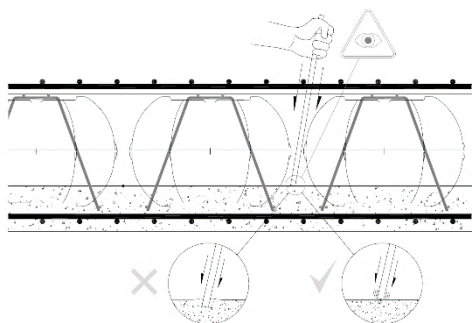


Colocación de la armadura superior sobre las celosías COBIAx CBx

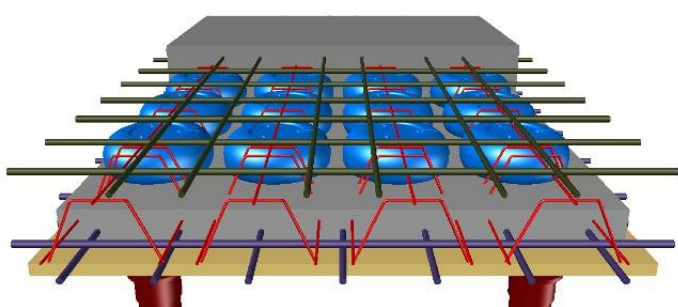




Hormigonado de la 1.ª fase, hasta 1/3 del canto, anclando las celosías COBIAx CBX



Verificación de la 1.ª fase de hormigonado del forjado



Hormigonado de la 2.ª fase, 1 a 2 horas después de la 1.ª fase, acabado del forjado



