

ESTUDIO Y ANÁLISIS DE SISTEMA INDUSTRIALIZADO DE LOS PANELES PARA CERRAMIENTOS EXTERIORES SPANS.

Consideraciones de optimización del proceso constructivo.

Trabajo Final de Grado

Diciembre 2016

Autor: Gleb Yakushev

Tutores académicos: Prof. Dr. Luis Palmero Iglesias

Prof. Dra. Graziella Bernardo

Escuela Técnica Superior de Ingeniería de la Edificación



Dedicatoria y agradecimiento

En primer lugar:

*Quisiera agradecer a mi tutor director académico **prof. Dr. Luis Palmero Iglesias** y a mi co-directora académica de Italia **prof. Dra. Graziella Bernardo** de la Univesità degli Studi della Basilicata, Italia por apoyarme durante la elaboración de este trabajo y darme los oportunos y valiosos consejos para la consecución del presente trabajo final de grado.*

*Asimismo, También quiero agradecer al equipo de las empresas “**Simplex ZMI**” (Rusia) por el apoyo técnico facilitado y “**B y D 3D**” en representación de mi amigo Carlos Alexandre por ayudarme con la fase del escaneo láser 3D.*

*Este trabajo académico igualmente se lo quiero dedicar **a mi padre**, a quien agradezco por el compartir conmigo el trabajo de su vida y confiar en mí como en continuador en la actividad principal de su negocio.*

Resumen

A día de hoy, el sector de construcción está en un proceso de recuperación tras una crisis inmobiliaria – financiera que produjo un barrido completo del mismo. Los profesionales del sector, nos hemos dado cuenta de que existe una necesidad de cambiar los métodos de construcción y optimizar tanto los procesos de organización y gestión de proyectos, como procesos de construcción a pie de obra.

Un elevado coste de las obras y necesidad de un gran número de los medios para su realización suponen una baja eficacia y rentabilidad de los proyectos de edificación y hace que el sector sea muy poco flexible en todos sus sentidos.

Por todo lo anterior, y con una intención de mejorar tecnológicamente el sector de construcción se ha realizado el presente trabajo académico para dar a conocer un nuevo sistema de construcción industrializada de los cerramientos exteriores de los edificios. Para ello se ha llevado a cabo un estudio de aplicación del dicho sistema así, como un análisis de sus componentes y características del conjunto del sistema. Asimismo, se ha analizado una nueva metodología que incluye procesos de simulación, fabricación e instalación del sistema modular de los cerramientos exteriores.

Palabras clave:

- Industrialización
- Prefabricación
- Optimización de procesos constructivos
- Construcción modular
- Sistema de cerramientos exteriores
- Eficiencia y eficacia en construcción

Abstract

Nowadays, Spanish construction industry is in the process of recovery after a financial crisis, also known as the “Great Recession in Spain” or the “Great Spanish Depression” that produced a complete purge of construction sector. As the professionals of the sector, we have realized that there is a need to change the methods of construction and optimize both the processes of organization and management of projects, as well as the construction processes on site.

A high cost of the works and the necessity of a great number of auxiliary means for its realization suppose a low efficiency and profitability of building projects and makes the sector non-flexible in all senses.

For all of the above, and with an intention to technologically improve the construction sector, the present academic work has been carried out to make known a new system of industrialized construction of the external enclosures of buildings. For this purpose, a study of the application of the mentioned system has been carried out, as well as an analysis of its components and characteristics of the whole system. Also, a new methodology has been analyzed which includes simulation processes, manufacture and installation of the modular system of external enclosures.

Keywords:

- Industrialization
- Optimization of construction processes
- Modular construction
- System of external enclosures
- Efficiency in construction

ÍNDICE

Capítulo 1. Prefabricación e industrialización	10
1.1. Antecedentes	11
1.2. Industrialización versus Prefabricación	11
1.3. Evaluación de la construcción industrializada	14
1.4. Las ventajas e inconvenientes de la prefabricación / industrialización	24
1.5. Precedentes de los nuevos sistemas de paneles industrializados para cerramientos.	26
1.6. Grado de industrialización actual en España	45
Capítulo 2. Marco normativo	50
2.1. Normativa de aplicación	51
2.2. Marco legal europeo	51
2.3. Marco legal nacional	53
2.4. Código Técnico de Edificación	54
2.5. Normas Tecnológicas de Edificación.....	60
2.6. Normas UNE relativas a la solución de paneles industrializados SPANS™	61
Capítulo 3. Estudio de proceso de trabajo y ventajas del sistema SPANS	62
2.7. Introducción	63
2.8. Metodología de trabajo	64
2.9. Estudio detallado de los componentes y características de los paneles SPANS™	85

Capítulo 4. Análisis de las ventajas del sistema SPANS™	144
4.1. Análisis DAFO (Debilidades, Amenazas, Fortalezas, Oportunidades)	145
4.2. Reducción de los plazos de construcción	155
4.3. Aspecto de seguridad y salud aplicable	155
Conclusiones y futuras líneas de investigación	166
5.1. Conclusiones de trabajo realizado.....	167
5.2. Futuras líneas de investigación	171
Bibliografía	173
Relación de referencias fotográficas y tablas normativas	175
Anexo de fichas justificativas	183

Introducción

1.1. Objetivos

El objetivo principal del presente trabajo es de (re)presentar un sistema revolucionario de construcción de los cerramientos exteriores con los paneles de alto grado de industrialización SPANS™¹ y proponer al avance constructivo en el sector de la edificación en España.

Se estudiará la evolución de la construcción industrializada y grado de industrialización de la construcción en España, así como el producto de los paneles SPANS™ capaces de revolucionar el sector de la construcción y cambiar la metodología de la planificación y actuaciones en las obras optimizando los recursos de distinta naturaleza (recursos humanos, económicos, etc..)

Se pretende dar de conocer un producto innovador en el mercado, sus características técnicas, sus ventajas en comparación con sistemas tradicionales (convencionales) de la construcción de los cerramientos de los edificios, así como, las metodologías de trabajo del grupo de empresas Simplex².

1.2. Motivación

En relación a obra nueva

Una de las opiniones más habituales en el sector de la construcción en España consiste en la imposibilidad de realizar dos obras idénticas y se argumenta dicha opinión por las características del sector y procesos constructivos. Muchos profesionales intentan mejorar la situación

¹ SPANS (Simplex Panel System) – Tecnología de construcción industrializada

² Grupo de empresas Simplex – Grupo de empresas originado en Rusia y dedicado al desarrollo y propia fabricación de las nuevas tecnologías y nuevos sistemas constructivos en ámbito del sector de construcción.

mediante aplicación de las óptimas técnicas de organización y *management* en la obra. Sin embargo, el sector se queda demasiado artesanal para nuestros tiempos y la mejor opción para revolucionar el sector y corregir los errores y problemas actuales es cambiar, o, mejor dicho, actualizar las bases de construcción actuando sobre las raíces de los mismos, según la opinión del autor.

Pasada la burbuja inmobiliaria y la crisis económica en España, se puede comparar las edificaciones y los métodos convencionales con la construcción de los “*castillos de arena*”. El mismo trabajo artesanal que depende de la profesionalidad del “*maestro*”, su estado de ánimo, y muchos factores externos. Así, dos “*castillos de arena*” nunca parecerán uno al otros y nunca tendrán las mismas características deseadas y exigibles.

En tiempos actuales los “*castillos de arena*” no pueden seguir construyéndose puesto que nuestras exigencias en cuanto al confort y calidad de las edificaciones se ven incrementado cada vez más. El sector de la construcción debe hacer un paso tecnológico para conseguir las exigencias de los clientes y optimizar los procesos constructivos y la mejor solución es apostar por el desarrollo de los sistemas industrializados de construcción y eficiencia energética desde el punto “*O*” de cualquier edificación. Para ello, se debe empezar por la comprensión de la necesidad y ventajas que aportan nuevos sistemas respecto a los tradicionales.

En relación a obras interrumpidas

Hoy en día, otro de los problemas más preocupantes del sector de la construcción está a la vista de todos. Son las estructuras desnudas del hormigón armado, a veces ni siquiera terminadas, que perjudican gravemente la estética de las ciudades. Sus niveles de seguridad atacan psicológicamente las ideas del futuro que *nunca llegó*. Al mismo tiempo, estas estructuras, año tras año, sufren ataques del medio ambiente, altamente agresivo en la zona de la costa por no reunir el hormigón

preparado para estar expuesto a la intemperie. Sus funciones estructurales debían realizarse en unas condiciones seguras con las garantías de la protección contra el ambiente marino. Con la consecuencia de la exposición de estos elementos a la intemperie y falta de mantenimiento, muchos de nosotros, hemos contemplado los lamentables deterioros de las estructuras de los edificios, las cuales influyen negativamente sobre la seguridad de los habitantes próximos a estas obras.

Por otro lado, en la época de la “revolución” del sector de la construcción, la primera tarea más importante a realizar sería terminar las estructuras paradas reanudando las obras. Teniendo en cuenta que, la mayoría de las obras se empezaron en los años cuando las exigencias en la construcción (confort térmico, salubridad e higiene, la eficiencia energética) eran mínimos y siguen vigentes sus licencias de obras, no podemos dejar que estos edificios, hoy en día, sean incompatibles con las necesidades de sus ocupantes.

1.3. Conclusión

La crisis actual es un buen momento para resumir el pasado e intentar coger una nueva dirección que regenere y consolide el sector de la construcción acorde a las necesidades del país. El grado de reciclado y reutilización también será cada vez un aspecto diferenciador de los distintos sistemas industrializados.

Para poder conseguir el mejor resultado en menor plazo posible y no dejar aparte los conceptos de eficiencia energética y para motivar el desarrollo de la industrialización de la construcción en España - se desarrolla la idea de este trabajo para llegar al objetivo descrito.

Capítulo 1. Prefabricación e industrialización

“Como la lengua de Esopo, la industrialización del edificio puede ser la mejor o la peor de las cosas. Según el camino que sea tomado, conducirá a la arquitectura hacia nuevos horizontes o a la precipitación en la más baja de las mediocridades.”

J. Balladur³

³ Jean Balladur (11.05.1924 – 15.06.2002) – arquitecto francés, autor del proyecto “*La grande pyramide de la Grande-Motte*”.

1.4. Antecedentes

Para empezar, trataremos de aclarar unos conceptos esenciales, los que servirán de apoyo para el presente trabajo.

“Industrialización de la edificación, significa el proceso de transformación estructural que ha experimentado, con la industrialización, el sector de la edificación en todos sus niveles de actividad. Se puede caracterizar este proceso como una evolución del sector de la construcción.”⁴

Enrico Mandolesi⁵

El término de *la prefabricación* habitualmente indica el método de realización de los elementos constructivos funcionales, ya sea en taller o a pie de obra, para ser trasladados posteriormente para su instalación (montaje).

1.5. Industrialización versus Prefabricación

Desde hace mucho tiempo los términos de *industrialización* y *prefabricación* suelen utilizarse impropriamente y se siguen confundiendo hoy en día. Veamos las diferencias.

“Prefabricación – sistema constructivo en producción de componentes y subsistemas elaborados en serie en una fábrica fuera de su ubicación final y que, en su posición definitiva, tras una fase de montaje simple,

⁴ Extracto de MANDOLESI, E.; “Edificación. El proceso de edificación. La edificación industrializada. La edificación del futuro”; Editorial: Ediciones CEAC, Barcelona, 1992

⁵ Enrico Mandolesi – arquitecto italiano. Autor del libro “Edificación. El proceso de edificación. La edificación industrializada. La edificación del futuro”.

precisa y no laboriosa, conforman el todo o una parte de un edificio o construcción.”

Valen Gómez Jáuregui⁶

Si se trata de una construcción mediante elementos o sistemas prefabricados entonces las operaciones se reducen de la elaboración hasta las esenciales de montaje. Para comprobar el grado de prefabricación solo haría falta valorar la cantidad de residuos generados en la obra. Es decir, si se aprecia mayor cantidad de residuos y escombros a pie de obra – el grado de prefabricación de la obra es menor.

A pesar de la connotación actual de muchos profesionales y agentes del proceso edificatorio en cuanto a los edificios construidos con sistemas prefabricados asimilándolos a los edificios provisionales, la prefabricación conlleva en la mayoría de los casos un aumento considerable de la calidad, perfeccionamiento y seguridad.

Por otro lado, el término de industrialización tiene significado similar pero no igual.

Industrialización – la producción mecanizada y automatizada de los elementos y sistemas constructivos funcionales en las condiciones de las factorías especializadas empleando materiales, medios de transporte y técnicas mecanizadas en serie para obtener mayor productividad y optimizar los recursos; la producción mecanizada integral de los trabajos de construcción y montaje para el levantamiento de los edificios y construcciones.

La industrialización de la edificación es la base del progreso tecnológico en el sector de la construcción, la condición fundamental para la mejora

⁶ *Valen Gómez Jáuregui* – ingeniero de caminos, Master en arquitectura, miembro del grupo de investigación EGICAD sobre métodos de diseño y análisis asistidos por ordenador CAD/CAE

del factor técnico-económico del funcionamiento de una organización del sector de construcción.

Un sistema prefabricado no siempre puede ser industrializado a la vez. Por ejemplo, los elementos de gran formato de hormigón conformados en un taller a pie de obra sin duda tienen carácter del sistema prefabricado, pero es difícil llamarlo industrializado por no ser automatizado, en serie o cadena, con escasa mano de obra o de gran productividad.

En la edificación industrializada existen dos principales sistemas: cerrados (sistema de modelos) y abiertos (sistema de elementos).

Edificación industrializada cerrada (sistema de modelos) se caracteriza principalmente por la imposibilidad de intercambio de los elementos constructivos funcionales entre distintas obras. Es decir, los elementos constructivos se fabrican según y para un proyecto definido y son totalmente personalizados para este proyecto. De la misma manera, este hecho da lugar a imposibilidad de utilización de los elementos constructivos de distintas marcas en la misma obra. Como ejemplo se puede nombrar los grandes paneles prefabricados de hormigón, sistemas tridimensionales (pesados y ligeros), sistemas de encofrado-túnel.

Edificación industrializada abierta (método de elementos) se caracteriza por la intercambiabilidad de los elementos componentes del edificio con la posibilidad de aplicación en un mismo edificio los elementos de distintos fabricantes dado que cada vez las uniones son más universales. Generalmente, se trata de los sistemas de cerramientos, tabiques prefabricados, estructuras industrializadas, elementos de forjados y de instalaciones.

La idea de la edificación industrializada consiste en optimizar el proceso edificatorio en todos sus niveles.

1.6. Evaluación de la construcción industrializada

Algunas soluciones convencionales conocidas en construcción ligadas, principalmente a los oficios como por ejemplo la albañilería, se han conservado en muchos países y una gran cantidad de edificios singulares son absolutamente “impermeables” a los cambios tecnológicos en el sector. Desde la recuperación de la construcción en el periodo de posguerra el sistema poco desarrollado (caso del modelo español) se viene arrastrado por el masivo empleo de la mano de obra sin cualificación. Pero en los últimos 20 años se puede apreciar una verdadera invasión de las patentes de invenciones y modelos de utilidad y, hoy en día, los técnicos reconocemos que el sistema de la construcción tradicional es sencillamente un fenómeno a superar.

La industria europea se inclinó hacia las soluciones de hormigón armado y los sistemas basados en este material para la gran demanda de edificios residenciales tras la Segunda Guerra Mundial. Así se inició el proceso de desarrollo de diferentes técnicas constructivas desde los encofrados túnel, a los paneles portantes (resistentes) o de fachada (cerramiento), o la generalización del pretensado.

En antigua Unión Soviética, durante el periodo de posguerra, el gobierno se vio obligado a experimentar la industrialización de la edificación ante una necesidad emergente de las viviendas. Así se desarrollaron los edificios residenciales llamados Jruschovki⁷ (ruso: Хрущевки) que sirvieron de gran avance tecnológico en la industrialización de la

⁷ Jruschovki – tipología de edificios desarrollados en Unión Soviética en periodo postguerra caracterizados por alto grado de prefabricación y menor plazo de ejecución en comparación con métodos conocidos por el momento. Las jruschovki en seguida mejoraron las condiciones de vida en la URSS. “*Jruschovki*”, al igual que otra tipología llamada “*Stalinki*”, representan uno de los símbolos de arquitectura soviética.

edificación. En el desarrollo del sistema industrializado de construcción con paneles prefabricados participaban los mejores ingenieros soviéticos y franceses (el ingeniero francés y desarrollador del método de construcción con paneles prefabricados, Raymond Camus, vino tres veces a Moscú por la invitación especial del gobierno de la Unión Soviética donde firmó contrato del suministro de sus líneas de producción de los paneles para construcción).

El método de construcción de los edificios “*Jruschovki*” consistía en proyectos de la construcción masiva contando con los edificios tipo empleando la solución constructiva de los paneles resistentes de hormigón armado. Uno de estos edificios, K-7⁸, se caracterizaba por su bajo coste y sencillez – las dimensiones mínimas de las viviendas y ausencia del sótano (se construía un semisótano para servir de espacio de mantenimiento del edificio). En cambio, el edificio era extremadamente sencillo para los fabricantes, se componía como una estantería y se montaba por el método en seco. La composición de K-7 se limitaba por 20 diferentes tipos de elementos. Los resultados alcanzados han sido alumbantes – un edificio de 5 plantas y 4 portales (secciones) se construía en 12 días laborales.

⁸ K-7 – Código distintivo de una serie de edificios basados en el mismo proyecto. Los edificios K-7 han tenido su fama por la rapidez de ejecución.



Fig. 1. Construcción de un edificio de viviendas de la serie K-7. Fuente: <http://76-82.livejournal.com/3837677.html> Fecha de consulta: 12.02.2016

Alemania sufrió el mismo problema y por lo tanto las técnicas de construcción y las soluciones aprobadas tenían también el enfoque a la construcción industrializada con aplicación de los paneles de hormigón armado como principal componente.



Fig. 2. Edificios industrializados en Plattenbau, Magdeburg (1965). Copyright: railasia, Fecha de consulta: 12.02.2016

En cualquier caso, nuestra forma de construir conducirá inevitablemente hacia niveles superiores de la industrialización, reduciendo tiempos de ejecución, realizando mayor número de operaciones en condiciones de fábricas y mejorando la calidad y su correspondiente control. Esta evolución debería producirse tanto en sistemas de estructuras, estimulando su montaje “en seco” y recuperación de los elementos constructivos en mayor medida, como en los diferentes sistemas de cerramientos, particiones e instalaciones y garantizar la compatibilidad entre los diferentes sistemas.

Por otro lado, nuestra forma actual de operar a base de “productos *standard*” supone una limitación significativa al diseño de los edificios, al desarrollo de los sistemas constructivos y los procesos de montaje, y en

general a la capacidad de la industria. Desgraciadamente, el control de costes es, casi siempre, determinante en el desarrollo de los sistemas industrializados. Por lo tanto, un sistema empieza a sufrir una reducción de la oferta tecnológica como ha ocurrido en aquellos campos que ofrecen los productos *standard*, caso de hormigón prefabricado. Lo mismo ocurre con los sistemas de fachadas que representan hoy en día una tremenda reducción de soluciones en comparación con los paneles “integrales y a la medida”.

La solución más apoyada por un gran número de los arquitectos e ingenieros de cierta relevancia consiste en la producción de los edificios en serie. Este método refleja la característica esencial de la industria: producir en serie automóviles, aviones o agujas⁹, trabajar sobre modelo base mejorándolo y optimizándolo.

“*No hay sistemas generales, sino tecnologías*”. Esta visión posee sus antecedentes en la construcción industrializada como, por ejemplo, los proyectos de Jean Prouvé¹⁰ y Richard Buckminster “Bucky” Fuller¹¹.

⁹ En este texto se utiliza el término “agujas” refiriéndose a la revolución industrial y una introducción de la fabricación de agujas de coser en serie.

¹⁰ Jean Prouvé (8.04.1901 – 23.03.1984) - arquitecto, constructor, herrero, diseñador e ingeniero francés. Uno de los principales pioneros de la construcción industrializada.

¹¹ Richard Buckminster “Bucky” Fuller (12.07.1895 – 01.07.1983) – arquitecto e inventor estadounidense. Conocido, entre otros méritos, por la invención del concepto “*Dymaxion*” (*Dynamic Maximum Tension*) refiriéndose a obtener el máximo de cada material o sistema. Así se creó uno de sus proyectos conocidos “*Casa Dymaxion*” para corregir muchos fallos en las técnicas de construcción existentes. La palabra “*Dymaxion*” es una marca de Fuller.

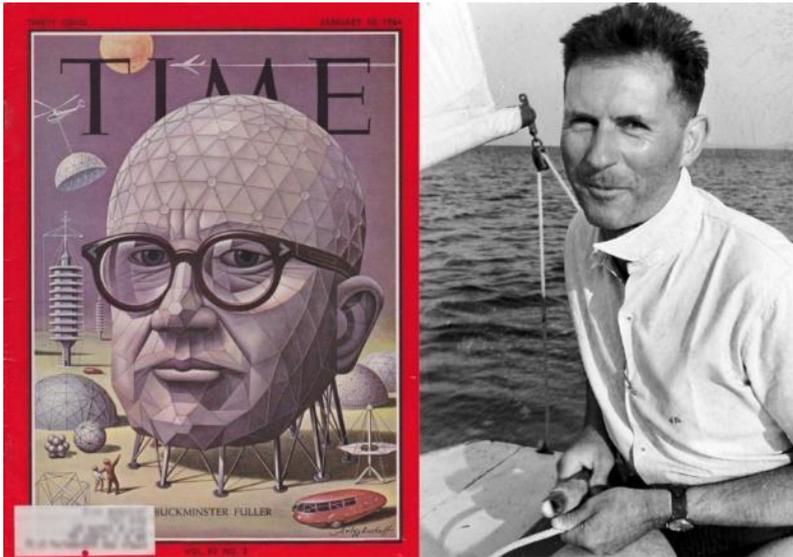


Fig. 3. Portada de la revista "TIME " con la ilustración de Richard Buckminster "Bucky" Fuller (a la izquierda) y la fotografía de Jean Prouvé (a la derecha).

En las obras de la unión ideológica del Prouvé y Fuller se puede ver claramente que el impactante nivel técnico es debido al hecho de proponerse la industrialización total de un edificio y no un sistema genérico.



Fig. 4. Buckminster Fuller, Dymaxion House , 1945 – 1946



Fig. 5. Jean Prouvé, Casas industrializadas tipo “Metrópolis ”, Meudon (1950-1952)

El planteamiento basado en la materialización del edificio como unidad se ha experimentado también en edificios de mayor envergadura, sobre todo en inmueble colectivo. Los edificios como “Habitat” de M. Safdie y la “La Unité d’Habitation” de Le Corbusier entre otros, se basaban en la prefabricación de las células de habitaciones completas para formar posteriormente una unidad del edificio residencial.



Fig. 6. Edificio “La Unité d’Habitation” de Le Corbusier (1947 - 1952)



Fig. 7. Proceso constructivo de Habitat 67. Fuente: Laboratorio de la vivienda sostenible. Barcelona, 2008



Fig. 8. Edificio “Habitat” de M. Safdie (1967) Fuente:

http://www.architravel.com/architravel_wp/wp-content/uploads/2013/05/habitat-67_2.jpg (8.03.2016)

Sin embargo, cada obra de edificación sigue siendo individual y la producción de edificios no puede ser comparada con la producción en cadena de algún producto. Por lo tanto, la industrialización en la edificación trata de reducir los trabajos manuales in situ produciendo los elementos constructivos funcionales en condiciones del taller. Para ello existen diferentes tecnologías o, mejor dicho, metodologías que complementan a las otras o, al revés, sustituyen.

1.7. Las ventajas e inconvenientes de la prefabricación / industrialización

Los elementos prefabricados / industrializados presentan una serie de **ventajas** respecto a los sistemas tradicionales, que pueden sintetizarse en:

- a) Facilitan la labor del proyecto, en especial en la resolución de detalles;
- b) Mejora de la calidad de los trabajos efectuados mecánicamente o con sistemas automatizados en comparación con los manuales;
- c) Mejor aprovechamiento de las secciones resistentes: Partiendo de que un elemento obtenido en fábrica es superior en calidad y de características más homogéneas que el producido “*in situ*”, los coeficientes de minoración de las resistencias suelen ser menores para éste que para el realizado sin apenas vigilancia ni medios. Los medios para prefabricación o industrialización y nuevos sistemas de fabricación junto con los equipos de nueva generación permiten adoptar las secciones más adecuadas para la forma en que van a trabajar los elementos;
- d) Facilidad a la hora del control de calidad;
- e) Construcción prácticamente independiente y sin problemas aparentes en la puesta en obra, ya que la pieza o edificación se realiza exenta de peligro de cambio repentino y brusco de temperatura, de las heladas o acción solar;
- f) Ahorro aproximado de un 20% en la mano de obra (equivale a 10% del coste total de obra) en caso de los elementos de hormigón prefabricado. En actualidad este valor se ve incrementado considerablemente;
- g) Planificación de los trabajos en serie, puesto que su estudio permite una fabricación previa y continua de los elementos y montaje posterior sin solución de continuidad;

- h) Aumento general de rendimiento, al no tener que esperar a algunas fases anteriores de obra como, por ejemplo, fraguado de hormigón;
- i) Movimiento mínimo de materiales y transportes, ya que se realiza estrictamente el de los elementos o piezas que constituyen la obra;
- j) Favorable repercusión en la economía;
- k) Se necesitan menos juntas de dilatación (en algunos casos, en fachadas, por las propias características de componentes no se necesitan las juntas de dilatación) que en la construcción tradicional;
- l) Posibilita la recuperación de la mayor parte de piezas y elementos en ciertos desmontajes;
- m) Desaparecen casi totalmente los andamios y encofrados.

Desgraciadamente, el mundo aún no conoce sistemas perfectos que no tengan ningún **inconveniente**. Y la prefabricación / industrialización de los elementos para construcción tiene los suyos:

- a) Requiere un análisis especial y de forma muy precisa para las zonas sísmicas ya que en este tipo de construcción falta monolitismo en la construcción;
- b) Problema de resolución de las juntas en caso de hormigón prefabricado;
- c) Hay que sobredimensionar ciertos elementos pensando en posibles posiciones o acciones desfavorables durante el transporte y montaje (en mayor medida en caso de hormigón prefabricado);
- d) El hormigón siendo material idóneo para la prefabricación por su aspecto dimensional, dado que puede ser calculado y controlado en su proceso de industrialización, la propuesta objeto de este trabajo tiene una ventaja importante respecto a este, que es el peso ya que, por este cometido resulta de mayor eficacia y optimización en el proceso constructivos.

1.8. Precedentes de los nuevos sistemas de paneles industrializados para cerramientos.

La idea de emplear los paneles prefabricados para la edificación nació mucho antes de lo que pensamos. Quizás uno de los primeros precedentes se remonta al siglo XVI cuando durante la guerra entre los franceses e ingleses, el ejército de Francisco I construía los pabellones de madera prefabricados para albergar a los soldados durante ofensiva. Los elementos prefabricados se transportaban fácilmente por el barco y permitían el desmontaje y montaje muy rápido con ayuda de los propios soldados y proporcionaba gran agilidad para los desplazamientos.¹²

Sin embargo, los primeros paneles prefabricados para la edificación, por supuesto en hormigón en masa, fueron planteados por C.H. Lascelles¹³ en el año 1875. Desgraciadamente, la idea de Lascelles y sus seguidores ingleses se pierde para los finales de XIX y no aparece hasta los años 40-50.

Desde los principios del desarrollo de la prefabricación de los paneles de fachada, estos generalmente se fabricaban de hormigón y no contenían ningún tipo de aislamiento ni acabado interior ni carpintería obligando realizar el resto de trabajos relacionados con los cerramientos en la propia obra. De hecho, este sistema sigue siendo muy utilizado en España y representa un paso medio de la construcción tradicional a la construcción prefabricada aplicando las soluciones mixtas.

Hasta hace poco, el hormigón se consideraba como el material perfecto para la prefabricación de los elementos funcionales de construcción, por

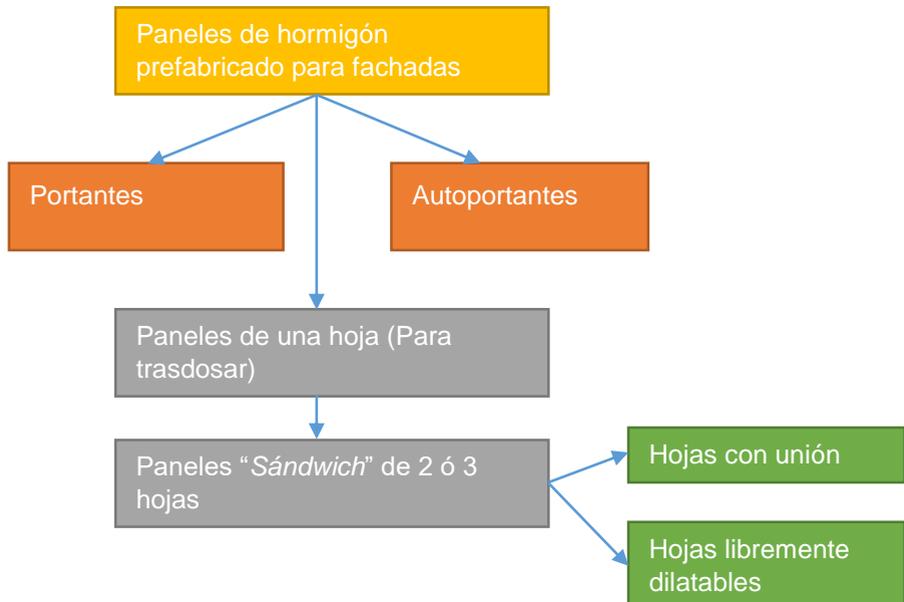
¹² Información extraída de: BENDER R.; *“Una visión de la construcción industrializada”*, ISBN 84-252-D636-7; Editorial Gustavo Gill S.A., Barcelona, 1976.

¹³ C.H. Lascelles - ; Se refiere a la tecnología...

su capacidad de ser moldeado, resistente a fuego y con buenas características mecánicas. Sin embargo, con el paso de tiempo y debido a una velocidad extrema de desarrollo tecnológico, a día de hoy disponemos de una gran variedad de los sistemas prefabricados / industrializados, los cuales aportan soluciones y materiales totalmente distintos al hormigón, convirtiendo a este en “uno de tantos”.

1.8.1. Tipos de paneles de hormigón

Los paneles de hormigón, generalmente, se puede distinguir según el siguiente esquema:



Paneles portantes

Los paneles de hormigón portantes contribuyen en la transmisión de las cargas del conjunto de edificio. Es decir, reciben las cargas verticales de los forjados superiores y las transmiten al resto de elementos situados más abajo. El funcionamiento del sistema de paneles portantes se puede asociar a los muros de carga, puesto que todas las cargas verticales y horizontales se transmiten a través de estos hasta llegar a la cimentación y, posteriormente, transmitirse al terreno.

Una de las principales desventajas de los paneles portantes es la estabilidad del edificio en caso de sismo.

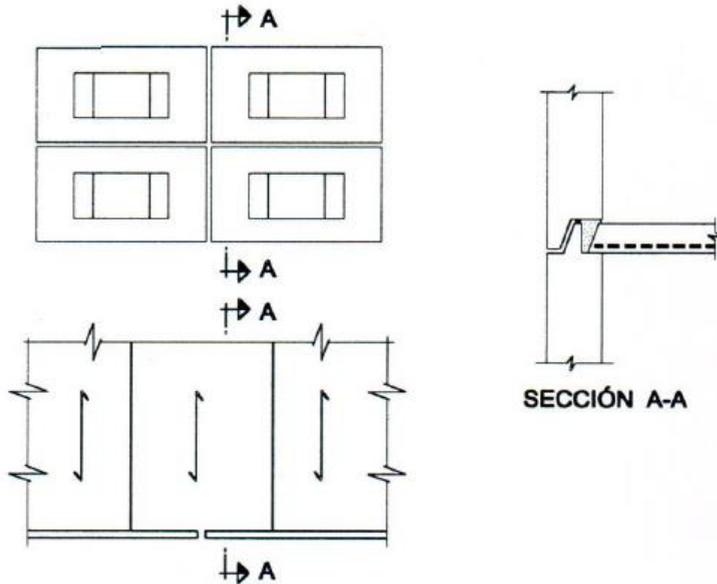


Fig. 9. Paneles prefabricados portantes de hormigón armado. Fuente: CALAVERA RUIZ J. y FERNANDEZ GÓMEZ J.; "Prefabricación de edificios y naves industriales", Monografías INTEMAC¹⁴.

¹⁴ INTEMAC – Instituto Técnico de Materiales y Construcciones.

Paneles autoportantes

Como bien indica su nombre, los paneles autoportantes, aparte de servir como una envolvente térmica del edificio, tienen una única función de aguantar su propio peso, el de la carpintería y de los acabados. Es cierto, pero no del todo. Como se observa en la figura 10, la especifica de los métodos de instalación y de los tipos de uniones causa que cada panel, aparte de aguantar su propio peso, debe aguantar todos los paneles superiores a este. De este modo, los paneles más bajos deberán aguantar todos los demás componentes de la envolvente en general lo que requiere las características especiales para tal fin.

Como una ventaja se puede destacar la posibilidad de ser eliminado un panel de forma fácil sin afectar sobre el conjunto del edificio.

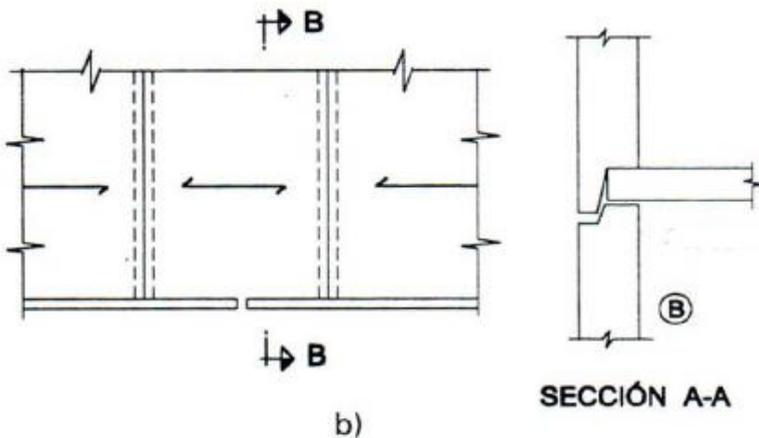
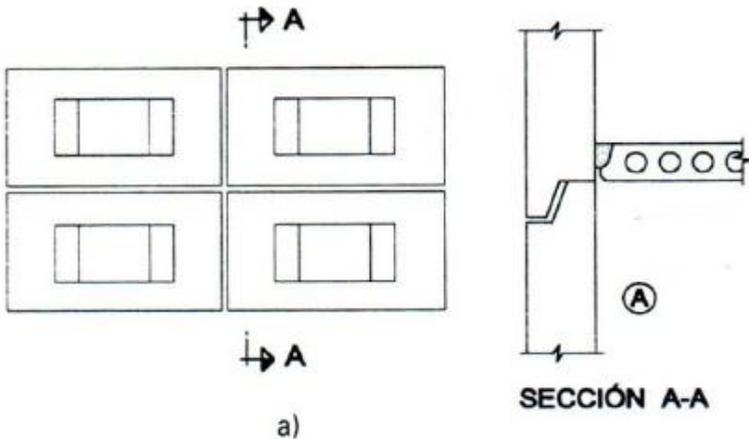


Fig. 10. Paneles prefabricados autoportantes de hormigón armado. Fuente: CALAVERA RUIZ J. y FERNANDEZ GÓMEZ J.; "Prefabricación de edificios y naves industriales", Monografías INTEMAC

Paneles de una hoja

Es la solución más habitual y la más simple, pero no es la mejor puesto que se necesitan los trabajos adicionales después de su instalación que impiden una optimización correcta de los recursos y procesos en la construcción. La cara interior de los paneles se prepara de tal manera que permita la incorporación del aislamiento térmico “in situ” antes de su trasdosado.

Paneles sándwich de dos hojas

Estos paneles consisten en una hoja portante de hormigón y una capa de aislamiento térmico incorporado en el taller. Al igual que la tipología anterior, necesitan trabajos adicionales después de su instalación con una diferencia – la capa resistente de hormigón se ubica en la parte interior del panel sirviendo así de la barrera de vapor. Después de la instalación, los paneles deben ser tratados por la cara exterior con un hormigón arquitectónico.

Paneles sándwich de tres hojas con uniones rígidas

Hoy en día la solución de paneles sándwich es la más habitual, pero dependiendo de su tipo puede ser óptima o no. Los paneles de tres hojas con uniones rígidas son los elementos monolíticos de hormigón armado que en su mayor parte de la superficie contiene en su interior el aislamiento térmico. La mayor desventaja de este tipo de paneles sándwich es que presentan un número elevado de puentes térmicos, puesto que las uniones entre las dos hojas de hormigón son homogéneas y rígidas. Son las zonas donde nos encontramos solo con un material que no posee las características de un aislante térmico – hormigón.

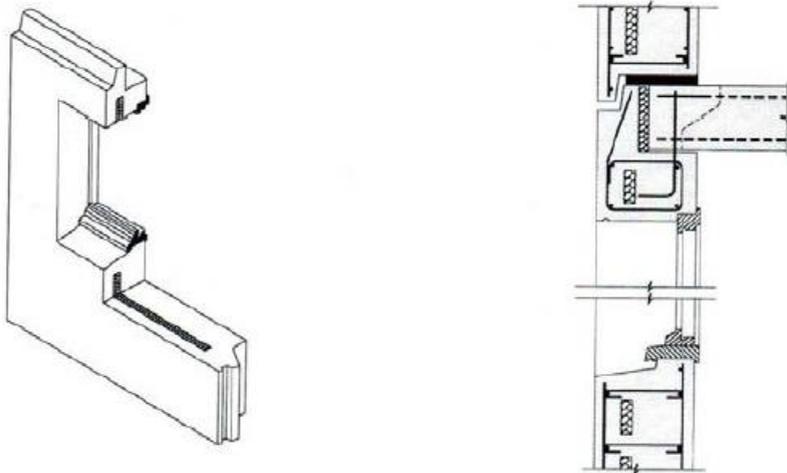
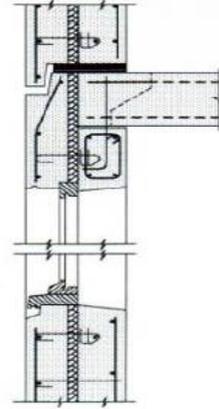
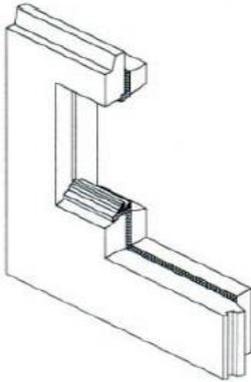


Fig. 11. Panel prefabricado de hormigón armado tipo sándwich con uniones rígidas. Fuente: INTEMAC.

Paneles sándwich de tres hojas libremente dilatables

La solución con las hojas libremente dilatables evita los puentes térmicos presentes en la solución anterior por no tener las uniones rígidas de hormigón. En este tipo de panel las dos hojas deben ser unidas por el sistema de los conectores interiores que cosen ambas partes de hormigón. La utilización de este tipo de unión entre las hojas exteriores dificulta la fabricación de los paneles y su posterior montaje a pie de obra. La disposición de los conectores generalmente se realiza de la siguiente manera:



*Fig. 12. Panel prefabricado de hormigón armado de tres hojas dilatables.
Fuente: INTEMAC.*

1.8.2. Paneles de GRC (ing. Glass Reinforced Concrete)

En actualidad, son los paneles de hormigón de más populares en el mercado. Tanta atención por parte de los técnicos del sector es debida a las características modificadas de hormigón prefabricado añadiendo al “microhormigón” un nuevo componente – fibra de vidrio dispersa en toda la masa de la mezcla. La fibra de vidrio aporta una característica importante para hormigón – resistencia a flexión lo que disminuye la fragilidad del hormigón convencional.

Algunos paneles de hormigón reforzado con fibra de vidrio se realizan con un armazón metálico y un sistema de anclajes que sirven de unión entre el dicho armazón y la hoja de hormigón.



*Fig. 13. Vista posterior de un panel de de GRC con un bastidor metálico.
Fuente: generador de precios CYPE¹⁵ .*

En la práctica, podemos ver que la tipología de este tipo de paneles prefabricados es de una hoja, por lo tanto requiere trabajos de aislamiento térmico y trasdosado interior del cerramiento aunque también existen paneles GRC tipo sándwich con aplicación de poliestireno expandido, paneles nervados para aplicaciones industriales, celosías, etc..

¹⁵ CYPE - un programa informático con amplio número de herramientas para ingeniería y construcción que, además, cuenta con los recursos online como “Generador de precios CYPE”



Fig. 15. Panel sándwich a base de hormigón GRC y aislamiento térmico de poliestireno. Fuente: GRC-Barcelona.



Fig. 14. Panel arquitectónico de GRC. Fuente: GRC-Barcelona.

1.8.3. Uniones

Existe una gran multitud de las posibles uniones para los sistemas de paneles prefabricados de hormigón debido a que cada fabricante diseña sus propios medios de uniones. Las uniones casi siempre se diseñan a medida de cada proyecto y, por lo tanto, esto da lugar a una variedad de las soluciones existentes en el mercado. Por su amplitud el tema de las uniones se analizará desde el punto de vista general y conceptual.

Uniones químicas y mecánicas

Normalmente, existen dos posibilidades de realizar la unión entre el paneles y soporte o entre los propios paneles que se basan en las acciones químicas (hormigonado de las juntas) o las uniones mecánicas (mediante un sistema de anclajes, también suele llamarse “en seco”). También, hoy en día, en el mercado existen las soluciones que combinan estos dos métodos básicos presentando las propias ventajas.

En caso de las uniones mecánicas se puede conseguir la perfecta colocación de elemento sin necesidad de los medios adicionales. Este método también implica un análisis dimensional y la correcta posición de los anclajes con la precisión requerida. A cambio, las uniones químicas presentan unas complicaciones a la hora de colocar el panel porque el método requiere unos medios como un elemento que realice la sujeción del panel en su posición exacta mientras se hace la conexión de la armadura y hormigonado.

Comparando estas dos soluciones se puede confirmar que la unión mecánica prevalece sobre la química por la facilidad de colocación, rapidez, así como su comportamiento frente a las acciones de sismo puesto que la unión mediante hormigonado queda no suficientemente rígida frente a las acciones horizontales y puede causar un colapso del sistema.

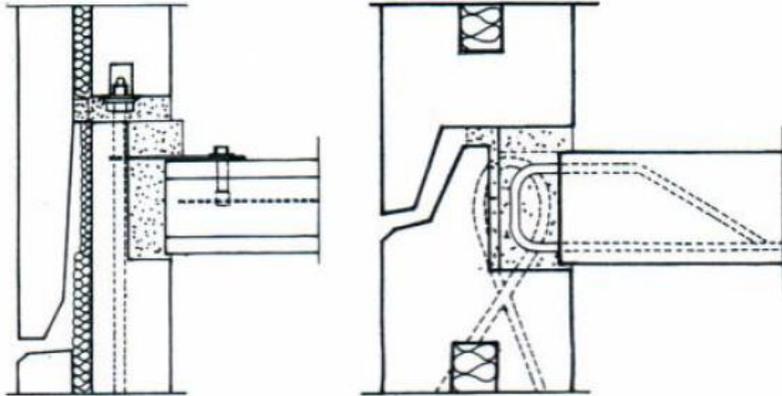


Fig. 16. Unión química entre paneles prefabricados de hormigón y forjados.
Fuente: CALAVERA RUIZ J. y FERNANDEZ GÓMEZ J.; “Prefabricación de edificios y naves industriales”, Monografías INTEMAC

Las uniones mecánicas se realizan con los anclajes o conectores metálicos que deben ser galvanizados o de acero inoxidable.

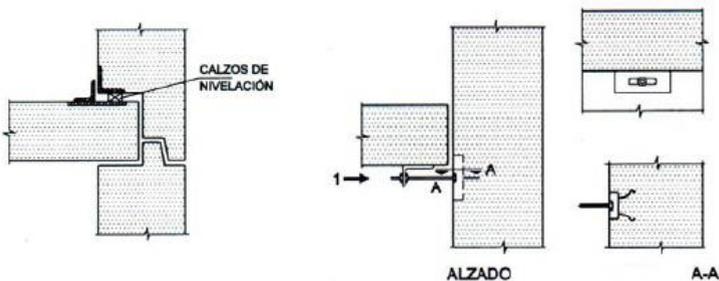


Fig. 17. Unión mecánica entre los paneles prefabricados de hormigón y forjados.
Fuente: CALAVERA RUIZ J. y FERNANDEZ GÓMEZ J.; “Prefabricación de edificios y naves industriales”, Monografías INTEMAC

Las uniones químicas de hormigonado deben realizarse con algún elemento de sujeción y nivelación como puede ser unas cuñas. Una vez sujetado el panel, se procede al relleno con un mortero.

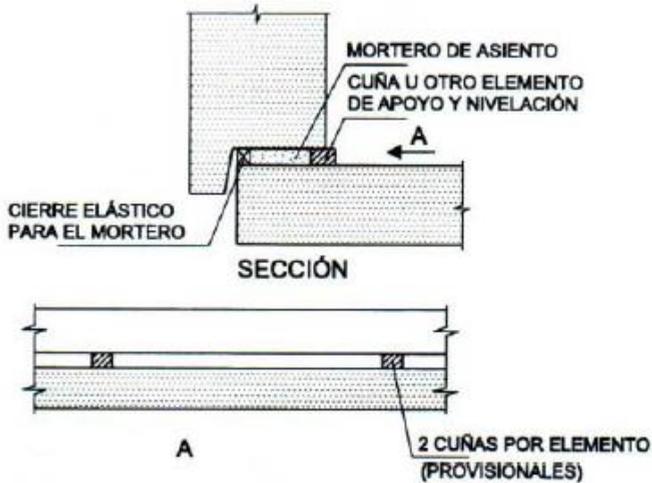


Fig. 18. Método de sujeción y nivelación de los paneles prefabricados de hormigón. Fuente: CALAVERA RUIZ J. y FERNANDEZ GÓMEZ J.; "Prefabricación de edificios y naves industriales", Monografías INTEMAC

Algunas uniones modernas



Fig. 19. Unión mecánica moderna entre los paneles de hormigón y estructura de edificio. Fuente: http://www.tecnyconta.es/archivos/sfproductos/149pilares-hormigon-paneles-atornillado_01.jpg Fecha de consulta: 03.03.2016



Fig. 20. Unión mecánica de apoyo entre paneles de hormigón y la estructura del edificio. Fuente:

<http://www.tecnyconta.es/index.php?sec=23&id=25&idS=150&idioma=>. Fecha de consulta: 03.03.2016



Fig. 21. La solución de la unión más habitual para paneles de GRC tipo sándwich. Fuente: <http://www.cimbrados.com/grc.html>. Fecha de consulta: 03.03.2016

1.8.4. Juntas entre paneles

Independientemente si el panel es portante o no, las juntas entre estos son esenciales por, más que nada, impermeabilidad al agua y viento y aspectos estéticos. Así mismo, las juntas deben garantizar una aceptable conexión entre los paneles sin volverse a ser unos puentes térmicos que perjudican el estado de la envolvente térmica.

Generalmente para los paneles de hormigón existen dos soluciones: sellado o un empleo de los perfiles metálicos (preferiblemente de acero inoxidable). En caso de las juntas horizontales la solución más habitual por las características de gravead es la de solapes entre el panel de arriba sobre el panel de abajo para garantizar el escurrimiento de agua por la fachada sin que acceda al interior.

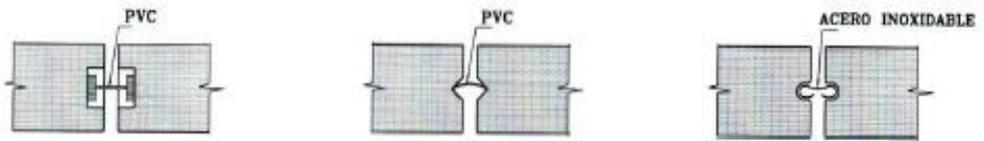


Fig. 22. Juntas con empleo de los perfiles metálicos o elementos plásticos. Fuente: Monografías INTEMAC

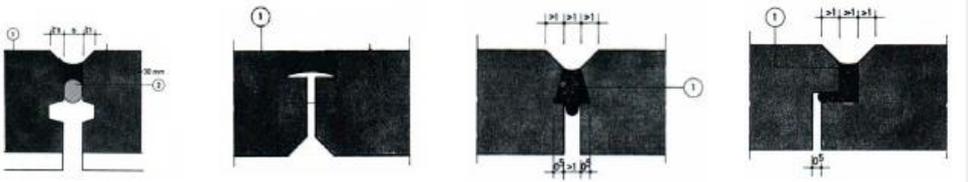
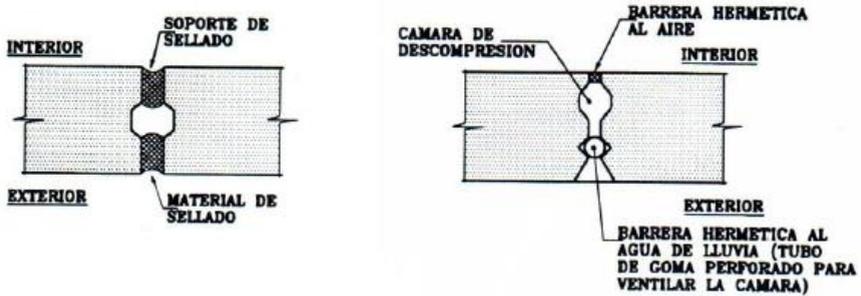


Fig. 23. Juntas con empleo a base de un material elástico. Fuente: Monografías INTEMAC

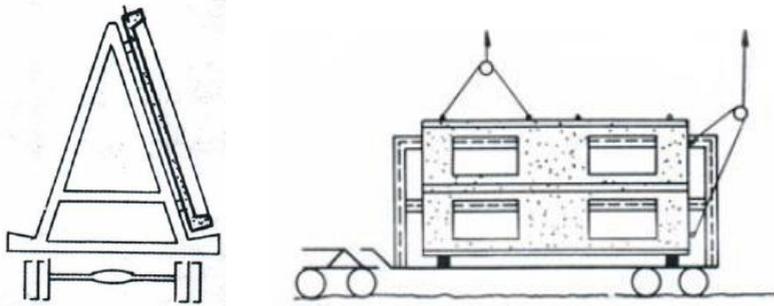
1.8.5. Transporte

El transporte de los paneles de hormigón prefabricado no suele permitir una gran capacidad por lo que el coste de transporte tiene una incidencia elevada en el coste del panel colocado. La transportabilidad de las piezas depende de distintos factores, entre los cuales podríamos señalar, unos inherentes a la pieza, como son sus dimensiones, forma, peso y otros - consecuencia de las vías de comunicación y los vehículos de transporte.

Los elementos de grandes dimensiones requieren plataformas de transporte especiales. Así para transportar unos cuantos paneles para su colocación se necesita disponer de los caballetes especiales en los vehículos como se indica en la imagen siguiente:

El transporte de los paneles se realiza, generalmente en posición vertical, apoyados lateralmente

en un caballete metálico y su borde inferior en madera o rastreles, con protecciones de goma o similar.



Como regla general, las piezas deben transportarse en la misma posición que posteriormente ocuparán en la obra. Sin embargo, limitaciones del gálibo, o para conseguir un buen aprovechamiento de la capacidad del vehículo de transporte, pueden hacer necesario colocarlas de otro modo.

Fig. 24. Sistema de transporte habitual de los paneles prefabricados de hormigón con empleo de un caballete metálico. Fuente: Monografías INTEMAC

1.9. Grado de industrialización actual en España

Actualmente, en el mercado de construcción e inmobiliario existe una desigualdad en cuanto al grado de industrialización, así los países del norte de Europa se ven mucho más desarrollados en cuanto a la construcción de los edificios industrializados y los países del sur de Europa aún no se atreven seguir a los países más desarrollados. Veremos la situación relativa a la industrialización en España.

Principalmente, hay que destacar que el nivel de la industrialización de la construcción en España es demasiado bajo en comparación con los países del norte de Europa. Esto se caracteriza por la costumbre de utilizar los métodos que funcionaban hasta el día de hoy confiando en la expresión “*de toda la vida*” y apostando por lo seguro sin algún tipo de riesgo. Por otro lado, la costumbre de utilizar los sistemas basados en hormigón armado no deja avanzar con sistemas constructivos alternativos.

Aunque las inversiones en los proyectos de I+D+i en campo de construcción en España son escasas, el desarrollo es inevitable. Así podemos destacar desarrollo de comercialización y aplicación de los sistemas modulares tridimensionales.



*Fig. 25. Módulos tridimensionales de empresa Compact Habitat (Barcelona).
Fuente: <http://www.compacthabit.com/es/nivells/obra/titular/residencia-gaston-phoebus-pau>. Fecha de consulta: 12.10.2016*



Fig. 26. Residencia universitaria en Sant Cugat (Barcelona) realizada mediante módulos de hormigón. Fuente: <http://www.compacthabit.com/es/nivells/obra/titular/hpo-sant-cugat>. Fecha de consulta: 12.10.2016

La industrialización en España se desarrolla con la aplicación del mismo hormigón armado prefabricado, como podemos observar en las imágenes anteriores. Por tanto, podemos remarcar la existencia de los sistemas pesados de hormigón. Sin embargo, sistemas modulares tridimensionales suponen una desventaja que se radica en el transporte de mucho volumen de aire interior de los módulos, lo que encarece el transporte y reduce rendimiento del mismo.

A su vez, la empresa Barcelona Housing System ofrece sistemas industrializados formados por los elementos funcionales fabricados en condiciones de una factoría.



Fig. 27. Cimentación por pilotes enroscados. Fuente: <http://barcelonahousingsystems.com/technology/>. Fecha de consulta: 12.10.2016



Fig. 28. Construcción de un edificio en seco. Fuente: <http://barcelonahousingsystems.com/technology/>. Fecha de consulta: 12.10.2016

Concluyendo, se puede decir que la construcción industrializada en España ha empezado hacer sus primeros pasos, pero el país necesita más motivación y facilidad de apostar por el desarrollo para la construcción de un futuro mejor, optimizar los procesos constructivos y reducir los tiempos y, por lo tanto, costes.

Capítulo 2. Marco normativo

2.1. Normativa de aplicación

Actualmente, la crisis energética ya ha pasado de ser una alerta y se ha convertido en una realidad en muchos países y sobre todo en España. Durante la época de auge en sector inmobiliario en España, el concepto de la eficiencia energética no era más que un valor añadido o “extra” para los edificios. Hoy en día la importancia de regulación de demanda y consumo de energía es una prioridad en todos los sectores.

La eficiencia energética se puede definir como la reducción del consumo de energía manteniendo los mismos servicios energéticos, sin disminuir el confort y la calidad de vida, protegiendo el medio ambiente, asegurando el abastecimiento de energía y fomentando un comportamiento sostenible en su uso.

En la edificación podemos contabilizar muchos factores que influyen sobre la eficiencia energética, así como los elementos constructivos (fachadas, cubiertas, huecos, etc.) que son elementos principales para conservación de la energía.

En este apartado veremos marco normativo aplicable sobre el objeto de presente trabajo – cerramientos de los edificios.

2.2. Marco legal europeo

A nivel europeo nos encontramos con un instrumento jurídico – legislativo llamado “Directiva” de carácter flexible con obligatorio cumplimiento que regula el alcance de los objetivos europeos en distintas materias.

Así, Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de mayo de 2010, relativa a la eficiencia energética de los edificios establece los objetivos que los Estados miembros de la Unión Europea deben marcarse en materia de ahorro y eficiencia energética. Así mismo, en su Anexo I, continuación del apartado 3, la directiva establece los puntos de especial atención según la metodología de cálculo propuesta:

- Capacidad térmica
- Aislamiento
- Calefacción pasiva
- Elementos de refrigeración, y
- Puentes térmicos

Introducción por la **Directiva 2010/31/UE** de un concepto, en su apartado 2, de “*Edificios de consumo de energía casi nulo*”, marca otro objetivo muy importante para conseguir por los miembros de la Unión Europea:

Artículo 9:

“1. *Los Estados miembros se asegurarán de que:*

a) a más tardar el 31 de diciembre de 2020, todos los edificios nuevos sean edificios de consumo de energía casi nulo, y de que

b) después del 31 de diciembre de 2018, los edificios nuevos que estén ocupados y sean propiedad de autoridades públicas sean edificios de consumo de energía casi nulo.

Los Estados miembros elaborarán planes nacionales destinados a aumentar el número de edificios de consumo de energía casi nulo. Estos planes nacionales pueden incluir objetivos diferenciados de acuerdo con la categoría del edificio.”

Directiva 2012/27/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de octubre de 2012 relativa a la eficiencia energética, por la que se modifican las Directivas 2009/125/CE y 2010/30/UE, y por la que se derogan las Directivas 2004/8/CE y 2006/32/CE, por la cual se establece “*un marco común de medidas para el fomento de la eficiencia energética dentro de la Unión a fin de asegurar la consecución del objetivo principal de eficiencia energética de un 20% de ahorro para 2020, y preparar el*

camino para mejoras posteriores de eficiencia energética más allá de ese año.”

“...En las conclusiones del Consejo Europeo de 4 de febrero de 2011 se subrayaba que debe alcanzarse el objetivo que acordó el Consejo Europeo en junio de 2010, de aumentar en un 20 % la eficiencia energética para 2020, objetivo que, de momento, no lleva camino de cumplirse. Las previsiones realizadas en 2007 mostraban un consumo de energía primaria en 2020 de 1 842 Mtep. Con una reducción del 20 % la cifra de consumo sería de 1 474 Mtep en 2020, es decir, una disminución de 368 Mtep respecto a las previsiones.”

2.3. Marco legal nacional

Tal y como prevén la Directivas Europeas, los miembros de la Unión tienen la libertad para poner en práctica los medios para cumplir con los objetivos. Así, en España disponemos de varios Reales Decretos relativos a dichas Directivas, que son:

Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación. (13 septiembre 2013)

Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios. (Vigente desde 14 febrero 2016)

DERROGADO. Real Decreto 47/2007, de 19 de enero, por el que se aprueba el Procedimiento básico para la certificación de eficiencia energética de edificios de nueva construcción (Vigente hasta el 14 de abril de 2013).

Real Decreto 235/2013, de 5 de abril, por el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios.

2.4. Código Técnico de Edificación

El Código Técnico de Edificación es un instrumento para la transposición de las directivas europeas. La nueva Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo de 19 de mayo de 2010 relativa a la eficiencia energética de los edificios (refundición) es mucho más ambicioso que su predecesora Directiva 2002/91/CE de Eficiencia Energética y supone el endurecimiento de los requisitos mínimos hasta conseguir, de cara a 2020, edificios de consumo de energía prácticamente nulo. La trasposición de esta directiva, en parte, se hace a través del CTE mediante el DB HE.

El DB HE consiste en 6 apartados, que son:

HE-0, Limitación del consumo energéticos

HE-1 Limitación de la demanda energética

HE-2, Rendimiento de las instalaciones térmicas

HE-3, Eficiencia energética de las instalaciones de iluminación

HE-4, Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria

HE-5, Contribución fotovoltaica mínima de energía eléctrica

Según el artículo 15 b la Parte I del Código Técnico de Edificación y su apartado 15.1 “*Exigencia básica HE 1: Limitación de la demanda energética*”:

“Los edificios dispondrán de una envolvente de características tales que limite adecuadamente la demanda energética necesaria para alcanzar el bienestar térmico en función del clima de la localidad, del uso del edificio y del régimen de verano y de invierno, así como por sus características de aislamiento e inercia, permeabilidad al aire y exposición a la radiación solar, reduciendo el riesgo de aparición de humedades de condensación superficiales e intersticiales que puedan perjudicar sus características y

tratando adecuadamente los puentes térmicos para limitar las pérdidas o ganancias de calor y evitar problemas higrotérmicos en los mismos.”

El documento básico (DB) HE-1, en su Apéndice B define los parámetros mínimos característicos de la envolvente que han de cumplirse. En la tabla siguiente se muestran las transmitancias térmicas límite de muros de fachada para todas zonas climáticas:

Tabla 1. Transmitancia térmica límite de muros de fachada según cada zona climática de España. Fuente: Código Técnico de Edificación, DB HE-1

Zona climática según CTE DB HE-1	Transmitancia térmica límite de muros de fachada (W/m ² K)
α_n, A_n	0.94
B_n	0.82
C_n	0.73
D_n	0.66
E_n	0.57

Sin embargo, en el Apéndice E “Valores orientativos de los parámetros característicos de la envolvente térmica”, el Código Técnico de Edificación nos propone otra tabla de parámetros característicos de la envolvente térmica para predimensionado de las soluciones constructivas en uso residencial:

Tabla 2. Valores orientativos de los parámetros. Fuente: Código Técnico de Edificación, DB HE-1

Transmitancia del elemento (W/m ² K)	Zona climática					
	α_n	A_n	B_n	C_n	D_n	E_n
$U_{FACHADAS}$	0.94	0.50	0.38	0.29	0.27	0.25

Donde,

α_n – Representa zonas de Las palmas de de Gran Canaria y Santa Cruz de Tenerife

A_n - Representa zonas de Huelva, Almería, Cádiz, Málaga, Melilla.

B_n - Representa zonas de Tarragona, Castellón, Valencia, Palma de Mallorca, Murcia, Córdoba, Sevilla, Ceuta.

C_n - Representa zonas de Badajoz, Barcelona, Bilbao, Cáceres, La Coruña, Granada, Jaén, Pontevedra, Santander, Toledo.

D_n - Representa zonas de Ciudad Real, Cuenca, Gerona, Guadalajara, Huesca, Lérida, Logroño, Lugo, Madrid, Orense, Oviedo, Palencia, Pamplona, Salamanca, San Sebastián, Segovia, Teruel, Valladolid, Vitoria, Zamora, Zaragoza.

E_n - Representa zonas de Ávila, Burgos, León, Soria.

Por lo tanto, para cumplimiento de las exigencias del Código Técnico de Edificación y garantizar mejores características térmicas y de eficiencia energética en general, nos referiremos a los valores de la tabla del Apéndice E.

El Documento Básico HE contiene unos Documento de Apoyo que también son aplicables para el diseño correcto de los cerramientos de los edificios:

DA DB-HE/1

Este documento describe la metodología de cálculo de parámetros característicos de la envolvente incluyendo cálculos de resistencia térmica, transmitancia térmica, factor solar de huecos y lucernarios, así como factor de sombra en diferentes condiciones.

DA DB-HE/2

Este documento se basa en comprobación de limitación de condensaciones superficiales e intersticiales en los cerramientos y describe algunas metodologías de comprobación de limitación de condensaciones sin impedir el uso de otros procedimientos y metodologías.

DA DB-HE/3

Este documento de apoyo caracteriza el comportamiento e influencia de los puentes térmicos en la edificación incluyendo métodos de cálculo, así como las exigencias básicas relativas a las condensaciones superficiales definidas en el DB-HS con el fin de limitar el consumo energético.

Entre otras normativas que deben cumplir los cerramientos de edificios nos encontramos con las siguientes:

Seguridad en caso de incendio (SI)

DB SI-2 en su apartado 1 “Medianeras y fachadas” establece la resistencia mínima de EI120 para elementos verticales separadores de otro edificio.

El párrafo 3 sobre la propagación vertical de incendio propone una resistencia mínima que debe poseer la fachada con el fin de limitar dicha propagación. Este valor debe ser EI 60 como mínimo “en una franja de 1 m como mínimo, medida sobre el plano de fachada”. En caso de presencia de algún elemento sobresaliente que pueda “impedir” el paso de llamas, dicha altura puede reducirse en la dimensión de la parte saliente. A continuación, se muestran las figuras explicativas elaboradas por CTE.



Fig. 29. Encuentro forjado – fachada (a la izquierda) y encuentro forjado-fachada con saliente (a la derecha). Fuente: Código Técnico de Edificación, 2014

En cuanto a la propagación horizontal la normativa nos marca el mismo límite (EI60) con la diferencia de que los puntos que no cumplan dicha restricción deben estar separados en función del ángulo entre las dos fachadas. Para edificios diferentes o colindantes la distancia mínima se reduce en 50%.

Así mismo, en su párrafo 4 del mismo apartado, el CTE indica que clase de reacción al fuego del acabado de las fachadas debe ser B-s3, d2 en toda la fachada si la misma excede 18 m de altura. En caso contrario, si “*el arranque inferior sea accesible al público desde la rasante exterior o desde cubierta*”, dicha resistencia debe cumplirse hasta la altura de 3,5 metros como mínimo.

Higiene, salud y protección de medio ambiente (HS)

El Código Técnico, en su Documento Básico HS prevé las exigencias de protección contra humedad para reducir el riesgo de que los usuarios de los edificios padezcan molestias o enfermedades por el deterioro o patologías debidas a la presencia de la humedad excesiva, así como el deterioro del medio ambiente en su próximo entorno. La exigencia se describe en el Artículo 13.1 del Real Decreto 314/2006 de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación.

El grado de impermeabilidad de los cerramientos se define basando en los valores de la tabla 2.5 del Documento Básico HS-1 en función de grado de exposición al viento de la fachada del estudio y zona pluviométrica de promedios en la que se ubica futuro edificio. Las condiciones exigidas a la mayoría de las soluciones constructivas de los cerramientos se presentan en la tabla 2.7 del mismo documento en función del mencionado grado de impermeabilidad y de la existencia o no del revestimiento exterior. Las condiciones son agrupadas por bloques e indican el nivel de prestaciones. Estos bloques son:

- Resistencia a filtración de revestimiento exterior (R)
- Resistencia a filtración de la barrera contra penetración de agua (B)
- Composición de la hoja principal (C)
- Higroscopicidad de del material componente de la hoja principal (H)
- Resistencia a la filtración de las juntas entre las piezas que componen la hoja principal (J)
- Resistencia a la filtración del revestimiento intermedio en la cara interior de la hoja principal (N)

Protección frente a ruido (HR)

La exigencia básica en cuanto a ruido se describe en el Artículo 14 del Real Decreto 314/2006 de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación. La principal característica que deben satisfacer los cerramientos es la protección contra el ruido y vibraciones procedentes desde el exterior.

Según el párrafo iv) del apartado 2.1.1 del DB-HR:

“El aislamiento acústico a ruido aéreo, D_{2m} , nT , A_{tr} , entre un recinto protegido y el exterior no será menor que los valores indicados en la tabla 2.1, en función del uso del edificio y de los valores del índice de ruido día,

Ld, definido en el Anexo I del Real Decreto 1513/2005, de 16 de diciembre, de la zona donde se ubica el edificio.”

El índice de ruido día L_d puede obtenerse en los mapas estratégicos de ruido. Si al edificio le afectan varias zonas del índice de ruido día, se escoge el mayor valor.

La prestación de del aislamiento al ruido exterior del cerramiento depende en gran medida de las prestaciones de los huecos (ventanas) de los mismos, su correcta puesta y sellado.

2.5. Normas Tecnológicas de Edificación

NTE-FPP. Fachadas prefabricadas de paneles.

Como referencia, cabe destacar la norma tecnológica de edificación y su apartado sobre las fachadas ligeras de paneles prefabricados. Aunque la norma se ha quedado algo obsoleta debido a la aparición de nuevos sistemas constructivos y tecnologías, nos sirve de apoyo en cuanto a las cuestiones básicas de trabajo con paneles de fachada.

En mayor parte esta norma trata de los paneles prefabricados de hormigón armado con diferentes configuraciones de los paneles estandarizados y de las características que deben poseer para ser instalados en la obra, así como las indicaciones sobre el montaje de los cerramientos de este tipo. Hoy en día, las nuevas tecnologías de construcción de los cerramientos no se acoplan a dicha norma ya que se regulan por las exigencias básicas del Código Técnico de Edificación y certificados correspondientes de idoneidad técnica (DIT).

2.6. Normas UNE relativas a la solución de paneles industrializados SPANS™

Tabla 3. Normas UNE relativas a los paneles de cerramiento SPANS. Fuente: Elaboración propia.

Reacción al fuego	UNE-EN ISO 11925-2:2011 UNE-EN 13823:2012 UNE-EN 13501-1:2007+A1:2010
Resistencia al fuego	UNE-EN 1364- 4:2015 UNE-EN 13501- 1:2007+A1:2010
Estanqueidad al agua	UNE-EN 12155:2000 EN 12865
Permeabilidad al vapor de agua	UNE-EN ISO 13788:2016 UNE-EN 12524:2000
Aislamiento acústico al ruido aéreo	UNE-EN ISO 10140-2:2011
Permeabilidad al aire	UNE EN 12152:2000.

Capítulo 3. Estudio de proceso de trabajo y ventajas del sistema SPANS.

“No intentes cambiar un sistema, construye uno nuevo que haga que el anterior se vuelva obsoleto”

Richard Buckminster “Bucky” Fuller.

2.7. Introducción

Sistema de construcción industrializada SPANS™ representa a una tecnología que abarca y optimiza casi todos los aspectos de construcción de los edificios de cualquier índole. Una línea de desarrollo del sistema SPANS™ en marco del presente trabajo corresponde al sistema de los paneles industrializados de cerramientos exteriores. Dicho sistema proporciona una solución completa de los módulos en formato de paneles de cualquier tamaño con alto grado de preparación¹⁶ e introduce un concepto verdadero de la “eficiencia energética pasiva” sin la cual, la eficiencia energética de los sistemas activos no aporta el resultado deseado. Asimismo, la tecnología de los paneles industrializados SPANS permite reducir los costes de la construcción, sus plazos y mejorar las condiciones de trabajo en el sector. La característica esencial de los paneles SPANS™ – flexibilidad al diseño arquitectónico – permite hacer una “revolución” en el mercado de la construcción industrializada.

En el presente capítulo se demuestra la metodología de trabajo del sistema SPANS™.

¹⁶ “Alto grado de preparación” – aquí y en adelante se refiere a la característica de los paneles de contener todos los elementos y fases realizadas para que el modulo esté preparado para su simple instalación en obra. Esto incluye la carpintería y su acristalamiento instalados en condiciones del taller, así como acabado exterior, elementos arquitectónicos y demás elementos necesarios.

2.8. Metodología de trabajo

Para que una innovación pueda dar un efecto deseado, se requieren no solo optimizaciones en fabricación y diseño, sino también en los procedimientos y metodologías generales de realización de los trabajos. A continuación, se describirá una metodología de trabajo comprendida en la tecnología SPANS¹⁷.

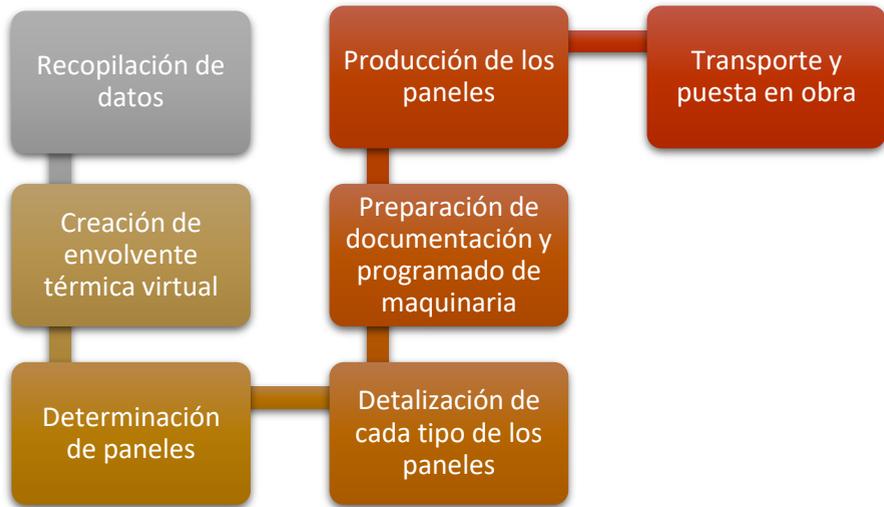


Fig. 30. Secuencia de trabajo con aplicación del sistema SPANS. Fuente: Elaboración propia.

¹⁷ Tal y como se ha referido al inicio de trabajo, el acrónimo SPANS representa a una tecnología de construcción industrializada que comprende unos paneles de cerramiento exterior con alto grado de preparación. Los paneles SPANS incluyen carpintería según proyecto instalados en condiciones del taller, acabados exteriores y todos los accesorios y elementos arquitectónicos según la solución propuesta por autor del proyecto de edificación.

2.8.1. RECOPIACIÓN DE DATOS.

Antes de proceder a desarrollar actividad de fabricación de los paneles SPANS es imprescindible recopilar cuanta más información sobre la obra en cuestión. Así, se solicitará al arquitecto de la obra un paquete de documentos con la siguiente información:

1. Proyecto de la obra (Básico o de Ejecución) en formato BIM si procede.
2. Información detallada sobre las calidades y materiales de acabado a emplear para cerramientos exteriores.
3. Información detallada en cuanto a los elementos arquitectónicos.
4. Estudio de la estructura portante existente, en caso de obras abandonadas.

Proyectos de las obras interrumpidas. Escaneo laser 3D de la estructura.

En caso de que se trate de las obras abandonadas, en el que nos encontraríamos ante una estructura portante acabada o no, es importante adjuntar el estado de dicha estructura (estudio de viabilidad portante). El personal asignado de la factoría se encarga de hacer un estudio geométrico de la mencionada estructura.

Al ser una fase fundamental de un futuro edificio, la estructura requiere un cuidado estudio de su estado tanto a nivel de calidad de material como a nivel de la calidad de ejecución. Por lo tanto, antes de proceder a la ejecución de los cerramientos debemos hacer unas comprobaciones iniciales para tener previstos los aspectos de seguridad y geometría del edificio.

Para realizar el análisis de la geometría se inicia la fase de escaneado gráfico de la estructura. Para tal fin se utiliza un escáner laser 3D que permite captar, con una precisión regulable, todos los desperfectos de la

estructura. Para realización de esta fase se requiere cuanta más información posible, pero ante una imposibilidad de acceso al interior u otras circunstancias puede que sea suficiente un escaneo perimetral del edificio desde exterior. La etapa de escaneo aporta la información precisa sobre las características geométricas en formato de nube de puntos.



Fig. 31. Escaneado de la estructura abandonada con escáner laser 3D Topcon FARO 130X. Fuente: Elaboración propia



Fig. 32. Escaneado de la estructura abandonada con escáner laser 3D Topcon 130X. Fuente: Elaboración propia

Después del tratamiento de la nube de puntos se procede a un análisis de las imperfecciones geométricas mediante una comparación con los planos del proyecto de ejecución. Los resultados de esta fase permiten al equipo estar preparados para las situaciones que anteriormente se consideraban como “imprevistas” en obra y requerían a una decisión rápida y no siempre la más adecuada. (Algunas veces la dirección de obra no dispone de ningún tipo de información sobre los cambios realizados para solventar un “imprevisto”).

A partir de los datos obtenidos, se plantea un nuevo plano de forjados con sus características geométricas verdaderas y se procede al modelado de la envolvente térmica virtual.

2.8.2. ENVOLVENTE TÉRMICA VIRTUAL Y DETERMINACIÓN DE LOS PANELES

Como bien sabemos, cualquier planteamiento debe realizarse de lo general a lo particular. Por el mismo principio se realiza un modelado de un envolvente térmica del edificio. Dicho procedimiento se realiza con las

herramientas de programas basadas en la tecnología **CAD**¹⁸ /**CAM**¹⁹ y **CAE**²⁰ aunque el empleo de la tecnología **BIM**²¹ mejor efecto de la integración en cuanto a la organización de procesos y colaboración entre todos agentes que participan en una obra.

Desgraciadamente, la conexión por vía del lenguaje numérico entre modelo **BIM** y sistema de fabricación asistida por ordenador (**CAM**) está aún en desarrollo, pero las expectativas marcan un camino de nueva era en fabricación de elementos para edificación - BIM/CAM.

Para elaboración de la envolvente térmica virtual detallada se utilizan programas como *SolidWorks* de diseño industrial.

Una vez realizada y comprobada la envolvente térmica, se procede a su descomposición por elementos menores (paneles). Un análisis de diseño arquitectónico marca el modo de descomposición y dimensiones de cada panel, de forma que, las uniones se intentan ser disimulados en las bases de los elementos arquitectónicos, pero siempre intentando conseguir mayor optimización de los trabajos y recursos.

¹⁸ CAD – Computer-Aided Design (*en español*: Diseño asistido por ordenador)

¹⁹ CAM – Computer-Aided Manufacturing (*en español*: Fabricación asistida por ordenador)

²⁰ CAE – Computer-Aided Engineering (*en español*: Ingeniería asistida por ordenador)

²¹ BIM – *Building Information Modeling* (*en español*: Modelado de información de construcción)

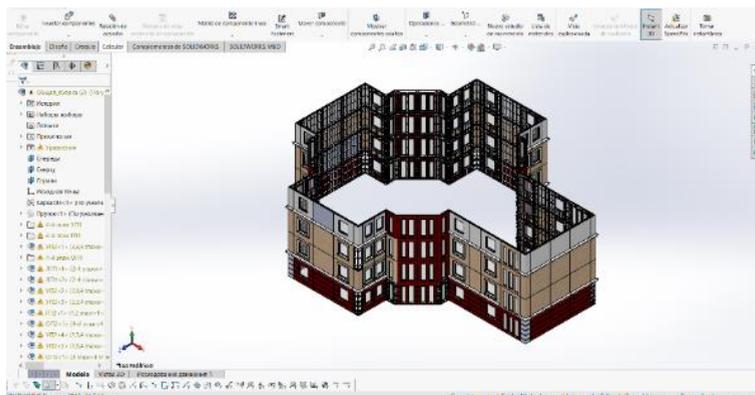


Fig. 33. Modelizado de la envolvente térmica virtual en un entorno del programa informático "SolidWorks". Fuente: Elaboración propia.

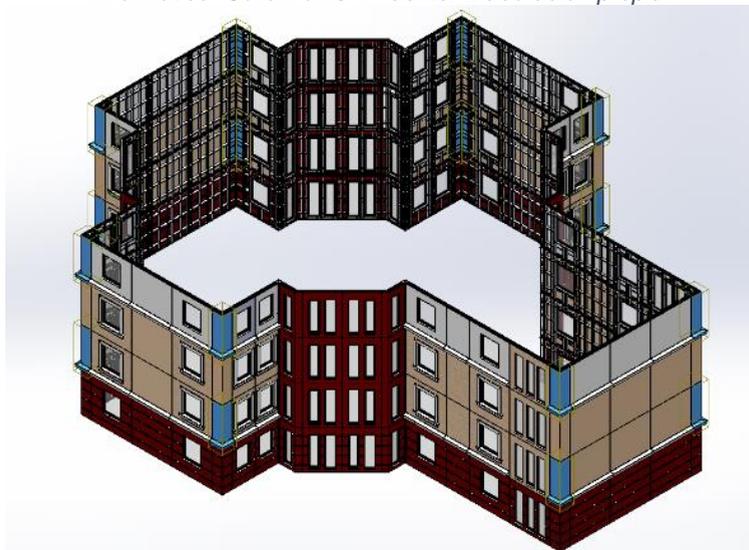


Fig. 34. Una envolvente térmica virtual modelizada con una precisión industrial. Comprobación del encaje del conjunto de paneles. Fuente: Elaboración propia.

2.8.3. DISEÑO DETALLADO DE LOS PANELES.

Cuando la descomposición previa está realizada, se procede al diseño o adaptación de modelos base de los paneles al proyecto en cuestión. Para el diseño detallado de cada panel deben tenerse en cuenta los siguientes datos:

- Dimensiones de cada panel
- Restricciones de transporte
- Peso de cada panel
- Resistencia y número necesario de los anclajes
- Niveles de tolerancia según estudio geométrico
- Tipo de acabado de las fachadas
- Las deformaciones dinámicas y térmica de la estructura de edificio
- Resistencia a la acción de viento

Cada panel proyectado dispone de su número único y código QR que identifica su composición y posición en la obra. Para tal fin se utilizan los sistemas de control de calidad del fabricante.

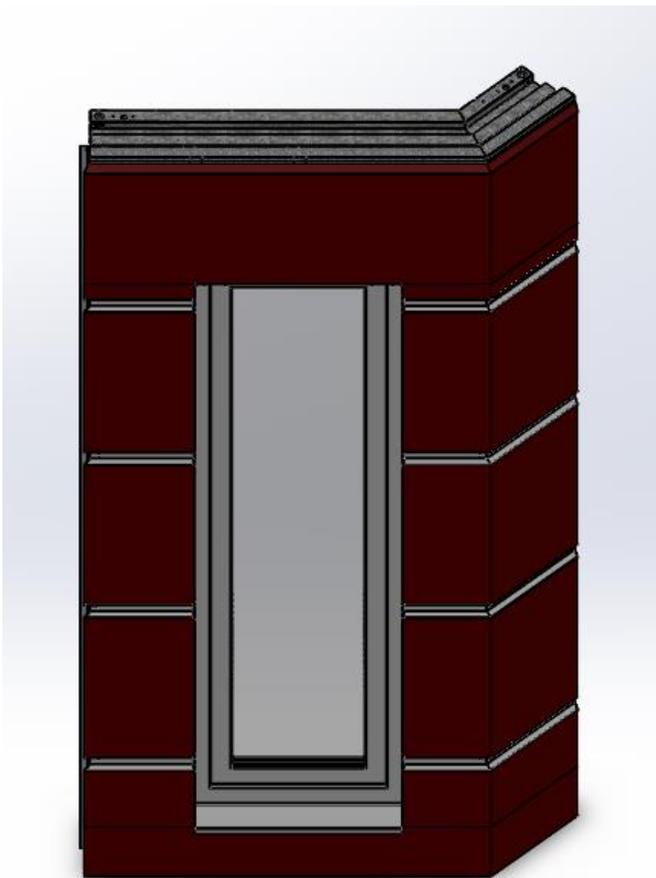


Fig. 35. Fase de diseño detallado de un panel. Fuente: Elaboración propia.

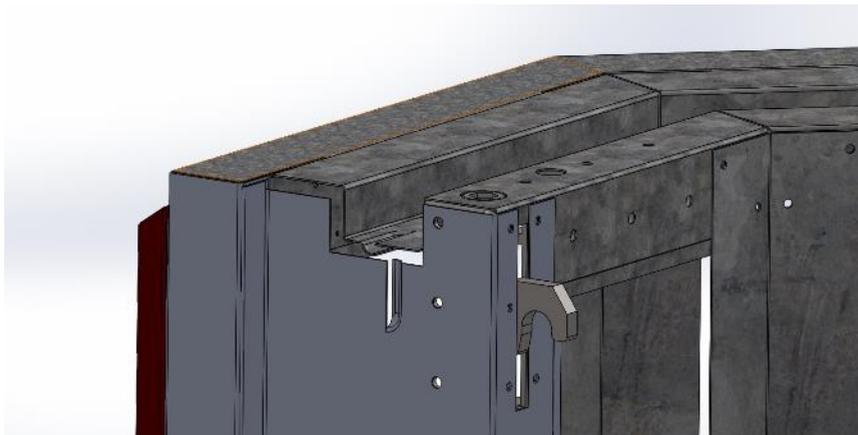


Fig. 36. Diseño detallado de un sistema de anclaje móvil NOKv04. Fuente: elaboración propia.

2.8.4. PREPARACIÓN DE LA DOCUMENTACIÓN Y PROGRAMADO DE LA MAQUINARIA

Antes de proceder a la fabricación, el departamento técnico debe elaborar una documentación del taller con la información suficiente para su correcta fabricación en su totalidad.

Un proyecto de fabricación contiene la información de cada uno de los paneles que componen el futuro cerramiento y cada uno de sus componentes con la información suficiente para poder fabricar los paneles en su totalidad. Dichos planos se elaboran por el departamento a partir del proyecto de edificación.

Los planos de taller incluyen:

- Vista del panel acabado
- Información gráfica y numérica para fabricación de los perfiles metálicos incluyendo despliegues y posicionamiento de los mismos sobre la chapa. Además, se incluye información adicional / instrucciones sobre programación de la maquinaria.
- Cantidades de los materiales a utilizar en cada panel
- Instrucciones sobre ejecución de paneles²²

El programado de la maquinaria consiste en los siguientes aspectos:

1. Programación de las máquinas (asignación de las tareas, dimensiones de cada detalle)
2. Posicionamiento de las herramientas necesarias en cada máquina
3. Optimización de residuos (posicionamiento de los despliegues de los detalles sobre la chapa metálica, de tal forma, que los residuos o masa sobrante generados sean mínimos).

Para proceder a la fabricación toda la maquinaria debe estar preparada y programada según sus tareas asignadas.

²² Las instrucciones sobre la fabricación del panel incluyen toda la información necesaria para que la fabricación se realiza de forma fluida. El documento incluye las instrucciones de ensamblaje del termoarmazón, puesta y trabajo con aislamiento térmico, aplicación del tipo de acabado escogido para un proyecto determinado, etc..



Fig. 37. Máquina punzonadora con la alimentación automática utilizada para fabricación de los paneles SPANS.

2.8.5. PRODUCCIÓN DE LOS PANELES

Una vez los modelos detallados de paneles preparados y la maquinaria lista para la producción, se inicia el proceso de fabricación de los paneles SPANS™. Para la fabricación se utiliza la maquinaria de alta precisión industrial (0,01 mm) que permite realizar los paneles con la exacta conformidad con el proyecto de edificación en condiciones de la factoría. Durante el proceso de fabricación, están involucradas las máquinas de corte de la chapa metálica, guillotinas, plegadoras, punzonadoras, maquinaria para aplicación de acabado monocapa, maquinaria de producción de la carpintería, entre otras.

El proceso de fabricación posee su línea de seguimiento de los sectores de la factoría reflejados en diagramas de procesos de la empresa. La factoría cuenta con 14 sectores localizados en orden de avance de la producción del producto. La factoría SPANS cuenta con dos edificaciones: una representada por un espacio climatizado y dedicada a la producción y oficinas técnicas, segunda – espacio colindante a la

fabricación con función de almacén de la materia prima y medios auxiliares. Se adjunta el plano de sectorización del espacio de producción.

Tabla 4. Sectorización de la fábrica SPANS

Legenda de los sectores de fabricación	
Nº	Sector
1	Corte de metal en rollo (bobinas)
2	Corte de las planchas / chapas metálicas
3	Punzonado y preparación de las piezas
4	Plegado de los termoperfiles y demás piezas
5	
6	Ensamblaje previo de los elementos - componentes
7	Corte de material aislante
8	Ensamblaje del panel base
9	Aplicación de aislamiento adicional (si procede)
10	Aplicación de termoenfoscado (monocapa) en plano horizontal
11	Secado de acabado (si procede)
12	Zona de pintado de los paneles (si procede)
13	Instalación de carpintería y embalaje
14	Almacén de las piezas necesarias para ensamblaje de los paneles

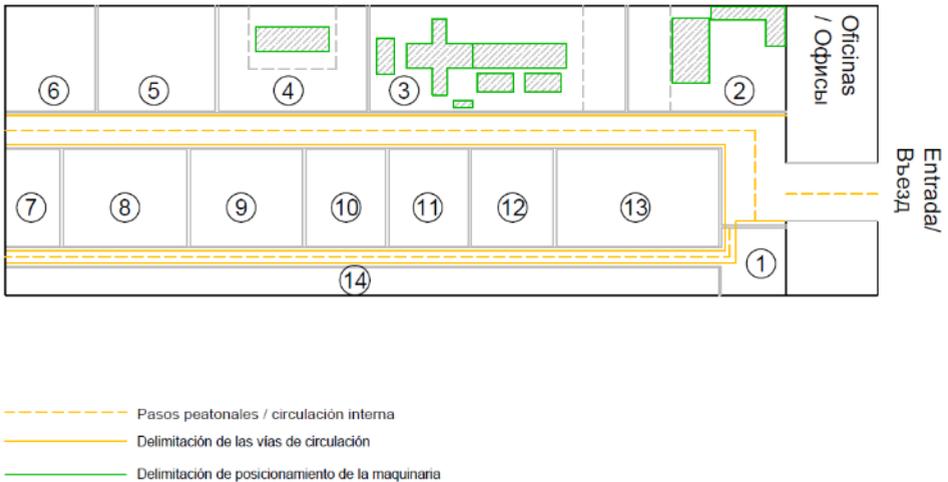


Fig. 38. Esquema de sectorización de la fábrica SPANS. Fuente: Elaboración propia

2.8.6. TRANSPORTE Y PUESTA EN OBRA

Una vez los paneles están fabricados y preparados para su montaje, se procede a transportarlos a pie de obra. Para ello se utiliza un sistema de transporte que consiste en dos cuadros laterales que unen un bloque de 5-7 paneles y regula la separación entre estos.



Fig. 39. Cuadros de transporte de los paneles SPANS. Fuente: Elaboración propia.

Las características de los paneles, concretamente su peso reducido, permiten transportar hasta 500 m² de los cerramientos en un camión convencional sin necesidad de empleo de las plataformas de transporte especiales.

El proceso de instalación de los paneles puede ser adelantado por medio de instalación de las consolas de anclaje (uno de los dos componentes de anclaje NOK v04²³), mientras los paneles se están fabricando. Dicho procedimiento se acompaña con aplicación de un nivel laser (o equivalente) para conseguir una alineación deseada de las consolas. Las

²³ Un sistema de anclaje móvil que permite una regulación en 3 dimensiones. El diseño de dicho anclaje es elaborado y patentado por el grupo de empresas Simplex.

consolas se anclan en posición de movilidad para permitir el ajuste del panel. Pero cuando hayan instalados y ajustados los paneles, la consola se inmoviliza por medio de un perno que impide cualquier desplazamiento.

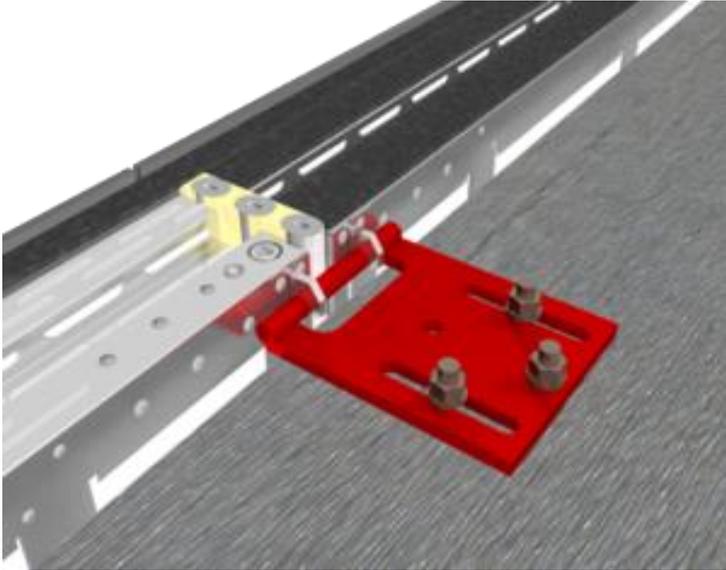
Los paneles se colocan en el orden de abajo hacia arriba sobre las consolas preinstaladas de modo que, los paneles esquineros que cierran el perímetro, se instalan en el último lugar. La elevación de los paneles se realiza con los medios de elevación disponibles en la obra: grúas fijas o grúas móviles (dependiendo de la necesidad del proyecto), o bien una grúa móvil de dimensión reducida, posicionada sobre el último forjado. En muchos casos para realizar la elevación de paneles no se necesita una grúa torre y por lo tanto, el sistema SPANS permite optar por las soluciones más económicas.

La manipulación se controla mediante cuerdas o cables conectados con el panel a través de los pernos de ojo enroscados en el cosquillo del panel (son 6 casquillos disponibles – 4 en los perfiles laterales y 2 en parte interior del panel en su zona inferior para posicionar el dicho panel desde el forjado). Para realizar la colocación de un panel en la obra se necesitan dos operarios en la planta que se pretende cerrar para posicionar el panel en conexión machihembrada con la inferior y otros dos en la planta superior que se responsabilizarán del anclaje y ajuste (nivelación) del panel.

Los trabajos relacionados con las uniones verticales se realizan desde el interior de la envolvente térmica gracias a un sistema de las uniones unilaterales. Es decir, la unión vertical representa una apertura rellanable por la parte interior, al mismo tiempo la parte exterior de la unión se queda ciega y sirve de tope para un material de sellado.



Fig. 40. Instalación de los paneles SPANS en una obra. Fuente: Elaboración propia.



*Fig. 41. Representación de la junta vertical y sistema de anclaje NOK v04.
Fuente: Elaboración propia.*

Las uniones horizontales, a su vez, se resuelven por el propio panel mediante una conexión entre paneles machihembrada formada por la forma de los propios perfiles del armazón. Entre dos paneles en zona de la junta y antes de realizar la unión se coloca unos burletes de poliuretano suave resistentes al agua y con impregnación de dispersión acrílica para las juntas de unión.

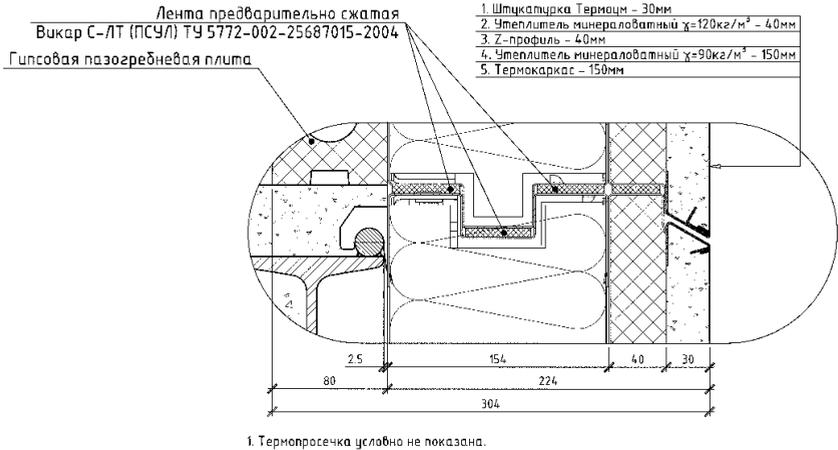


Fig. 42. Detalle de la unión horizontal entre dos paneles SPANS consecutivos.
Fuente: Elaboración propia.

Los trabajos de acabados interiores se limitan a la instalación de los paneles de yeso de alta dureza y puesta de repisas bajo ventanas. La solución de aplicación de los paneles machihembrados de yeso permite conseguir la superficie preparada en cuestión de minutos.



Fig. 43. Instalación de los paneles SPANS. Proceso de trasdosado. Fuente: Elaboración propia.



Fig. 44. Vista desde el interior. Panel SPANS con trasdosado interior por medio de paneles de yeso machihembrados. Fuente: Elaboración Propia.



Fig. 45. Vista desde el interior. Panel SPANS con trasdosado interior por medio de paneles de yeso machihembrados. Fuente: Elaboración Propia



Fig. 46. Paneles SPANS instalados como una demostración de la tecnología en Chelyabinsk, Rusia. 2014. Fuente: elaboración propia.

2.9. Estudio detallado de los componentes y características de los paneles SPANS™

Para poder realizar las obras de forma más rápida sin encarecimiento y al mismo tiempo aumentando la calidad de un edificio, en general se necesita un sistema que pueda enfrentarse a estos retos.

La tecnología SPANS incluye diferentes tipos de productos y soluciones que al emplearse en un conjunto forman un edificio de alto grado de eficiencia energética y consumo casi nulo. Estos sistemas son cerramientos, particiones interiores, sistema de ventilación, calefacción y refrigeración híbrido. Sin embargo, la tecnología SPANS es flexible y ofrece el empleo de sus sistemas por separado según la necesidad de la obra.

Para satisfacer la necesidad principal de la obra en cuestión se estudiará un elemento constructivo de la familia SPANS – paneles prefabricados para cerramientos.

Cerramiento prefabricado SPANS representa a un sistema de la envolvente térmica del edificio compuesta por los paneles prefabricados/industrializados de alto grado de disponibilidad (preparación) y alta eficiencia energética. La tecnología permite realizar todas las tareas relacionadas con elemento funcional (cerramiento) bajo las condiciones de factoría y dejar solo 2 tareas para su realización “in situ”.

Paneles SPANS para cerramientos se forman a partir de un termoarmazón de acero inoxidable de espesor variable según la zona de uso, con los elementos de anclaje y nivelación incorporados, relleno con el material de aislamiento térmico de lana de roca basáltica de alta densidad. La carpintería y acristalamiento son instalados en condiciones de fábrica, así como el acabado exterior según el proyecto de obra. La cara interior es cubierta por los paneles perforados de yeso de alta densidad instalados “in situ”.

El uso previsto alberga los cerramientos de edificio de obra nueva y rehabilitación energética de las fachadas existentes.

A continuación, se analizará la composición del panel SPANS por elementos.

2.9.1. Termoperfiles metálicos

Un panel industrializado SPANS se basa en un armazón compuesto por los perfiles metálicos – termoperfiles. El armazón es el elemento que determina la forma general del panel, su espesor, características de resistencia y rigidez.

La razón, por la cual el acero no se utilizaba hasta hace poco en la construcción de los cerramientos de edificios, se radica en su alta transmitancia térmica que, a su vez, causa la aparición de los puentes térmicos en la envolvente térmica.

Los puentes térmicos se originan en las zonas de los elementos con buena transmitancia térmica que atraviesan toda la sección del paramento y son la causa de una gran parte de las pérdidas de calor. Asimismo, los puentes térmicos causan unos puntos fríos en la cara interior de cerramiento lo que conlleva la aparición de la condensación, que a su vez acciona de forma agresiva sobre la composición del cerramiento y perjudica los acabados.

La aparición de los termoperfiles metálicos hizo posible el empleo de las estructuras metálicas dentro de una envolvente térmica. Estos perfiles se diferencian de los tradicionales por su mínima sección transversal. Es decir, la mayor superficie del perfil

Para una disminución radical de la transmitancia térmica los termoperfiles poseen unas ranuras longitudinales situadas en orden escaqueado en toda longitud del perfil. Según estudios y ensayos realizados por varias instituciones de las ciencias de construcción, dichas ranuras aumentan el recorrido de flujo de calor y disminuyen la transmitancia térmica efectiva del metal en un 80-90%.

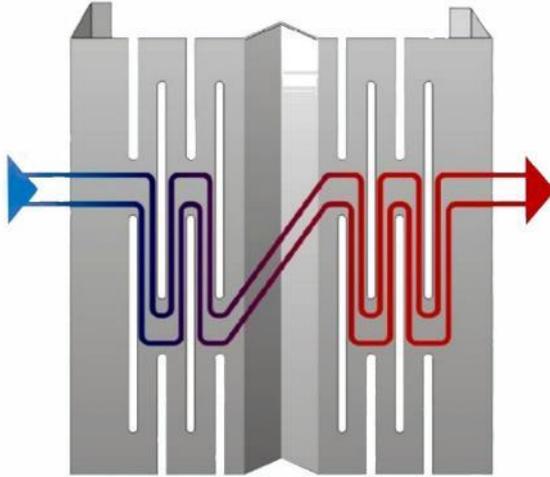


Fig. 47. Recorrido aumentado en un termoperfil. Fuente: www.lasar.ru (25.03.2016)

Un paso desplazado de las ranuras permite eliminar los puentes térmicos que suelen originarse en los perfiles metálicos. Gracias a los termoperfiles la transmitancia térmica de un cerramiento que contiene dichos termoperfiles se acerca a la transmitancia térmica de la madera. A cambio de la madera, los termoperfiles no están expuestos a la descomposición debida a los procesos biológicos.

El recorrido de flujo de calor aumentado juega un papel importante en las características termotécnicas de un elemento como perfil metálico aumentando el valor referente a la longitud de paso del flujo (espesor). Así, para un perfil metálico habitual de 150 mm el valor L será de 0.15 m, a cambio en el termoperfil del mismo espesor, este valor se ve incrementado hasta ± 0.525 m.



Fig. 48. Termoarmazón SPANS de acero galvanizado con la carpintería instalada. Fuente: Elaboración propia.

Para fabricación del termoarmazón de los paneles SPANS™ se emplean dos tipos de acero: galvanizado e inoxidable. Su elección depende de las características del ambiente donde se ejecuta la obra. Así para el clima más agresivo, como en la costa de España, se empleará acero inoxidable y para climas menos agresivos acero galvanizado será la opción más apropiada.

ACERO GALVANIZADO	
ACERO INOXIDABLE	Calidades AISI 316, 301, 302. Acabado natural por no tratarse de un elemento visto, salvo algunas de sus partes salientes (en su caso). El espesor de chapa - 0,8 mm

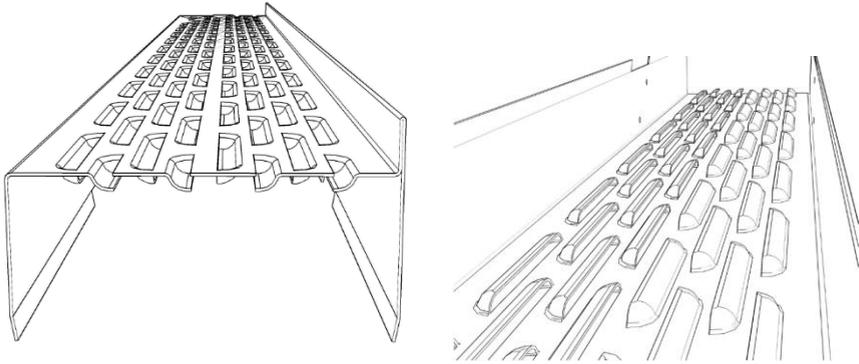
Como hemos descrito con anterioridad, para la fabricación de los paneles SPANS™ en España se utiliza acero inoxidable. Se emplea este tipo de acero por varias razones. La primera es su elevada resistencia a la corrosión y a los demás efectos destructivos debidos a la humedad ambiental, lo que hace que los paneles SPANS se destacan por su durabilidad. La segunda razón y no por tanto menos importante, es su baja conductividad térmica de 15.2 - 17 W/m·K frente a otros metales como, por ejemplo, aluminio con la conductividad de 230 W/m·K o acero galvanizado – 47-58 W/m·K.

Otra característica ventajosa de los termoperfiles consiste en valores acústicos mejorados gracias a las termoranuras. Así los ensayos han demostrado el nivel aislamiento acústico de una pared formada por los termoperfiles metálicos es de hasta 51 dB²⁴.

En los paneles SPANS se utilizan los termoperfiles mejorados. La diferencia fundamental consiste en el método de formalización de una termoranura y su forma. El proceso de formalización consiste en punzonado de un enrejado tipo “Louve^{25r}” formando unas ventanas unilaterales sobre la superficie de la chapa metálica. Este procedimiento no supone eliminación de una parte de metal sino una dformación geométrica de la chapa consiguiendo las mejores características geométricas del perfil aportándole mejor rigidez y aumentando su resistencia a compresión.

²⁴ Según el estudio y pruebas experimentales realizadas en la fábrica de Simplex Group en Chelyabinsk, Rusia, en el año 2008.

²⁵ Louver – identificación de los elementos, generalmente metálicos, que se utilizan para fines de ventilación, acústicos, de sombra y de desfogue. Se caracterizan por su forma de apertura unilateral.



*Fig. 49. Sección en perspectiva del termoperfil SPANS con el enrejado tipo "Louver".
Fuente: Elaboración propia.*

El enrejado en forma de unas ventanas unilaterales, durante el proceso de la composición del panel en fábrica, se rellenan con un material aislante. De esta manera la conductividad de un termoperfil SPANS se disminuye considerablemente formando un elemento heterogéneo en su sección transversal.

Como bien sabemos, los elementos metálicos suelen sufrir la aparición de condensación en su superficie y, de ésta manera, estar dispuestos al riesgo de corrosión lo que podría reducir la vida útil del elemento. En un panel SPANS para cerramientos éste aspecto se controla de forma muy cuidadosa. En un supuesto caso de aparición de la condensación sobre la superficie del armazón, ésta será absorbida inmediatamente por el material aislante eficaz y, gracias a un alto coeficiente de la permeabilidad al vapor de agua del panel, será extraída de forma natural (deseccación del aislamiento eficaz).

2.9.2. Aislamiento térmico

Una de las características esenciales de los paneles SPANS™ es su espesor aumentado de aislamiento termoacústico sin acompañado aumento del espesor total del cerramiento. La tecnología prevé diferentes opciones para satisfacer las exigencias, incluso más restrictivas, en cuanto al aislamiento térmico de un edificio.

Lana roca mineral basáltica

Los paneles de lana mineral basáltica se utilizan en calidad de aislamiento térmico y es un producto que no emite sustancias nocivas durante su vida útil ni sufre un asentamiento en su posición vertical. Asimismo, los paneles de lana mineral son duraderos y pueden ser reutilizados de forma fácil para fabricación de nuevos productos. Este material cumple con todos los requisitos de seguridad frente a incendios y radiación y es calificado como material de primera calidad. Otra característica muy importante de los paneles de lana mineral basáltica consiste en su grado de permeabilidad al paso de vapor de agua – 0.054 mg/m·h·Pa, por lo que este material colabora con la composición entera del cerramiento para conseguir buenas condiciones higrotérmicas y de salubridad para la vida humana en el interior de un edificio. A continuación, se reflejan las características básicas de este material.

Los paneles de lana mineral basáltica no se asientan durante toda la vida útil del edificio y, por lo tanto, la posibilidad de generación de los puentes térmicos debidos al asentamiento del aislamiento queda totalmente excluido.

Tabla 5. Características de lana de roca basáltica. Fuente: Rockwool

Densidad	110-125 kg/m³
Conductividad térmica, no más de	0.041 W/m·K
Humedad en masa	1.0 %
Contenido de los componentes orgánicos	1.0 %
Resistencia a compresión con la deformación de 10%	0.01 Mpa
Resistencia a compresión con 10% de deformación en estado humedecido	0.007 Mpa
Absorción de agua	1.0 %
Permeabilidad al paso de vapor de agua	0.054 mg/m·h·Pa
Compresibilidad	10 %

Durante la fabricación, los paneles de lana mineral se colocan entre los termoperfiles formando un relleno efectivo del termoarmazón. Por tal composición, cabe razón para llamar dicha estructura como un aislante térmico armado. Hoy en día es una solución única y eficaz que aporta, como mínimo, 15 cm de la capa de aislamiento térmico sin pérdida adicional del espacio, ni aumento de la sección del cerramiento.



Fig. 50. Vista posterior del proceso de trasdosado del panel SPANS. Fuente: Elaboración propia.

Referencia al estándar Passivhaus

A día de hoy el estándar Passivhaus se considera como el estándar de edificación más eficaz energéticamente y, al mismo tiempo más restrictivo. Así, el instituto alemán recomienda, para limitar la demanda energética, que la estructura del cerramiento debería tener el coeficiente de transmitancia térmica de $0.3 \text{ W/m}^2\text{K}$. En la tabla siguiente se

demuestran algunos materiales de construcción y sus espesores necesarios para alcanzar el coeficiente de transmitancia térmica indicado.

Tabla 6. Espesores necesarios de los distintos materiales para conseguir las exigencias del Instituto Passivhaus. Fuente: Instituto Passivhaus, Alemania.

Material	Transmitancia térmica W/m ² K	Espesor necesario para alcanzar 0.3 W/m ² K
Hormigón	2.3	7.30
Tabique macizo	0.8	2.50
Madera conifera	0.13	0.40
Aislamiento estándar	0.04	0.13
Aislamiento mejorado	0.025	0.08

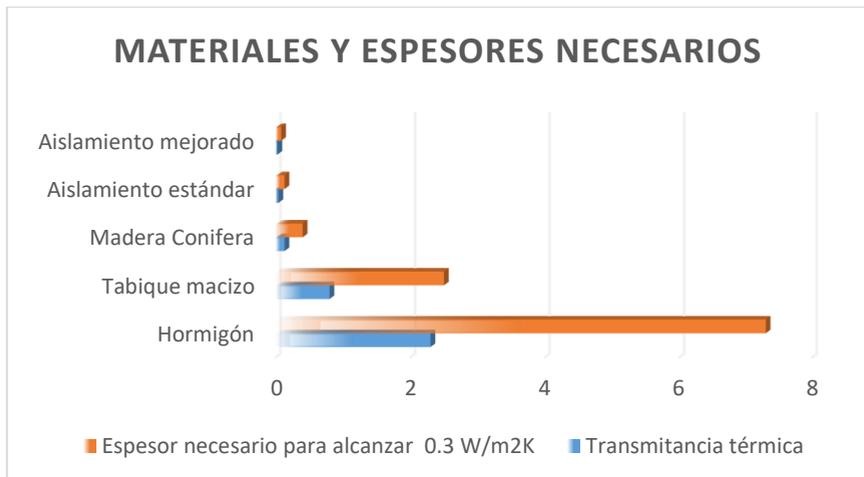


Fig. 51. Comparación de los espesores necesarios para conseguir transmitancia de 0.3 W/m²K. Fuente: Elaboración propia. Datos: Instituto Passivhaus, Alemania.

El modelo de panel SPANS con las características medias alcanza valor de transmitancia térmica de 0.2 W/m²K.

Según otro estudio realizado por Instituto Passivhaus se han determinado los niveles necesarios de aislamiento térmico para varias zonas climáticas de Italia. Los resultados muestran que para Roma el espesor de aislamiento debe ser de 10-15 cm, para Milano de 25 cm.

Así, teniendo en cuenta amplio espectro de los espesores de los paneles SPANS™ (de 10 a 35 cm según las exigencias de cada zona climática), la solución SPANS™ cumple con facilidad el estándar Passivhaus y no causa inconvenientes en cuanto a modificación de espesores habituales en edificación.

Referencia al Documento Básico HE-1 (Apéndice E)

El Código Técnico de Edificación en su apartado HE sobre Ahorro de energía hace referencia a los valores orientativos de los parámetros característicos de la envolvente térmica proporcionando los valores de transmitancia térmica deseada para cada zona climática de España. A continuación, se demuestra dicha tabla:

Tabla 7. Transmitancia del elemento según zona climática. Fuente: Código Técnico de la Edificación, 2014.

Transmitancia del elemento (W/m ² K)	Zona climática					
		A	B	C	D	E
U _M	0.94	0.50	0.38	0.29	0.27	0.25
U _S	0.53	0.53	0.46	0.36	0.34	0.31
U _C	0.50	0.47	0.33	0.23	0.22	0.19

U_M - transmitancia térmica de muros de fachada y cerramientos en contacto con el terreno.

U_s – Transmitancia térmica de suelos (forjados en contacto con el aire exterior)

U_c – Transmitancia térmica de cubiertas

En este caso vemos, que nos afectan, generalmente, los valores de U_M de trasmittancia térmica de muros de fachada y cerramientos en contacto con el terreno. Según el estudio realizado, los paneles SPANS™ cumplen y superan los valores exigidos por CTE-HE1 (Apéndice E) y cumplen con los valores deseados en todas las zonas climáticas de España con tan solo 2 espesores: 0.19 m y 0.24 m con los valores de transmitancia térmica U_M de 0.31 W/m²K y 0.227 W/m²K respectivamente.

ZONAS CLIMÁTICAS DE ESPAÑA	SPANS	CERRAMIENTO A BASE DE LADRILO	CERRAMIENTO A BASE DE BLOQUES DE HORMIGÓN
<p>ZONA α Capitales de provincias: Las Palmas de Gran Canaria, Santa Cruz de Tenerife</p> <p>Transmitancia límite según CTE-HE1 U = 0.94 W/m²K</p>	<p>Capacidad panel: 30 (hasta 4 paneles) Espesor total: 0.78 m (0.19 m) Aislamiento: Lana mineral de rocas basálticas (100) (W/m²): 13 cm Transmitancia total (U) cerramiento: 0.28 W/m²K</p>	<p>Capacidad panel: 10 Espesor total: 0.24 m Aislamiento: EPS con GVL (P 100) (W/m²): 7 cm Transmitancia total (U) cerramiento: 0.28 W/m²K</p>	<p>Capacidad panel: 10 Espesor total: 0.20 m Aislamiento: Transmitancia total (U) cerramiento: 0.31 W/m²K</p>
<p>ZONA A Capitales de provincias: Huelva, Almería, Cádiz, Málaga, Sevilla</p> <p>Transmitancia límite según CTE-HE1 U = 0.60 W/m²K</p>	<p>Capacidad panel: 30 (hasta 4 paneles) Espesor total: 0.78 m (0.19 m) Aislamiento: Lana mineral de rocas basálticas (100) (W/m²): 13 cm Transmitancia total (U) cerramiento: 0.21 W/m²K</p>	<p>Capacidad panel: 10 Espesor total: 0.24 m Aislamiento: EPS con GVL (P 100) (W/m²): 5 cm Transmitancia total (U) cerramiento: 0.45 W/m²K</p>	<p>Capacidad panel: 10 Espesor total: 0.20 m Aislamiento: EPS con GVL (P 100) (W/m²): 4 cm Transmitancia total (U) cerramiento: 0.47 W/m²K</p>
<p>ZONA B Capitales de provincias: Tarragona, Castellón, Valencia, Palma de Mallorca, Murcia, Córdoba, Sevilla, Cádiz.</p> <p>Transmitancia límite según CTE-HE1 U = 0.38 W/m²K</p>	<p>Capacidad panel: 30 (hasta 4 paneles) Espesor total: 0.78 m (0.19 m) Aislamiento: Lana mineral de rocas basálticas (100) (W/m²): 13 cm Transmitancia total (U) cerramiento: 0.31 W/m²K</p>	<p>Capacidad panel: 10 Espesor total: 0.24 m Aislamiento: EPS con GVL (P 100) (W/m²): 9 cm Transmitancia total (U) cerramiento: 0.33 W/m²K</p>	<p>Capacidad panel: 10 Espesor total: 0.20 m Aislamiento: EPS con GVL (P 100) (W/m²): 6 cm Transmitancia total (U) cerramiento: 0.37 W/m²K</p>

Fig. 52. Comparativa de los espesores de las soluciones de cerramientos exteriores según las zonas climática de España (Parte 1). Fuente: Elaboración propia.

ZONAS CLIMÁTICAS DE ESPAÑA	SPANS	CERRAMIENTO A BASE DE IADRI I O	CERRAMIENTO A BASE DE BLOQUES DE HORMIGÓN
<p>ZONA C</p> <p>Capitales de provincias: Badajoz, Barcelona, Bilbao, Cáceres, La Coruña, Granada, Jaén, Pontevedra, Santander, Toledo.</p> <p>Transmitancia límite según CTE DB-HE-1 $U = 0,29 \text{ W/m}^2\text{K}$</p>	<p>Capacidad sistema: C (pane + sistema) Capacidad: 0,445 W/m²K Aislamiento: Lana mineral de roca básica (0,090 W/mK) 10 cm Transmitancia total (U) cerramiento: 0,314 W/m²K</p>	<p>Capacidad sistema: NO Capacidad: 0,445 W/m²K Aislamiento: EPS 100 (0,035 W/mK) 14 cm Transmitancia total (U) cerramiento: 0,289 W/m²K</p>	<p>Capacidad sistema: NO Capacidad: 0,445 W/m²K Aislamiento: EPS 100 (0,035 W/mK) 8 cm Transmitancia total (U) cerramiento: 0,287 W/m²K</p>
<p>ZONA D</p> <p>Capitales de provincias: Ciudad Real, Cuenca, Coruña, Guadalupe, Huesca, Lérida, Logroño, Lugo, Madrid, Cuenca, Oviedo, Palencia, Pamplona, Salamanca, San Sebastián, Segovia, Teruel, Valladolid, Vitoria, Zamora, Zaragoza.</p> <p>Transmitancia límite según CTE DB-HE-1 $U = 0,27 \text{ W/m}^2\text{K}$</p>	<p>Capacidad sistema: D (pane + sistema) Capacidad: 0,278 W/m²K Aislamiento: Lana mineral de roca básica (0,090 W/mK) 10 cm Transmitancia total (U) cerramiento: 0,297 W/m²K</p>	<p>Capacidad sistema: NO Capacidad: 0,278 W/m²K Aislamiento: EPS 100 (0,035 W/mK) 18 cm Transmitancia total (U) cerramiento: 0,277 W/m²K</p>	<p>Capacidad sistema: NO Capacidad: 0,278 W/m²K Aislamiento: EPS 100 (0,035 W/mK) 8 cm Transmitancia total (U) cerramiento: 0,277 W/m²K</p>
<p>ZONA E</p> <p>Capitales de provincias: Ávila, Burgos, León, Soria.</p> <p>Transmitancia límite según CTE DB-HE-1 $U = 0,25 \text{ W/m}^2\text{K}$</p>	<p>Capacidad sistema: D (pane + sistema) Capacidad: 0,244 W/m²K Aislamiento: Lana mineral de roca básica (0,090 W/mK) 10 cm Transmitancia total (U) cerramiento: 0,267 W/m²K</p>	<p>Capacidad sistema: NO Capacidad: 0,244 W/m²K Aislamiento: EPS 100 (0,035 W/mK) 18 cm Transmitancia total (U) cerramiento: 0,247 W/m²K</p>	<p>Capacidad sistema: NO Capacidad: 0,244 W/m²K Aislamiento: EPS 100 (0,035 W/mK) 8 cm Transmitancia total (U) cerramiento: 0,247 W/m²K</p>

Fig. 53. Comparativa de los espesores de las soluciones de cerramientos exteriores según las zonas climática de España (Parte 2). Fuente: Elaboración propia.

2.9.3. Análisis térmico del cerramiento SPANS

Para una comprobación del comportamiento térmico de los paneles SPANS se ha utilizado un *software* "THERM 7.4". El análisis térmico nos indicará una posible presencia de puentes térmicos (si los hay), comportamiento térmico de cada una de las capas teniendo en cuenta las condiciones interiores y exteriores, así como los flujos de calor dentro de la sección del cerramiento formado por los paneles industrializados SPANS.

A continuación, se demuestran los datos "input" utilizados para esta simulación:

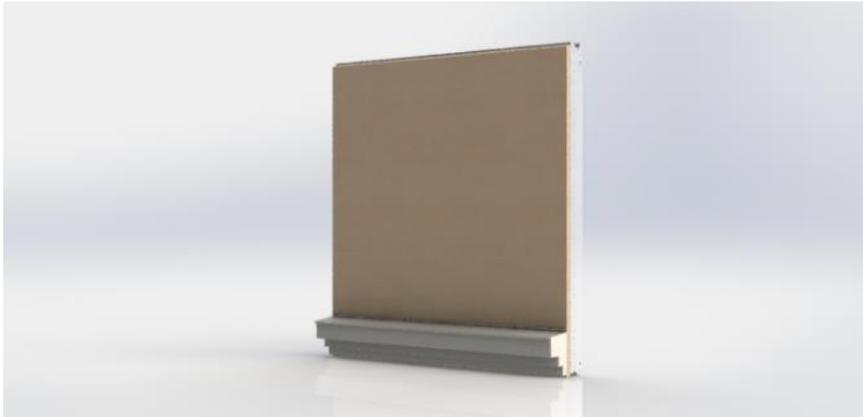


Fig. 54. Visualización de un panel de paño ciego con elemento arquitectónico.
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8. Características de los materiales empleados para simulación térmica del paño ciego del panel SPANS.

Se ha utilizado el panel SPANS ciego de un espesor de 15 cm ya que es una medida de mayor fabricación.

Capa	Conductividad térmica	Espesor
Capa interior de la sección: Paneles de yeso machihembrados perforados	0.35 W/mk	8 cm
Capa exterior de la sección: Termoenfocado (monocapa) “TermoUm”	0.078 W/mK	3 cm

Relleno de aislamiento térmico de lana de roca basáltica.	0.041 W/mK	Correspondiente al espesor del núcleo de panel (15 cm)
Termoarmazón de acero galvanizado 0.14% C	62 W/mK	

El paño ciego del panel SPANS

A continuación, se muestra la sección del panel ciego sometida al análisis térmico. Tras importar dicha sección al programa THERM 7.4²⁶ se procede a la determinación de las características de cada elemento mediante el dibujo por método de rectángulos y polígonos asignando a cada elemento su material y conductividad térmica.

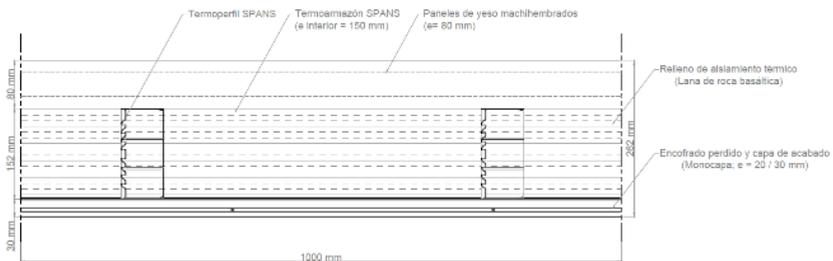


Fig. 55. Sección del panel SPANS 150. Fuente: Elaboración propia.

²⁶ THERM – programa informático dedicado a los estudios de comportamiento térmico de los elementos.



Fig. 56. Sección del panel SPANS 150. Preparación para el análisis. Fuente: Elaboración propia.

Una vez dibujados los rectángulos y polígonos y asignadas las características térmicas de cada elemento, se procede a la generación de las condiciones del contorno indicando las características del ambiente interior y exterior junto con la indicación de la transmitancia térmica superficial del cerramiento en contacto con el aire exterior (el programa admite la medida de W/m^2K) según el Código Técnico de la Edificación, DA DB-HE/1, Tabla 1.

Tabla 1 Resistencias térmicas superficiales de cerramientos en contacto con el aire exterior en $m^2 \cdot K / W$

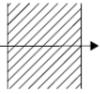
Posición del cerramiento y sentido del flujo de calor		R_{se}	R_{si}
Cerramientos verticales o con pendiente sobre la horizontal $>60^\circ$ y flujo Horizontal		0,04	0,13
Cerramientos horizontales o con pendiente sobre la horizontal $\leq 60^\circ$ y flujo ascendente (Techo)		0,04	0,10
Cerramientos horizontales y flujo descendente (Suelo)		0,04	0,17

Fig. 57. Extracto del Código Técnico de Edificación. Determinación de resistencias térmicas superficiales. Fuente: Código Técnico de Edificación, 2014.

✕

INTERIOR SPANS

Model: Simplified

Convection/Linearized Radiation

Temperature: 20 C

Film Coefficient: 7.692 W/m2-K

Relative Humidity: 50 %

Close

Cancel

New

Delete

Rename

Color

Save Lib

Save Lib As

Load Lib

Protected

Fig. 58. Asignación de las características del aire interior en programa THERM.

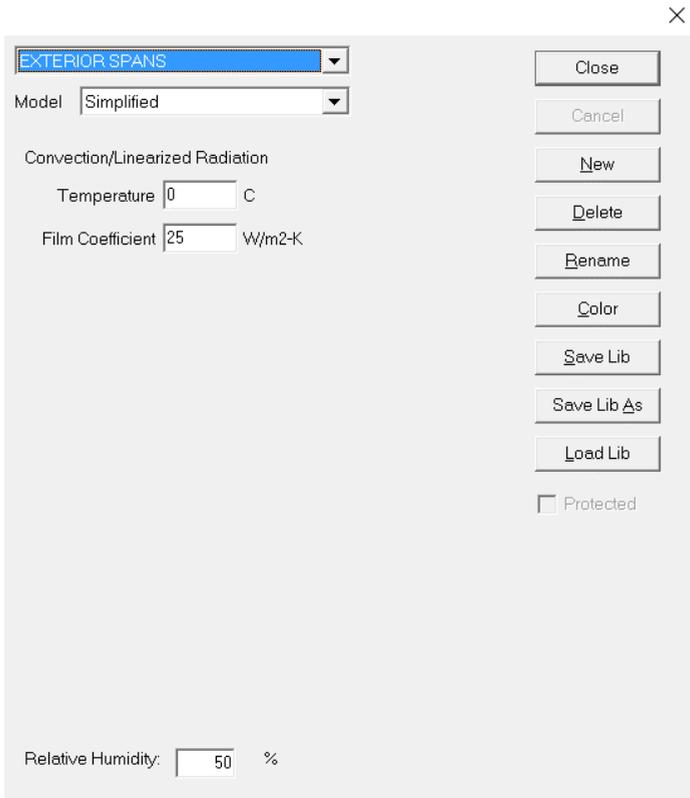


Fig. 59. Asignación de las características del aire exterior en programa THERM.

A continuación, se procede a realizar el cálculo térmico por el medio de programa y obtención de los resultados de simulación:

En ésta simulación el programa nos muestra las líneas de isotermas a lo largo de la sección indicando las temperaturas de cada una. Mayor concentración de las isotermas indica las zonas de mayor estrés térmico aunque en este caso concreto no existen las concentraciones extremas.

Así mismo, podemos observar el comportamiento de las isotermas con la presencia de los termoperfiles SPANS con termoranuras. Las isotermas siguen el recorrido a través de las dichas ranuras.

Las temperaturas máxima y mínima en la sección corresponden a los **19.4°C** en la superficie interior y **0.19°C** en la superficie exterior. Por lo tanto, el salto térmico dentro de la sección corresponde a **19.21°C**.

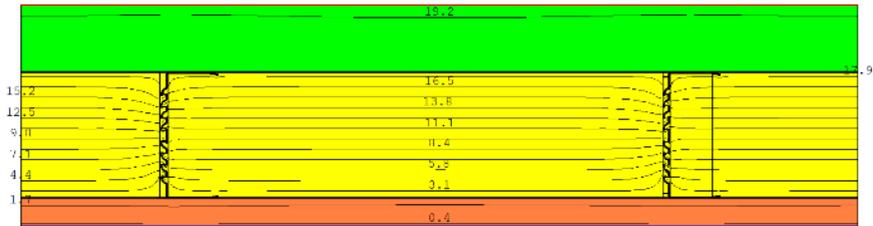
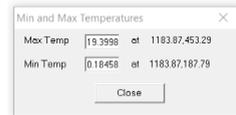


Fig. 60. Visualización de Isotermas dentro de la sección del panel con las condiciones asignadas. Fuente: Elaboración propia.

El programa THERM 7.4 permite realizar un análisis completo de la sección. La siguiente simulación corresponde a los vectores de flujo térmico que indican una cantidad y dirección del flujo térmico dentro de la sección de análisis. La longitud de los vectores representa a la cantidad de calor que atraviesa un elemento finito. Cabe destacar que la concentración de los vectores de flujo de calor no, obligatoriamente, indican la presencia de un puente térmico sino el camino de mayor flujo.



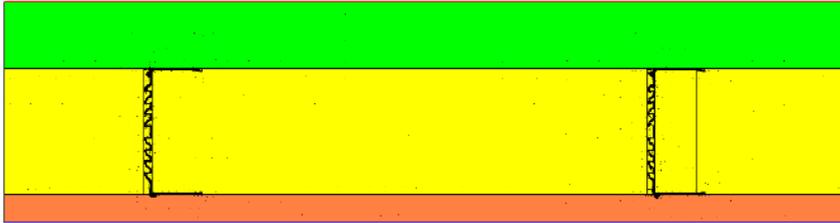


Fig. 61. Visualización de las líneas de flujo de calor. Fuente: elaboración propia.

Así, podemos observar que la mayor concentración del flujo de calor corresponde a la jona del vastidor metálico formado por termoperfiles. Sin embargo, la presencia de los termoperfiles no perjudica a las características térmicas del cerramiento.

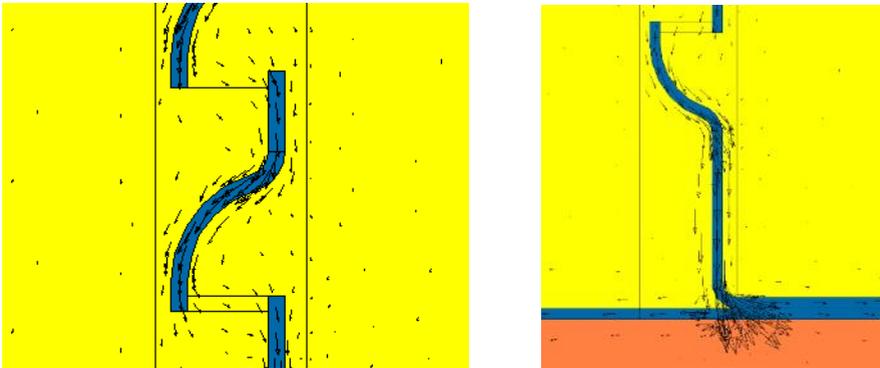


Fig. 62. Flujo térmico a través del termoperfil SPANS dentro de la estructura del cerramiento. Fuente: Elaboración propia

La siguiente simulación corresponde a un análisis de rayos infrarrojos con escala de colores, lo que permite visualizar el gradiente de temperatura dentro de la sección del panel. Cada temperatura se representa con diferentes colores según la leyenda de colores representada a continuación.



Fig. 63. Gradiente térmico de rayos infrarrojos de la sección del panel SPANS con una leyenda de colores. Fuente: Elaboración propia.

Por último, el programa ofrece los resultados de la magnitud del flujo de calor según la escala de colores representada a continuación. Dicha simulación permite visualizar las zonas de mayor flujo dentro del panel y darse cuenta de los elementos que reciben la mayor carga del flujo.

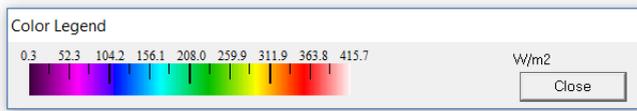


Fig. 64. Magnitud del flujo térmico dentro de la sección del panel SPANS con una leyenda de colores. Fuente: Elaboración propia.

Panel de esquina SPANS

Uno de los puntos más conflictivos en la construcción de la obra nueva que, a su vez, causa problemas graves en cuanto a la salubridad del interior de una vivienda y falta de aislamiento térmico originando puente térmico – son las esquinas.

Un puente térmico originado en la esquina de un cerramiento es bastante habitual en las viviendas y da lugar a una aparición de las condensaciones. Por lo tanto, las esquinas requieren un especial cuidado, porque es la zona donde aumenta el flujo de calor y, por lo tanto, la temperatura de la superficie en una esquina se disminuye con respecto al resto de cerramiento. Con estas condiciones, lo más probable es que aparezcan las condensaciones en el interior. Incluso, si no se produjera condensación, un punto frío puede desarrollar moho si la humedad relativa en ese punto es cercana a 80%.

Habitualmente, dichas condensaciones son derivadas de una ejecución “*in situ*” no adecuada y a la discontinuidad del aislamiento térmico en zonas de las esquinas.

Así se manifiesta un puente térmico en una simulación del análisis térmico de una esquina:



Fig. 65. Efectos de una condensación en zona de un puente térmico. Fuente: Guía del estándar passivhaus. Fenercom. 2011

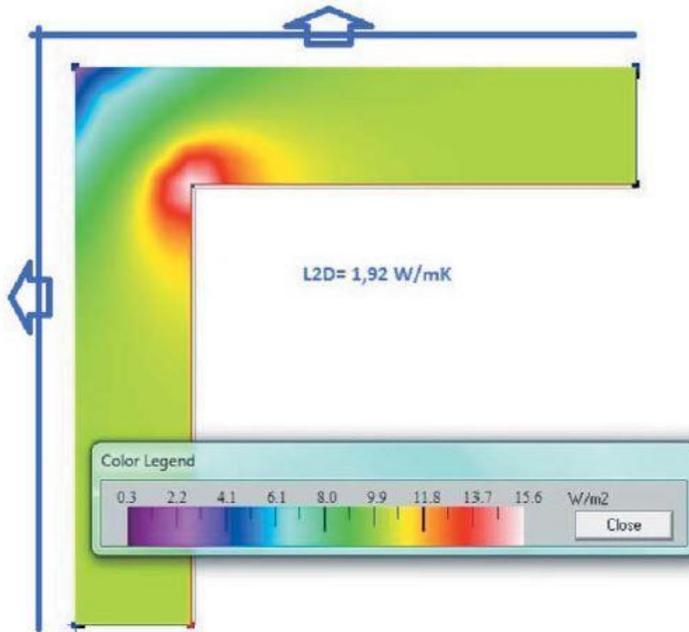


Fig. 66. Valores de flujo de calor en la zona de esquina de un cerramiento tradicional. Fuente: Guía del estándar passivhaus. Fenercom. 2011

A continuación, se demostrará una simulación del análisis térmico de un panel SPANS de la esquina en su sección horizontal, manteniendo los mismos valores paramétricos que en la simulación anterior (caso de tramo recto del cerramiento formado por los paneles SPANS).

Para esta simulación se ha utilizado el panel especial en forma de esquina que tiene una misión de cerrar el contorno térmico formado por los paneles.



*Fig. 67. Panel de esquina SPANS con elemento arquitectónico (cornisa).
Fuente: Elaboración propia.*

Los datos obtenidos se pueden comparar con una simulación de un cerramiento tradicional con aislamiento mejorado teniendo en cuenta su menor salto térmico de la simulación (6.5°C exterior y 20°C interior.) En esta comparación se podrá observar que la temperatura en la superficie interior de una solución tradicional llega a ser de 17,1°C lo que indica que existe una diferencia importante de casi 3 grados entre la temperatura del cerramiento y temperatura interior de la vivienda.

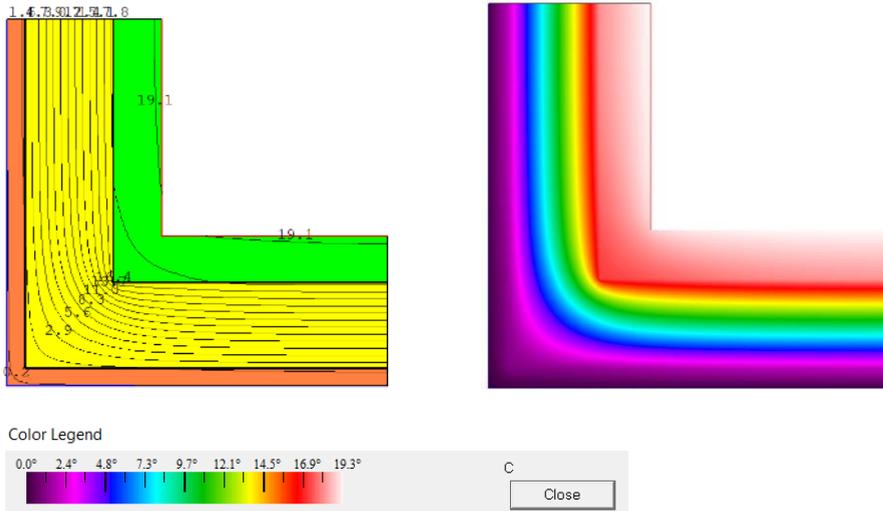


Fig. 68. Simulación térmica del panel de esquina SPANS con las visualizaciones de isotermas y gradiente térmico. Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones de la simulación

Esta simulación afirma lo escrito anteriormente sobre el aumento del recorrido de un flujo a través de los termoperfiles SPANS.

1. La primera simulación ha demostrado que la temperatura en la superficie exterior del cerramiento (tramo recto) se conserva superior a 0°C, lo que significa la ausencia de unas condensaciones superficiales y, por lo tanto, se evita un problema bastante extendido en los edificios – manchas sobre la superficie de fachada originadas por acumulación del polvo y partículas contenidos en el aire. Al evitar las condensaciones, las fachadas no acumularán dichas partículas por medio de agua.

2. La simulación no indica la presencia de los puentes térmicos en la estructura del panel.
3. El panel de esquina no presenta puentes térmicos y mejora las soluciones actuales en la construcción de cerramientos permitiendo aguantar mejores saltos térmicos que una solución tradicional.
4. Eficiencia de la solución SPANS para los cerramientos permitirá equipar un edificio con un sistema pasivo de conservación de la energía (calor).

2.9.4. Sistema integrado de anclaje regulable

Los paneles de cerramiento SPANS™ llevan en su interior un sistema de los anclajes móviles llamado NOK v04 que se diferencia de los sistemas conocidos por su gran flexibilidad frente a cualquier tipo de desperfecto del forjado sobre el cual se instala el cerramiento formado por los paneles SPANS™. Dicho sistema se compone de dos elementos que se interactúan entre sí. El primero, en forma de gancho, se ve integrado en el propio cuerpo del panel y se posiciona en las zonas de extremos superiores del mismo. Estos elementos poseen mecanismo de movimiento por rosca y permiten ajustar cada lateral (cada lado) del panel en sentido vertical con mayor facilidad y suavidad.

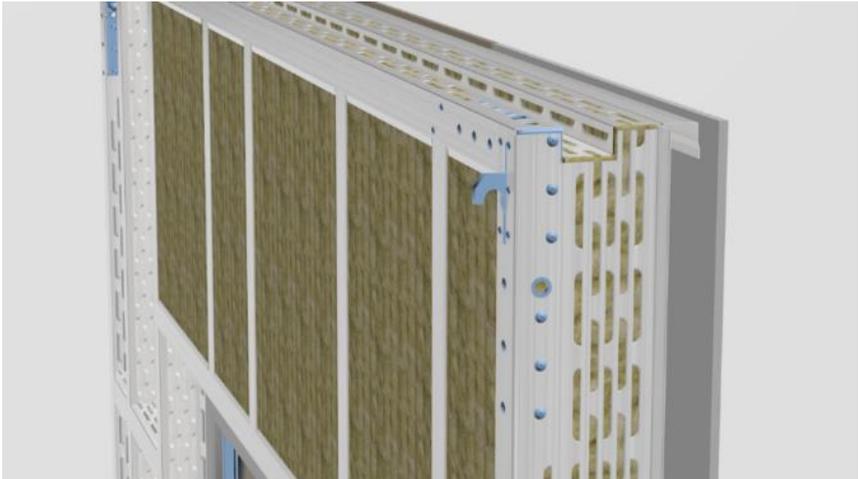
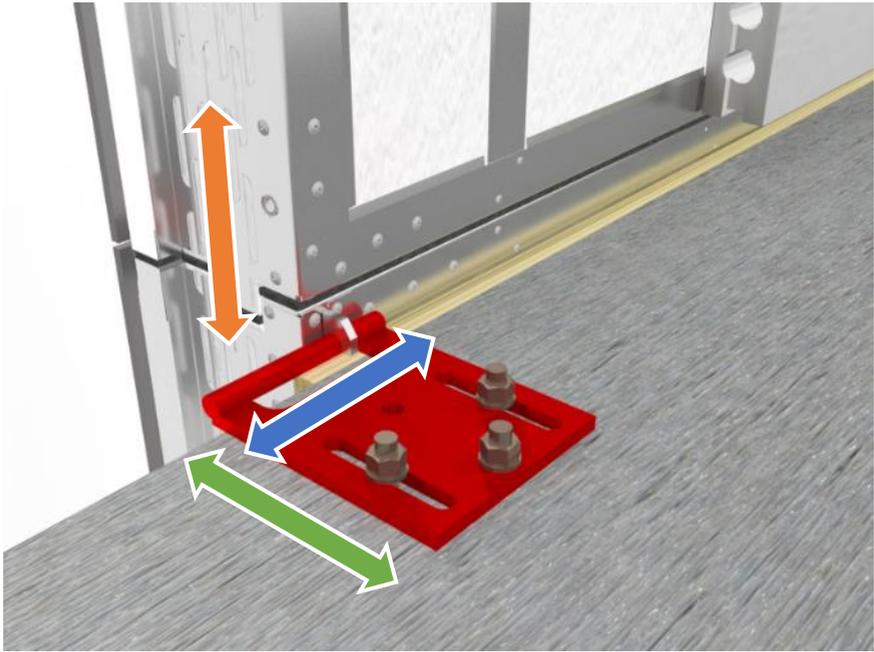


Fig. 69. Panel de cerramiento SPANS™. Gancho móvil. Fuente: Elaboración propia.

Los “ganchos” son destinados para transmitir la carga de cada panel sobre el forjado mediante un segundo componente del sistema NOK v04. Este elemento de apoyo representa a un elemento plano metálico en forma de placa con ranuras de regulación que se ancla al propio forjado y permite corregir los errores y desplomes de los forjados en el plano horizontal.

Sobre este elemento plano del sistema se cuelga el panel por el medio de los “ganchos”.



*Fig. 71. Sistema de anclaje NOK v04 con indicación de direcciones de ajustes.
Fuente: Elaboración propia.*



*Fig. 70. Imagen del sistema de anclaje NOK v04 puesto en obra.
Fuente: Simplex Grup.*

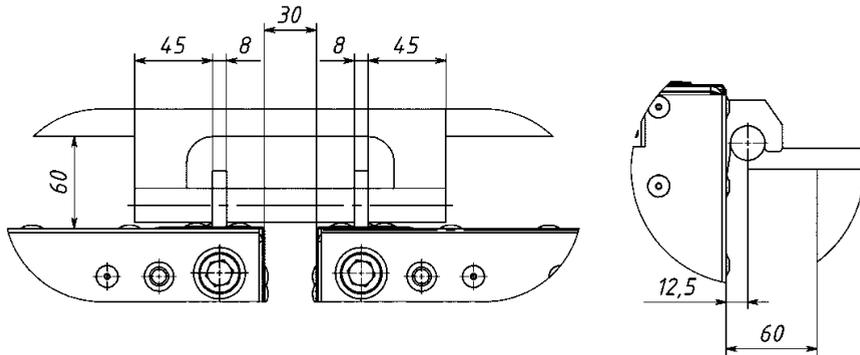


Fig. 72. Esquema de instalación del panel sobre el anclaje de apoyo NOK v04.
Fuente: Elaboración propia.

El sistema NOK v04 permite fácil ajuste en tres dimensiones sin necesidad de la maquinaria pesada y garantizan la mayor precisión de montaje. De esta manera se consigue corregir los errores e imperfecciones derivados de la ejecución de la estructura portante y garantizar una superficie plana de la fachada con la independencia de los posibles desplomes de los forjados. De esta manera, el cerramiento formado por los paneles SPANS se queda perfectamente nivelado y alineado.

En cuanto a niveles de seguridad y resistencia, el sistema de anclaje NOK v04 es capaz de absorber cualquier tipo de las acciones interiores y exteriores y dotado de 355 Mpa. Esto permite aguantar el peso propio de cada panel y las acciones de viento a la altura de 100 metros y cualquier acción de uso en el interior del edificio.

2.9.5. Aislamiento acústico

En los últimos años se ha subido el nivel de contaminación acústica en nuestras ciudades haciéndolos más ruidosas. Esta contaminación

acústica proviene desde los diversos orígenes (como se muestra en la imagen abajo) y puede causar muchos efectos nocivos para personas y por lo tanto nosotros deseamos y exigimos el confort acústico en nuestros hogares, oficinas, etc.

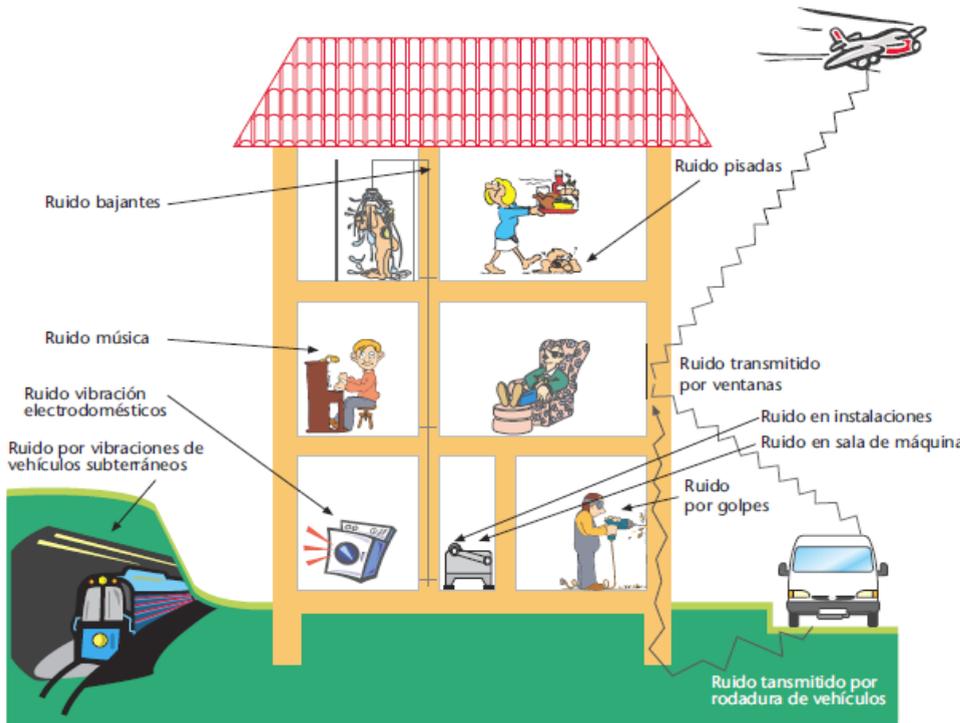


Fig. 73. Orígenes de la contaminación acústica. Fuente: Manual de aislamiento acústico. www.composan.com (14.04.2016)

Habitualmente, nos podemos encontrar con los problemas más frecuentes de aislamiento acústico en las fachadas que son:

- Ruido exterior transmitido a través de cerramientos y particiones de edificios
- Falta de sellado de las juntas y huecos
- Falta de tratamiento adecuado de las ventanas y persianas. Presencia de las persianas tipo “monoblock” enrollables perjudican tanto aislamiento acústico como aislamiento térmico de los edificios.
- Ruido aéreo originado en las rejillas de ventilación. Al igual que en el caso de las persianas enrollables. Las rejillas de ventilación en el cuerpo de cerramiento perjudican, de forma aún más grave, el aislamiento tanto acústico como térmico.

Haciendo la referencia al Código Técnico de Edificación, y más concretamente a su apartado HR sobre protección contra ruido, cabe destacar los niveles de aislamiento acústico $D_{2m,nT,Atr}$ que deben cumplir los cerramientos de edificios dependiendo del índice de ruido día L_d . Los valores del índice de ruido se pueden consultar en los mapas estratégicos de ruido (mapa con referencia al aeropuerto de Valencia se adjunta en el Anexo). A continuación, se muestra la tabla 2.1. del Código Técnico de Edificación, DB-HR:

Tabla 9. Valores de aislamiento a ruido aéreo entre un recinto protegido y el exterior, en función del índice de ruido día, L_d . Fuente: Código Técnico de la Edificación (Tabla 2.1.) DB-HR.

L_d (dBA)	Uso del edificio			
	Residencial y hospitalario		Cultural, sanitario, docente y administrativo	
	Dormitorios	Estancias	Estancias	Aulas
$L_d < 60$	30	30	30	30
$60 < L_d \leq 65$	32	30	32	30
$65 < L_d \leq 70$	37	32	37	32
$70 < L_d \leq 75$	42	37	42	37
$L_d > 75$	47	42	47	42

Sin duda, el método más efectivo para aislar las estancias interiores del ruido exterior es la construcción de una envolvente “flotante” del edificio que esté totalmente aislada de los elementos que sustentan la construcción. Así se consigue combatir tanto ruido aéreo que viene desde el exterior como ruido de impacto y vibraciones. Las soluciones tradicionales no son capaces cumplir este método porque la mayoría de ellas necesitan un plano de apoyo firme en cada nivel de edificación (forjado). Esto ocurre con las soluciones a base de ladrillo cerámico o bloque de hormigón. En cambio, la solución de muro cortina parece ser una solución “flotante” pero su tipo de anclaje y la superficie de contacto con la estructura no le permite gozar de las características efectivas de aislamiento acústico.

La solución SPANS para los cerramientos de edificios se destaca entre otras soluciones existentes por ser una envolvente totalmente flotante y tener muy poca superficie de contacto con la estructura portante del edificio. Esta superficie de contacto se reduce hasta dos ganchos por panel de 8 mm de espesor y el contacto entre panel y forjado se realiza con un material termoacústico, como por ejemplo lana mineral de roca basáltica, para evitar libre transmisión de ruidos, vibraciones y flujos de calor entre diferentes niveles. Es un sistema que protege el interior de la contaminación acústica independientemente de la ubicación del edificio (zona urbana, interurbana, vías de circulación, etc.).

Como bien sabemos, el propio cerramiento, por ser un elemento sólido, puede transmitir las vibraciones como una consecuencia de un golpe o impacto directo sobre el mismo. Es debido a que la energía cinética se convierte a una energía vibratoria y se transmite por los elementos sólidos hasta que la energía se disipe con el tiempo. Para que los cerramientos de nuestros edificios nos puedan servir tal como deben, la transmisión de las vibraciones debe ser cortada en un momento o, mejor dicho, en una zona determinada para que los impactos originados en un nivel no tengan capacidad de molestar a los habitantes de los niveles vecinos.

La unión horizontal entre dos paneles consecutivos evita una libre transmisión de vibración por impacto del panel inferior al superior gracias al uso de la banda elástica pre-comprimida que cumple función de relleno y absorbe la onda vibratoria.

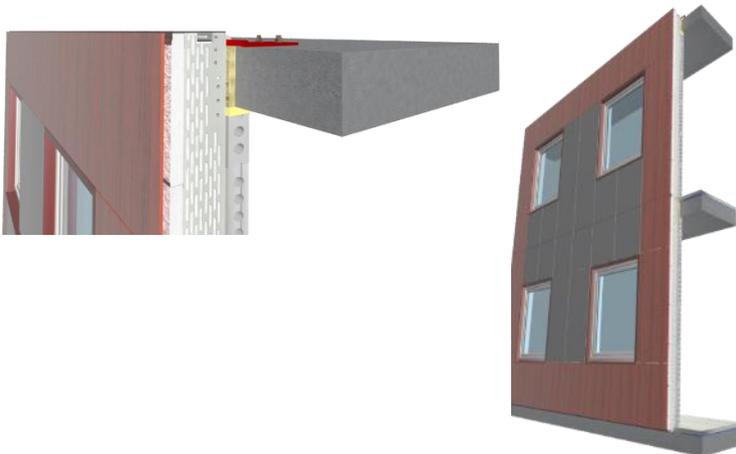


Fig. 74. Fragmento de cerramiento industrializado formado por los paneles SPANS™ y su conexión con los forjados. Fuente: Elaboración propia

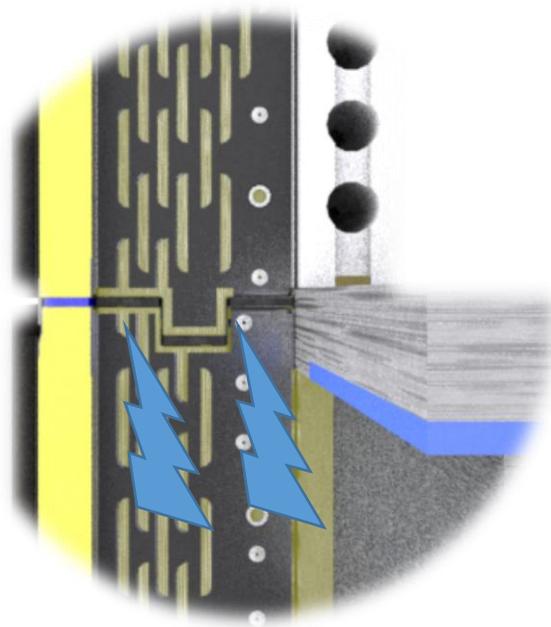
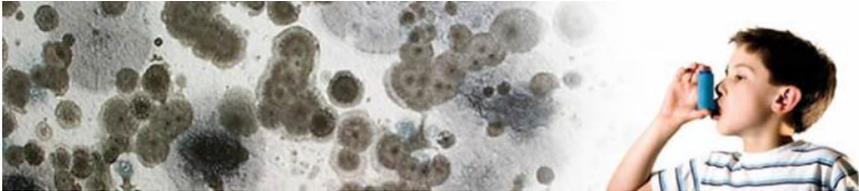


Fig. 75. Detalle de la junta horizontal capaz de absorber vibraciones procedentes del panel adyacente. Fuente: Elaboración propia.

2.9.6. Estudio de aparición de las condensaciones

“Nuestros hogares merecen ser salubres.”²⁷



Cuando un cerramiento se queda, por su composición, impermeable al paso de vapor de agua se producen las condensaciones del agua existente en el ambiente interior de la vivienda. Estas condensaciones, habitualmente, se manifiestan en forma de vaho en cristales hongos, manchas negras de moho en las paredes y agua proveniente de la condensación, así como olor a humedad.

Las actuaciones para prevenir los efectos nocivos para salud debidos a las condensaciones consisten en el empleo de los sistemas adecuados de cerramientos que sean capaces de proporcionar la mejor transpirabilidad posible de una vivienda y utilización de los sistemas de ventilación mecánica adecuados para un espacio residencial que requiere un alto nivel de salubridad.

Los paneles SPANS posee una característica que les destaca del resto de las soluciones y es una transpirabilidad necesaria para una vivienda o un edificio de altos requisitos de salubridad como, por ejemplo, hospitales, residencias para mayores, etc. Los paneles SPANS están dotados de un coeficiente de resistencia al paso de vapor de agua de 0,09 – 0,11 ($m^2 \cdot h \cdot Pa/mg$).

²⁷ Opinión personal del autor

El empleo de los sistemas SPANS es un camino a una construcción de espacios salubres y confortables para sus habitantes.

Para realizar la comprobación de las condensaciones se utiliza el programa eCondensa 2.0 y se comprueban dos zonas. La primera – el cuerpo en la zona media del panel y la segunda corresponde al perfil de armazón. Analizando la primera zona del cuerpo del panel, con previo ajuste de los datos climáticos correspondientes a la zona de Valencia, componemos la sección del panel con las siguientes características:

Nombre de capa	Espe- sor (cm)	Conducti- vidad (W/m ² ·K)	Coeficien- te de permeabi- lidad al vapor de agua (mu)	Resiste- ncia térmica (m ² ·K/ W)	Transmit- ancia térmica (W/m ² ·K)
Termoenfo- scado	3	0.078	4.4	0.385	2.6
MW Lana mineral basáltica (0.040 W/m²K)	15	0.040	1	3.704	0.27
Paneles de yeso machihemb- rados	8	0.56	4	0.143	7
TOTALES	26			4.401	0.227

*La comprobación se realiza a basa de panel con espesor total de 0.26 m.

Selección de elementos constructivos

Biblioteca CTE - LIDER:

- Píedras y suelos
- Metales
- Maderas
- Homogéneos
- Morteros
- Yesos
- Enlucidos
- Plásticos
- Cerámicos
- Cauchos
- Sellantes
- Bituminosos
- Textiles
- Vidrios
- Asiéntos**
- Fábricas de ladrillo
- Fábricas de bloque cerámico de arcilla aligerada
- Fábricas de bloque de hormigón convencional
- Fábricas de bloque de hormigón aligerado
- Forjados unidireccionales
- Forjados reticulares
- Losas alveolares
- Cámaras de aire

Capas desde el exterior al interior:

Nombre	e	lambda	mu	R	U
Termoenfoscado	3	0,078	4,4	0,384615	2,600
M/V Lana mineral [0.04 W/(mK)]	15	0,0405	1	3,703704	0,2700
Yeso, de alta dureza 1200 < d < 1500	8	0,56	4	0,142857	7,00
TOTALES	26	0		4,401	0,227

Como podemos ver, el valor de transmitancia térmica de la composición estándar del panel SPANS es igual a **0.227 W/m²K**.

Tabla Resultado

Nombre	e	lambda	mu	U	Phi_p	Phi_s	Comentarios
Termoenfoscado	3	0,078	4,4	0,384615	2,600	311,771	562,597 E
M/V Lana mineral [0.04 W/(mK)]	15	0,0405	1	3,703704	0,2700	961,089	2280,767 E
Yeso, de alta dureza 1200 < d < 1500	8	0,56	4	0,142857	7,00	1286,332	2073,023 E

Las capas se ordenan de exterior a interior. El dato de construcción corresponde a la interfaz entre cada capa y la siguiente, pudiendo darse en el interior la capa o el material existente.

Ted PC3 3 Inicial 02 73 Dato: (5463)
 Int.C/L 25 Modif.FCL 50 Param: 087
 Mod: P F N A M J O A S O R D B CUMPLE

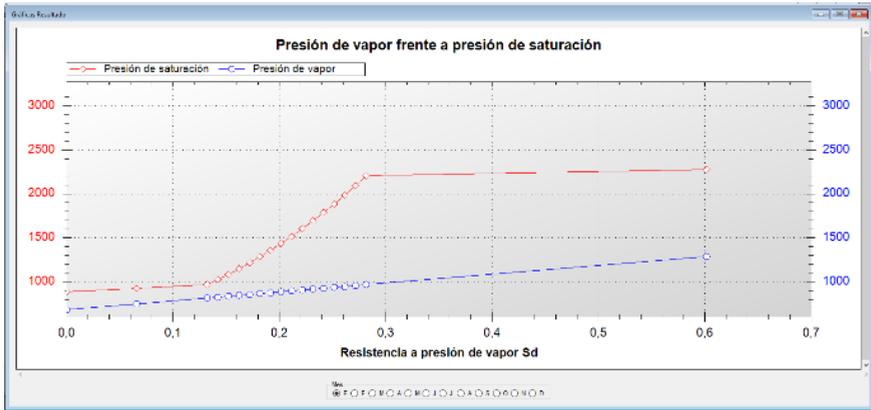


Fig. 76. Gráfica de presión de vapor frente a presión de saturación en el mes de enero. Fuente: Elaboración propia.

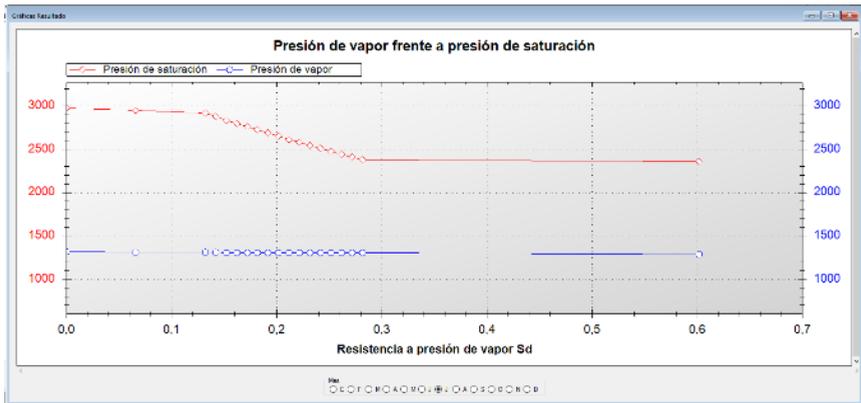


Fig. 77. Gráfica de presión de vapor frente a presión de saturación en el mes de julio. Fuente: Elaboración propia.

Para hacer una comprobación de las condensaciones en la zona de los perfiles térmicos se analizar la estructura de termoperfil teniendo en cuenta a las termoranuras del mismo. Como el aislamiento térmico del panel se introduce dentro de las ventanas unilaterales de los perfiles, se considerará como varias capas de acero – lana roca como se puede ver en la siguiente imagen:

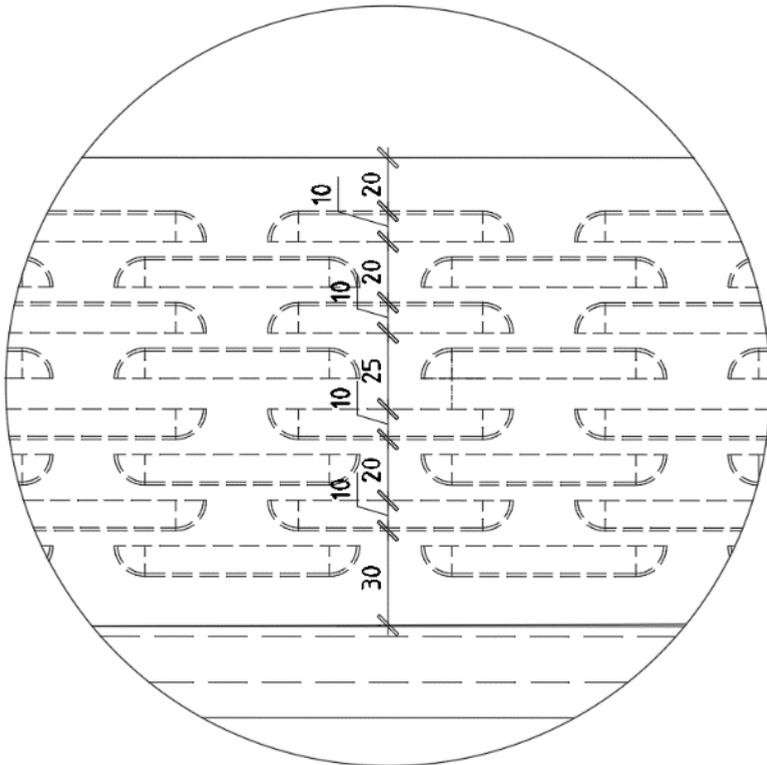


Fig. 78. Vista de termoperfil con sus ranuras unilaterales rellenas con aislamiento térmico. Fuente: Elaboración propia.

Se prepara una nueva tabla de datos para analizar la sección:

Nombr e de capa	Espe sor (cm)	Conductiv idad (W/m2·K)	Coefficient e de permeabili dad al vapor de agua (μ)	Resiste ncia térmica (m2·K/W)	Transmita ncia térmica (W/m2·K)
Acero inoxidable	3	17	10000000000	0.001765	566.66
MW Lana mineral	1	0.045	1	0.247	4.05
Acero inoxidable	2	17	10000000000	0.001765	850
MW Lana mineral	1	0.045	1	0.247	4.05
Acero inoxidable	2.5	17	10000000000	0.001765	680
MW Lana mineral	1	0.045	1	0.247	4.05
Acero inoxidable	2	17	10000000000	0.001765	850
MW Lana mineral	1	0.045	1	0.247	4.05
Acero inoxidable	2	17	10000000000	0.001765	850
TOTAL ES	15.5			1.164	0.859

Selección de elementos constructivos

Biblioteca CTE - LIDER:

- ⊕ Pétreos y suelos
 - ⊕ Metales
 - Acero
 - Acero inoxidable**
 - Aluminio
 - Aluminio aleaciones de
 - Bronce
 - Cobre
 - Cromo
 - Estañio
 - Hierro
 - Hierro fundición
 - Latón
 - Níquel
 - Plomo
 - Titanio
 - Zinc
 - ⊕ Maderas
 - ⊕ Hormigones
 - ⊕ Morteros
 - ⊕ Yesos
 - ⊕ Enlucidos

Capas desde el exterior al interior:

Nombre	e	lambda	mu	R	U
Acero Inoxidable	3	17	1000000000	0.001765	566.666667
MW Lana mineral [0.04 W/[mK]	1	0,0405	1	0,246914	4,0500
Acero Inoxidable	2	17	1000000000	0.001176	850
MW Lana mineral [0.04 W/[mK]	1	0,0405	1	0,246914	4,0500
Acero Inoxidable	2,5	17	1000000000	0.001471	680
MW Lana mineral [0.04 W/[mK]	1	0,0405	1	0,246914	4,0500
Acero Inoxidable	2	17	1000000000	0.001176	850
MW Lana mineral [0.04 W/[mK]	1	0,0405	1	0,246914	4,0500
Acero Inoxidable	2	17	1000000000	0.001176	850
TOTALES	15,5	0		1,164	0,859

Tabla Resultados

Nombre	e	lambda	mu	R	U	U _{capa}	U _{total}	Condensación
Acero inoxidable	3	17	1000000000	0.001765	566.666667	0.001765	0.001765	0
MW lana mineral [0.04 W/[mK]	1	0,0405	1	0,246914	4,0500	0.246914	0.248683	0
Acero inoxidable	2	17	1000000000	0.001176	850	0.002941	0.250854	0
MW lana mineral [0.04 W/[mK]	1	0,0405	1	0,246914	4,0500	0.249083	0.500768	0
Acero inoxidable	2,5	17	1000000000	0.001471	680	0.002206	0.502974	0
MW lana mineral [0.04 W/[mK]	1	0,0405	1	0,246914	4,0500	0.249083	0.752057	0
Acero inoxidable	2	17	1000000000	0.001176	850	0.002363	0.754420	0
MW lana mineral [0.04 W/[mK]	1	0,0405	1	0,246914	4,0500	0.249083	1.003503	0
Acero inoxidable	2	17	1000000000	0.001176	850	0.002520	1.006023	0

Las capas se ordenan de exterior a interior, el dato de condensación corresponde a la interfase entre cada capa y la siguiente, pudiendo darse en el interior de la capa o el material es aislante.

Tec: 0.15 | h_{ext}: 25 | h_{int}: 25 | U_{total}: 0.859

h_{ext}: 25 | h_{int}: 25 | U_{total}: 0.859

h_{ext}: 25 | h_{int}: 25 | U_{total}: 0.859

CUMPLE

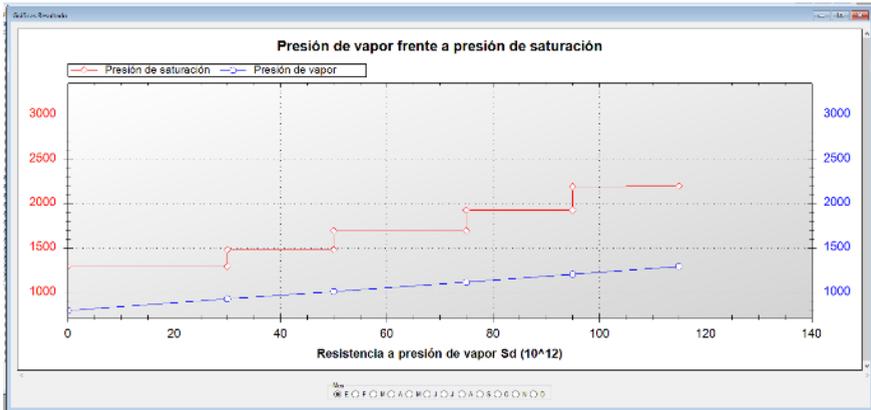


Fig. 79. Gráfica de presión de vapor frente a presión de saturación en el mes de enero. Fuente: Elaboración propia.

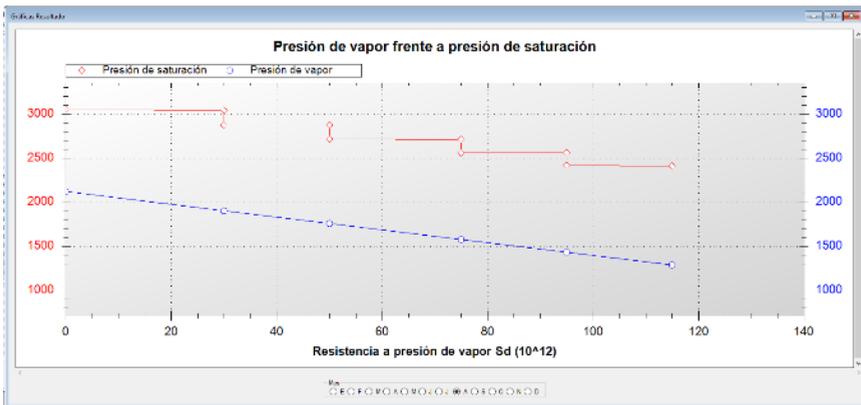


Fig. 80. Gráfica de presión de vapor frente a presión de saturación en el mes de julio. Fuente: Elaboración propia.

En caso de no haber aislamiento en las termoranas el resultado sería el siguiente:

Nombr e de capa	Espe sor (cm)	Conductiv idad (W/m2·K)	Coefficient e de permeabili dad al vapor de agua (μ)	Resiste ncia térmica (m2·K/W)	Transmita ncia térmica (W/m2·K)
Acero inoxidable	3	17	1000000000	0.001765	566.66
Cámara de aire	1	0.066	1	0.15	6.66
Acero inoxidable	2	17	1000000000	0.001765	850
Cámara de aire	1	0.066	1	0.15	6.66
Acero inoxidable	2.5	17	1000000000	0.001765	680
Cámara de aire	1	0.066	1	0.15	6.66
Acero inoxidable	2	17	1000000000	0.001765	850
Cámara de aire	1	0.066	1	0.15	6.66
Acero inoxidable	2	17	1000000000	0.001765	850
TOTAL ES	15.5			0.777	1.287

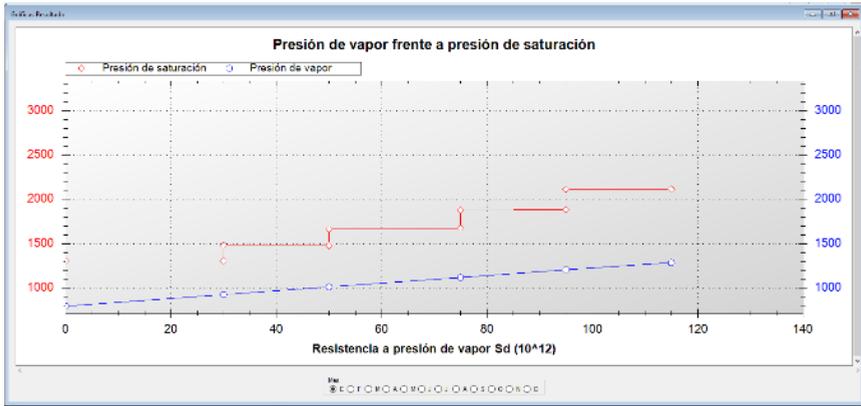


Fig. 81. Gráfica de presión de vapor frente a presión de saturación en el mes de enero. Fuente: Elaboración propia.

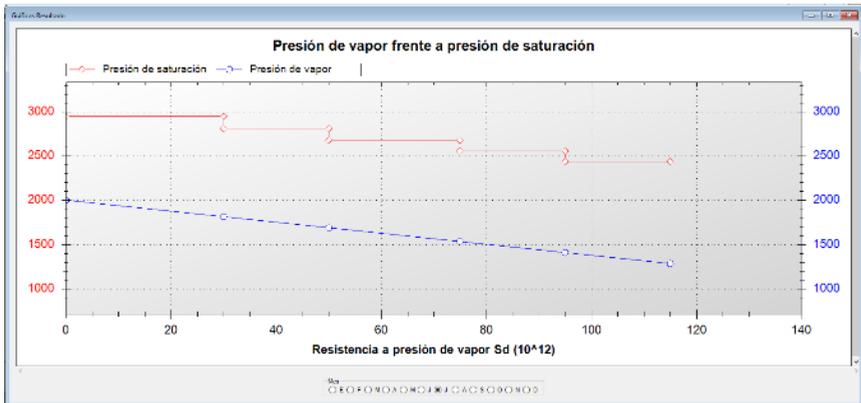


Fig. 82. Ilustración 81. Gráfica de presión de vapor frente a presión de saturación en el mes de julio. Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones

Tras realizar la comprobación de la aparición de las condensaciones podemos concluir que en ninguna zona del panel no aparecen las condensaciones durante todo el año. Esto indica que el cerramiento formado por los paneles SPANS™ corresponde a las exigencias de salubridad por excluir la posibilidad de aparición de microorganismos y mohos en las viviendas.

2.9.7. Alto nivel de preparación – Acabados, carpintería, accesorios.

Un aspecto diferenciador de los paneles industrializados SPANS™ consiste en su alto nivel de preparación que supera a cualquier solución presente en el mercado. Así, siguiendo la filosofía de grupo Simplex, los paneles de cerramiento SPANS ofrecen llevar los paneles desde taller a la obra preparados para su final instalación evitando los trabajos adicionales relacionados con la instalación de la carpintería, acabados exteriores e instalación de los accesorios.

El almacén de los paneles se adapta a cada tipo de carpintería de forma individual permitiendo utilizar cualesquiera dimensiones y formas sin atar las manos a los arquitectos por estandarización de los paneles, huecos etc. La instalación de las ventanas, puertas balconeras, logias y demás se realiza en condiciones del taller lo que garantiza una precisión y calidad de la instalación.

Acabados exteriores

La tecnología prevé dos tipos más habituales del acabado. Se trata de la solución monocapa, la más reconocida en España, y la solución de fachada ventilada con cualquier tipo de material de acabado o la imitación.

Para realización del acabado monocapa se utiliza el termoenfoscado certificado de altas prestaciones termotécnicas. La aplicación de termoenfoscado se realiza en condiciones de la fábrica, lo que garantiza alta calidad de ejecución. Para mejorar la adherencia, la capa de termoenfoscado se aplica sobre una malla metálica con alta resistencia a corrosión incorporada al armazón del panel.



Fig. 83. Panel SPANS con acabado a base de monocapa). Fuente: Elaboración propia.



Fig. 84. Aplicación del monocapa sobre la cara exterior de un panel en plano horizontal. Fuente: Elaboración propia.

Las fachadas formadas por los paneles SPANS™ con acabado monocapa de termoenfoscado no necesitan un continuo mantenimiento ya que no se decoloran con el tiempo bajo la radiación solar.

La solución de monocapa con aplicación de termoenfoscado mejora las características termotécnicas de la envolvente, aumenta permeabilidad al vapor de agua y proporciona una apariencia habitual.



Fig. 85. Paneles SPANS en sus varias configuraciones (Carpintería de entrada / salida, ventana, esquina). Fuente: Elaboración propia.

En caso de la fachada ventilada cabe destacar otra ventaja de utilización de la tecnología - una fachada formada por los paneles SPANS™ elimina la necesidad de su posterior nivelación para la instalación del acabado

mediante un sistema de fachada ventilada. La subestructura de la fachada ventilada se basa en los perfiles metálicos tipo “sombbrero”²⁸ que cumplen la función de soporte para el material de acabado. Para soluciones con casetas metálicas se utiliza perfil con ganchos integrados.

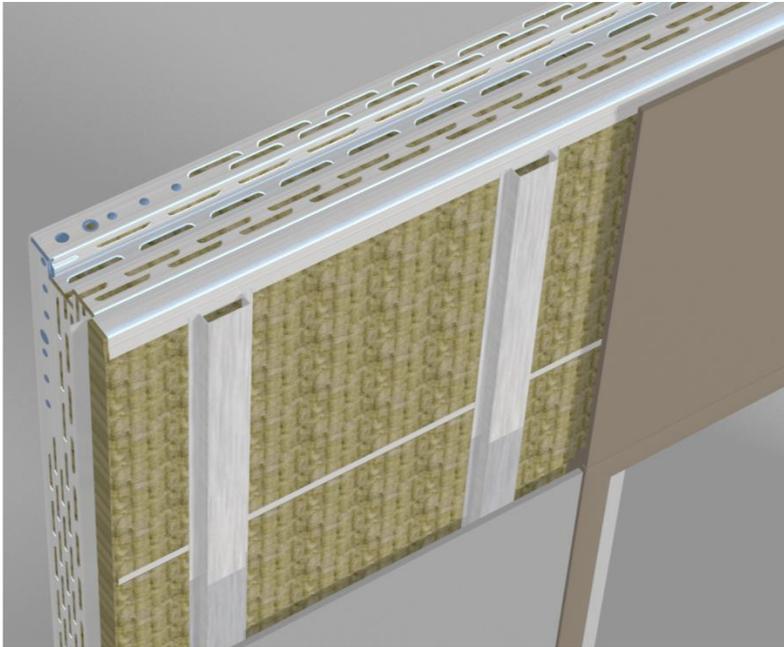


Fig. 86. Visualización 3D del panel con capa de aislamiento térmico adicional y sistema de fachada ventilada. Fuente: Elaboración propia.

²⁸ Nombre interno de un tipo de perfil utilizado en el sistema de subestructura metálica propia para recibir el acabado de la fachada ventilada.

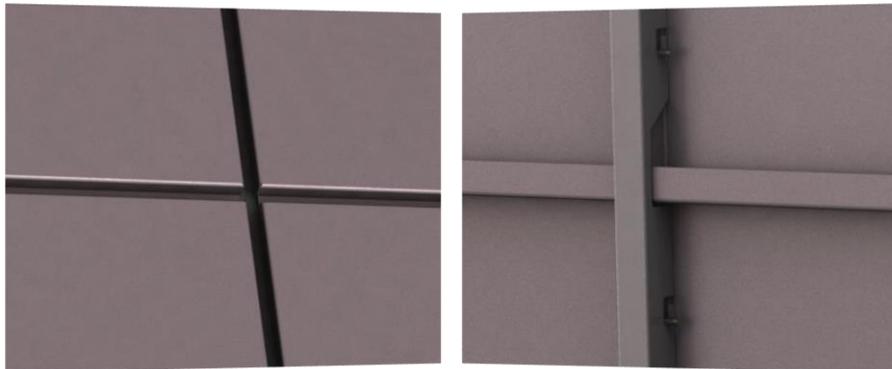


Fig. 87. Visualización 3D del sistema de fachada ventilada a base de cassetts metálicos con un sistema de anclaje patentado por Simplex Group. Fuente: Simplex Group.

2.9.8. Carpintería

Otra de las ventajas esenciales de los paneles industrializados SPANS consiste en su alto grado de la integridad de la solución en cuando a los componentes que forman un cerramiento acabado.

Así, los paneles SPANS se realizan en condiciones de la fábrica con la carpintería y acristalamiento de los huecos según el proyecto arquitectónico. Las soluciones se realizan a medida de cada idea arquitectónica. El proceso innovador de fabricación de la perfiles que forma el armazón permite utilizar cualquier tipo



Fig. 88. Carpintería de herrajes mecatrónicos ocultos “Schüco TipTronic SimplySmart”. Fuente: <https://www.schueco.com>

de carpintería, incluso los más novedosos como, por ejemplo, el de los marcos y herrajes ocultos.

Las jambas, dinteles y alfeizares de los huecos, al igual que el resto de perfiles, se preparan por el medio de plegado de la chapa metálica y no por el extrusionado. Como el resultado, se obtiene un hueco perfectamente preparado para carpintería elegida con la precisión industrial de conexión e instalación.



Fig. 89. Ejemplos de configuraciones de carpintería proyectadas para diferentes obras. Fuente: Elaboración propia.

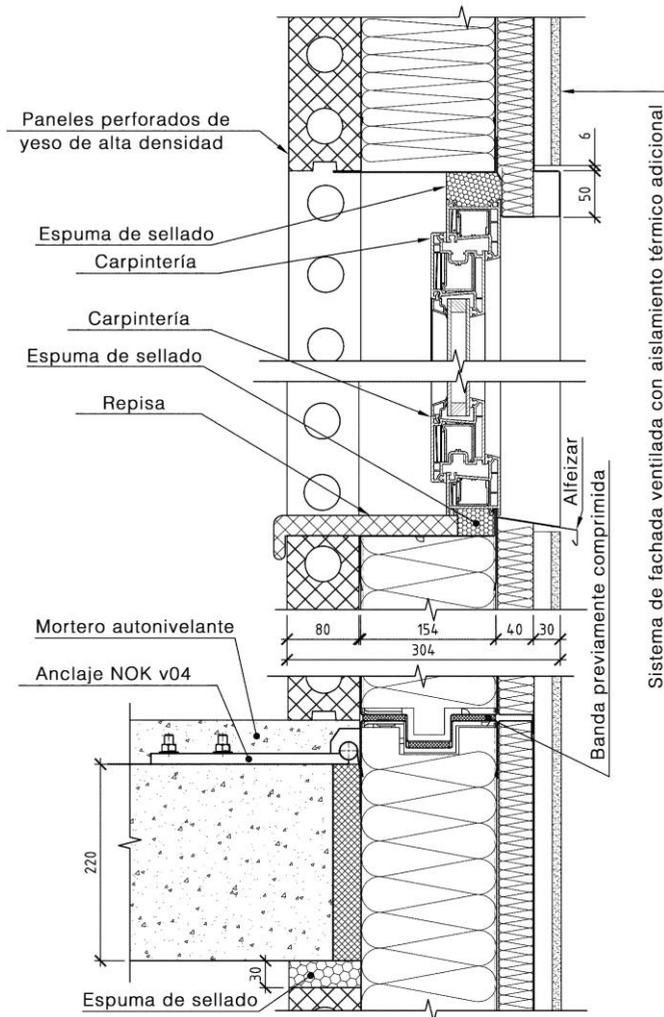


Fig. 90. Sección vertical del cerramiento formado por los paneles SPANS. Configuración "Norte". Fuente: Elaboración propia.

2.9.9. Juntas horizontales

Las uniones horizontales se resuelven por medio de la unión machihembrada formada por la propia estructura de los paneles. Para el mejor asentamiento y estanqueidad necesaria entre los dos paneles consecutivos se colocan unos burletes de poliuretano suave resistentes al agua y con impregnación de dispersión acrílica para las juntas de unión.



Características del burlete:

- Ancho 50 mm; espesor 15 mm
- Impermeabilidad al agua ≥ 600 Pa DIN EN 12114 DIN 18542:2009-07
- Grupo 1 Deutsches Institut für Bautechnik numero de aprobación Z-56.212-3514,
- Comportamiento al fuego (DIN 4102, Part 1) B1
- Cumple con los requisitos de impermeabilidad al agua y al aire de acuerdo con la norma DIN EN 12207, Clase 3 sobrepasada

Las uniones horizontales se ven protegidos adicionalmente por la propia estructura del acabado (encofrado perdido realizado para soluciones de monocapa o la estructura de fachada ventilada).

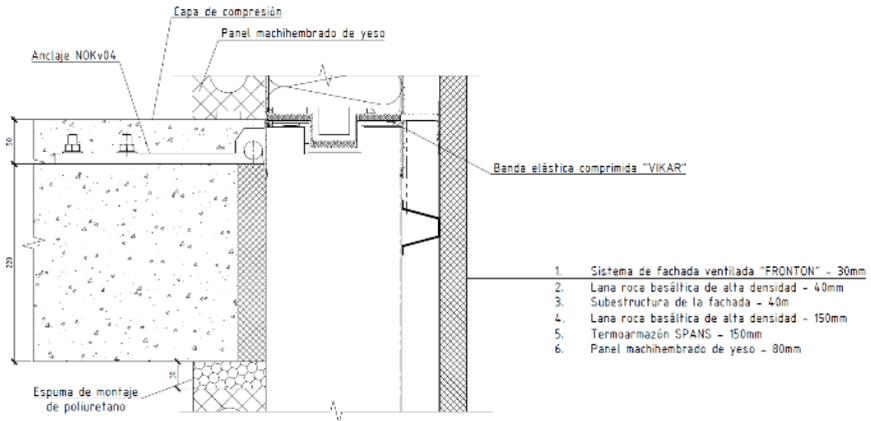


Fig. 91. Detalle constructivo de la junta machihembrada entre dos paneles adyacentes. Fuente: Elaboración propia.

2.9.10. Juntas verticales

Las juntas verticales se resuelven desde el interior del edificio puesto que en el exterior la junta se queda cerrada por la propia estructura del panel. El sellado de la junta se realiza con unos cordones de sellado hueco de espuma de polietileno con el diámetro 50mm y espesor de pared 15 mm. El sellado se realiza en todo el espesor de panel. La colocación de los cordones se realiza con aplicación adicional de espuma de poliuretano para facilitar la fijación de cordones en el sitio.



Características del cordón de sellado vertical:

- Estructura de células: células cerradas de espuma de polietileno
- Absorción de agua: <math><0.5\text{ Vol. \%}</math> - DIN 53495
- Estabilidad térmica: -40°C hasta $+100^{\circ}\text{C}$
- Clase de materiales de construcción: B1 (dificilmente inflamables) – DIN 4102

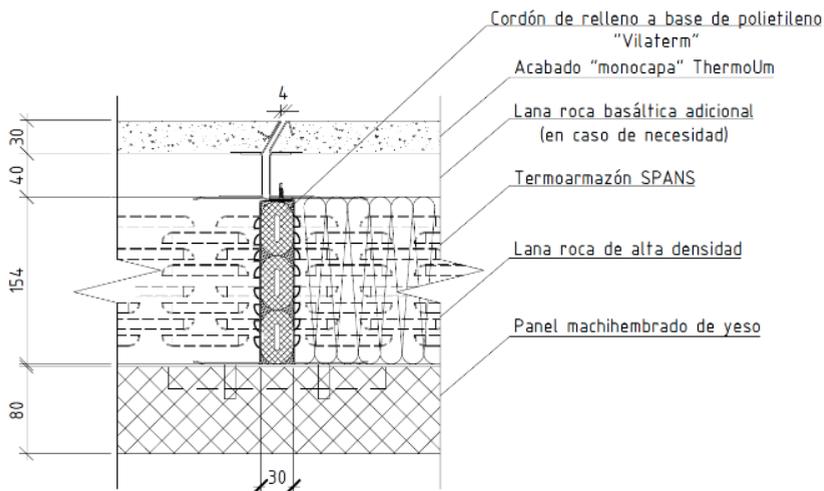


Fig. 92. Detalle constructivo de la junta vertical entre dos paneles adyacentes.
Fuente: Elaboración propia.

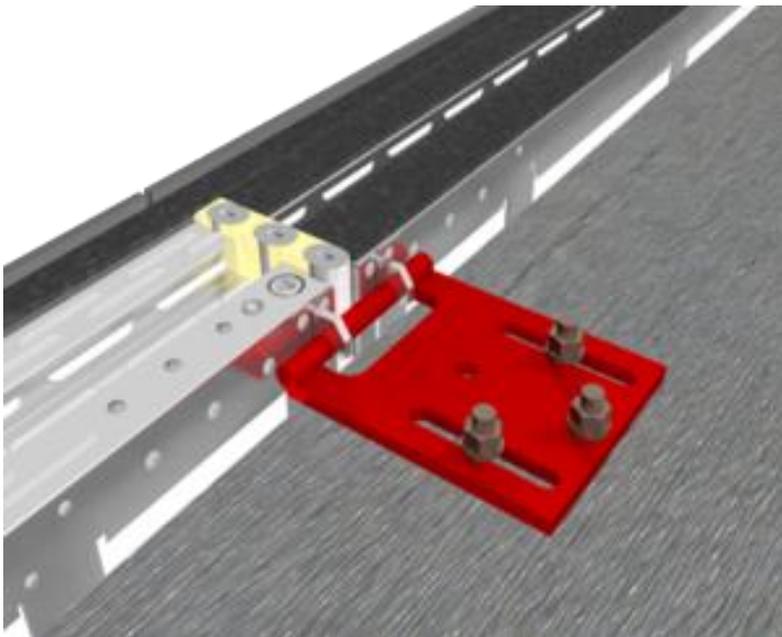


Fig. 93. Visualización 3D de la unión vertical entre los paneles SPANS y sistema de anclaje NOK v04. Fuente: Elaboración propia.

2.9.11.MANIPULACIÓN Y TRANSPORTE

En los aspectos de manipulación y transporte, los paneles presentan otras de sus ventajas y son la ligereza y capacidad autoportante de los mismos. La manipulación de los paneles se realiza a través de los pernos de ojo enroscados en el cuerpo del panel. Las zonas de colocación de los pernos son determinadas por el diseño y buenas prácticas de uso. Así cada panel dispone de 6 puntos de colocación de los pernos de manipulación en los laterales del mismo, y 2 en la parte inferior sobre la

cara interior del panel, que sirven para un acercamiento y posicionamiento del panel en la obra.

Las zonas de posición de los pernos de ojo de manipulación se ven reforzadas por el interior del armazón con una pletina de 6mm de espesor que lleva incorporada una rosca para el perno.

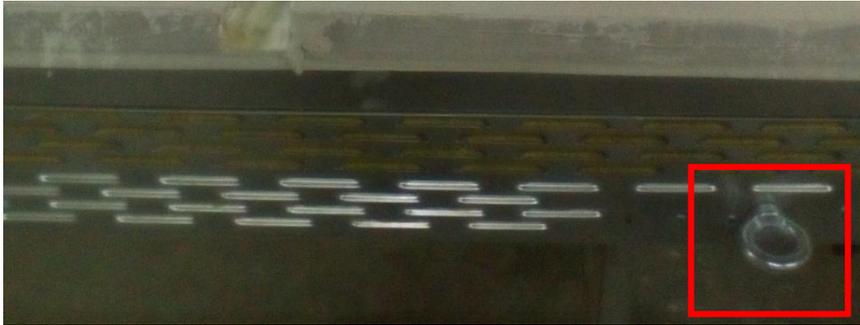


Fig. 94. Demostración del perno de ojo enroscado en el lateral reforzado del panel. Fuente: Elaboración propia.

Como se ha reflejado anteriormente, en cuanto los paneles son preparados para su transporte a la obra, se confecciona un sistema de transporte de los mismos que comprende dos cuadros metálicos que se unen con los paneles a través de los agujeros enroscados mencionados anteriormente. Dicho sistema es llamado “BOX” y, generalmente, se compone de 5 – 7 paneles por BOX. Los cuadros metálicos responden también por el mantenimiento de la separación entre los paneles que, en

la mayoría de los casos, se fija a 10 mm entre los elementos más salientes de los paneles próximos.



Fig. 95. Visualización 3D de los "Boxes" de transporte compuestos por dos marcos metálicos con sistema de posicionamiento de paneles. Fuente: Elaboración propia.

El sistema de transporte se manipula a través de los cuadros y se colocan en el camión. A diferencia de los paneles prefabricados de hormigón, un camión con la plataforma rebajada puede transportar hasta 500 m² del cerramiento de proyecto con un solo viaje – una característica inalcanzable para las soluciones de hormigón prefabricado.

La manipulación en la obra no requiere unos medios especiales. Para la instalación de los paneles SPANS se puede aprovechar la grúa torre instalada en la obra, una grúa móvil, una mini grúa móvil instalada sobre el último forjado. El peso reducido de los paneles permite elegir entre los medios más adecuados y rentables para una obra.

Capítulo 4. Análisis de las ventajas del sistema SPANS™

4.1. Análisis DAFO (Debilidades, Amenazas, Fortalezas, Oportunidades)

FORTALEZAS DE SISTEMA

- **NUEVA TECNOLOGÍA CON GRANDES VENTAJAS DIFERENCIALES.**

Se trata de una nueva tecnología que se basa en la experiencia de muchos años de construcción para introducir mejoras y optimizar los procesos en el sector.

- **EL PRODUCTO TOTALMENTE ENSAYADO.**

El producto ha sido aplicado en la construcción en condiciones climáticas agresivas de Rusia y demostró su eficacia superando a las expectativas. Así mismo, de forma natural, una construcción formada por paneles SPANS ha demostrado su estabilidad frente a los impactos inesperados como acciones sísmicas / las olas explosivas (Bólide de Chelyabinsk, 2013)

- **PROPIA FABRICACIÓN DEL PRODUCTO INCLUYENDO LOS TRABAJOS DE ACABADOS, CARPINTERÍA E INSTALACIONES.**

El producto se fabrica en su totalidad en la propia factoría que dispone de toda la maquinaria necesaria para su íntegra producción. Así mismo, se evitan subcontrataciones numerosas e innecesarias para ejecución de cerramientos completos. La fábrica SPANS se ocupa de la totalidad de la composición de un cerramiento.

- **PRODUCTO Y PROCESOS PATENTADOS.**

Tanto el producto como el proceso de su montaje en obra son dos aspectos patentados que tienen su propio procedimiento y técnicas diferenciadores.

- **CALIDAD DEL PRODUCTO SUPERA CUALQUIER SOLUCIÓN CONVENCIONAL.**

Al tratarse de la fabricación de los paneles en condiciones de una factoría, la calidad de producto se incrementa considerablemente en comparación con cualquier metodología de construcción *in situ* dando lugar a una precisión industrial, calidad y sus controles incomparables con soluciones convencionales.

- **RAPIDEZ DE EJECUCIÓN.**

Con una simple instalación de los paneles en la obra se consigue sustituir varios procesos constructivos relacionados con los cerramientos de edificios. Así, albañilería, colocación de aislamiento, aplicación de mortero, puntos singulares, impermeabilización, trasdosado, maestreado de cara interior (en su caso) y otros se sustituyen por un montaje del panel y su regularización en 3 dimensiones.

- **AHORRO PROPORCIONADO POR LA SOLUCIÓN INTEGRAL Y PESO REDUCIDO.**

Cuantas más tareas trasladamos a la factoría, tanto menos trabajo tendremos hacer en obra. Por lo tanto, se reduce la plantilla necesaria para ejecución de los cerramientos, se reduce la especialidad de mano de obra a los especialistas de trabajos en altura eliminando una necesidad de disponer de mayor número de especialistas en la obra lo que encarece los procesos y hace una organización de obra más complicada. Al reducir las

necesidades relacionadas con la construcción – reducimos el coste de la construcción.

Por otro lado, el peso del producto nos condiciona el transporte y manipulación. Los paneles SPANS ofrecen un peso reducido, lo que permite traer más m² de cerramiento a la obra con un solo viaje (hasta 500 m²) sin necesidad de contratar un vehículo especial ni pedir los permisos especiales.

- **SIN NECESIDAD DE MANO DE OBRA CUALIFICADA EN FASE DE MONTAJE DE PANELES EN OBRA.**

Los paneles se fabrican de tal manera, que facilita el montaje de los mismos *in situ* permitiendo que cualquier mano de obra pueda instalar los paneles sin necesidad de poseer los conocimientos profundos en materia.

- **ALTOS ÍNDICES DE EFICIENCIA ENERGÉTICA PASIVA DEL PRODUCTO.**

Los paneles SPANS se han creado para ser al día con el desarrollo y las necesidades del entorno. Por lo tanto, la tecnología SPANS cuida especialmente los aspectos de eficiencia energética comprobando las simulaciones en cada obra con el fin garantizar la conservación de la energía interior (calor/frío) en las viviendas y capacidades de mantenimiento de dicha energía (temperatura) dentro de los límites del espacio interior durante un largo periodo sin necesidad de arranque de los equipos domésticos.

- **MEJORES CONDICIONES PARA TRABAJADORES.**

Trabajando con la tecnología SPANS, los trabajadores obtienen mejores condiciones de trabajo puesto que no están dispuestos a un continuo peligro para su integridad. Así el personal de la factoría evita los trabajos en condiciones climáticas agresivas y

exposiciones al peligro, y el personal a pie de obra, una vez cerrado el contorno térmico de la planta, continúe trabajando dentro de este contorno sin necesidades de realizar los trabajos sobre la superficie exterior de los cerramientos.

- **IMPACTO MEDIOAMBIENTAL FAVORABLE.**

Al trasladar los trabajos a la factoría se consigue minimizar contaminación a pie de obra y en su alrededor.

- **PRECISIÓN TÉCNICA Y ORGANIZATIVA.**

La fabricación de los paneles tiene una precisión predeterminada por la maquinaria de 0.01 mm. Los paneles fabricados con una precisión que a su vez forman un contorno térmico preciso facilitan una fácil instalación de los paneles con el resultado final planificado.

- **MINIMIZA LA GENERACIÓN DE RESIDUOS**

Durante la fabricación de los paneles, se optimiza el aprovechamiento de todo el material entrante sin generación de los residuos. Así mismo, los paneles SPANS son totalmente reutilizables.

- **INDEPENDENCIA DE LA POSICIÓN GEOGRÁFICA DE LA OBRA.**

Los paneles pueden suministrarse a cualquier obra sin importancia de su posición geográfica. El peso reducido de los paneles y capacidad de la factoría permite abastecer cualquier obra.

- **ESTUDIO INICIAL DE PROYECTO HASTA EL ÚLTIMO DETALLE.**

Para proceder a la fabricación de los paneles, previamente se realiza un modelo virtual de la envolvente térmica formada por los paneles con una precisión milimétrica. Debe preverse cualquier detalle y funcionamiento de la envolvente en un conjunto. Así de un modelo virtual 100% definido, se procede a la fabricación de los paneles. Continuamente se utilizan programas basados en las tecnologías BIM, CAD/CAM y CAE.

- **SOLUCIÓN A MEDIDA.**

SPANS cambia la visión de los profesionales. Los arquitectos ya no deben acoplarse a los catálogos de los fabricantes sino el fabricante se acopla a la idea arquitectónica ofreciendo una solución 100% a medida satisfaciendo las necesidades determinadas del proyecto.

- **RESULTADOS CONTROLADOS.**

EL modelo virtual definido en combinación con tecnología de construcción SPANS permite determinar costes y tiempos de ejecución antes de proceder a la obra en sí. Así mismo, el avance tecnológico permite garantizar el cumplimiento de los plazos y del presupuesto con cierta tolerancia.

- **ADAPTACIÓN A CUALQUIER ESTRUCTURA PORTANTE DEL EDIFICIO.**

Los paneles SPANS y su sistema de anclajes son totalmente adaptables a cualquier estructura portante habitual. Así la tecnología se combina con las estructuras de hormigón, metálicas, de madera, etc.

- **CONTROL CONTINUO DE FABRICACIÓN Y MONTAJE DE PANELES EN OBRA.**

Tecnología SPANS se controla en todas etapas de desarrollo del proyecto, empezando por los controles internos de fabricación, acabando con seguimiento de cada panel y comprobaciones de posicionamiento.

- **MAYOR RENDIMIENTO Y RENTABILIDAD DEL PROYECTO.**

SPANS permite rentabilizar un proyecto de edificación disminuyendo el coste de la construcción y eliminando mayor parte de los costes indirectos. Con aumento de velocidad de ejecución de los cerramientos se consigue más rápido vender el edificio.

DEBILIDADES DE SISTEMA

- **PARA EL MERCADO Y SECTOR EN ESPAÑA, SE NOS TRATA COMO NUEVOS Y DESCONOCIDOS.**

En España sigue presente una desconfianza a lo nuevo y una visión bastante conservadora. La actuación necesaria sería una demostración de obras realizadas para una generación de confianza en la sociedad. Así mismo, una formación de círculo de innovadores dará lugar a una fuerza que avanzará el sector de construcción.

- **SE REQUIERE MANO DE OBRA ESPECIALIZADA PARA FABRICACIÓN DE LOS PANELES.**

Para fabricación de los paneles se requiere un personal cualificado y formado en materia de cada fase de la fabricación del producto con el fin de garantizar la calidad y desarrollo de la producción SPANS.

- **PARA EMPEZAR LA EJECUCIÓN DE LOS CERRAMIENTOS, LA FASE DE LA ESTRUCTURA PORTANTE DEBE ESTAR ACABADA.**

Para garantizar correcta instalación de paneles y evitar interferencia con otras fases de ejecución del edificio, así como cuidar los acabados de los paneles, se requiere que la estructura portante de edificio esté terminada, especialmente si se trata de las estructuras de hormigón armado.

- **SE NECESITA UN CONTROL CONTINUO SOBRE FABRICACIÓN Y MONTAJE.**

Cada tipo de panel tiene sus componentes exclusivos y su posición exclusiva en la envolvente térmica. Por lo tanto, se requiere un control continuo con el seguimiento de cada uno de los paneles. Es preferible no intercambiar los paneles de posición.

AMENAZAS DE SISTEMA

- **UNA FUERTE COMPETENCIA CON MEJOR POSICIONAMIENTO EN MUNDO EMPRESARIAL.**

SPANS es una tecnología nueva que proviene de Rusia. En España existen grandes empresas constructoras con mayor influencia sobre el sector. Por tanto, se plantean diferentes estrategias de desarrollo dependiendo de cada caso en particular.

- **DESCONFIANZA POR PARTE DE CONSUMIDORES.**

En España sigue presente una desconfianza a los sistemas novedosos y existe una visión bastante conservadora. La actuación necesaria sería una demostración de obras realizadas para una generación de confianza en la sociedad. Así mismo, una formación de círculo de innovadores dará lugar a una fuerza que avanzará el sector de construcción.

- **EL SECTOR TODAVÍA ARRASTRA DIFICULTADES POR LA CRISIS ECONÓMICA.**

La crisis originada tras una burbuja inmobiliaria en 2008 sigue presente en España en la actualidad. Esto ocasiona dificultades para las empresas españolas expandirse y cultivar un crecimiento.

- **VISIÓN INCORRECTA DE LA CONSTRUCCIÓN INDUSTRIALIZADA ENTRE LOS PROFESIONALES DEL SECTOR.**

Los arquitectos, entre otros profesionales del sector, están acostumbrados trabajar sobre catálogos de los fabricantes y por tanto existe un peligro de asimilación por parte de los profesionales los paneles SPANS con soluciones prefabricadas menos eficaces.

- **EL SECTOR TECNOLÓGICO SE CARACTERIZA POR LA APARICIÓN RÁPIDA DE LA COPIA DE BAJA CALIDAD, ENTRE OTROS.**

Es inevitable una aparición de las copias y Simplex Group ante cualquier situación parecida protege sus invenciones y cuida la calidad de sus productos.

- **RÁPIDA EVOLUCIÓN DE TECNOLOGÍAS EN EL MUNDO.**

OPORTUNIDADES DE SISTEMA

- **DISPONEMOS DE CIERTAS VENTAJAS FRENTE A LA COMPETENCIA ACTUAL POR LA TECNOLOGÍA QUE UTILIZAMOS.**

Actualmente, la competencia no se ha alcanzado este nivel de industrialización y optimización para sus sistemas constructivos y por tanto la tecnología SPANS posee una exclusividad en el sector.

- **SIMPLEX GROUP DISPONE DE LARGA EXPERIENCIA EN EL DESARROLLO DE LOS SISTEMAS CONSTRUCTIVOS Y SU UTILIZACIÓN.**

25 años de experiencia en el sector tecnológico de la construcción forma una experiencia importante y unas bases de investigación y desarrollo de los sistemas constructivos. Simplex Group está en continua mejora de sus productos y una paralela investigación para futuras líneas de productos.

- **EL SECTOR NECESITA EVOLUCIONAR Y PROPUESTA SE ADAPTA TOTALMENTE AL CAMBIO QUE ÉSTE NECESITA.**

La crisis indica que el sector se queda no actualizado y carece de unas reformas que permitirían optimizar procesos y abaratar los costes.

- **SOLUCIÓN IDEAL PARA EDIFICIOS DE EXIGENCIAS SUPERIORES EN CUANTO A LA SALUBRIDAD.**

Por su transpirabilidad y ausencia de los puentes térmicos (y por tanto condensaciones), la solución de cerramiento formado por paneles SPANS puede satisfacer e incluso mejorar las condiciones de los edificios con altas exigencias de salubridad y

edificios de pública concurrencia tales como hospitales, residencias de cualquier tipo, edificios administrativos etc.

- **OPORTUNIDAD DE PRESTAR SERVICIO RÁPIDO Y DE ALTA CALIDAD PARA LAS EDIFICACIONES DE CARÁCTER TEMPORAL (REFUGIOS, ETC.).**

El problema de ausencia de las tecnologías y existencia de los edificios temporales se ha manifestado últimamente en Europa. La tecnología SPANS puede satisfacer las necesidades emergentes tales como edificaciones de refugio u otros de carácter temporal.

- **SOLUCIÓN PARA CONSTRUCCIÓN TANTO EN LOS PAÍSES EMERGENTES COMO EN LOS MÁS DESARROLLADOS.**

Dependiendo de las calidades elegidas por el proyecto, los paneles SPANS satisfarán la construcción de edificios en cualquier país y para cualquier estrato social. Así mismo, la utilización de los paneles SPANS no se limita por la edificación residencial. Por tanto, existe un amplio “terreno” de aplicación.

- **EXPECTATIVAS DE UN BRUSCO CRECIMIENTO.**

Tras unos años en crisis, los profesionales se dan cuenta de que los sistemas deben cambiarse, la construcción carece de una optimización y aquellos que sean primeros en implementar las nuevas tecnologías en el sector que se ha quedado casi artesanal, serán de referencia a nivel nacional e incluso mundial.

4.2. Reducción de los plazos de construcción

En la edificación y gestión de un proyecto edificatorio, los plazos de ejecución es un aspecto muy importante e incluso determinante en algunas obras. Como bien sabemos, cuanto más tarde una obra en ejecutarse, mayor será su coste debido al incremento de los costes indirectos. Estos costes indirectos se pueden determinar por alquileres de casetas de obras, maquinaria, mano de obra empleada, seguridad, medios auxiliares, abastecimiento provisional de electricidad, agua, etc.

En las promociones, el aumento de los plazos de ejecución incrementa el coste de proyecto y, por lo tanto, disminuye el beneficio derivado de la explotación de la promoción.

Así, el sistema SPANS™ permite evitar varios aspectos que encarecen una obra y aumenta sus plazos de la ejecución eliminando necesidad de utilización de los andamios y proporcionando una solución completa sin necesidades de trabajos adicionales a pie de obra. El rendimiento del montaje de los paneles SPANS™ se puede comparar con un montaje de los paneles de GRC sin tener en cuenta los trabajos adicionales llegando a dar un resultado de varios minutos.

4.3. Aspecto de seguridad y salud aplicable

No es un secreto que el sector de la construcción es un sector en el cual se produce mayor número de accidentes con baja e incluso mortales dado a la exposición de los trabajadores a unas tareas peligrosas y condiciones laborales de alto riesgo. Sin embargo, a lo largo de los últimos años se aumentó el control de prevención de riesgos laborales, lo que ha permitido reducir los accidentes mortales de los trabajadores a pie de obra. A pesar de las medidas preventivas habituales, el número total de

accidentes en sector de construcción sigue superando otros sectores. Por lo tanto, aplicación de los sistemas industrializados tales, como paneles de cerramiento SPANS, permite influir favorablemente sobre los aspectos de seguridad y salud de los trabajadores eliminando las tareas de alto riesgo.

Analizando los datos del informe anual publicado por el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (Ministerio de Empleo y Seguridad Social) nos encontramos con el siguiente gráfico publicado en dicho informe correspondiente al año 2015:

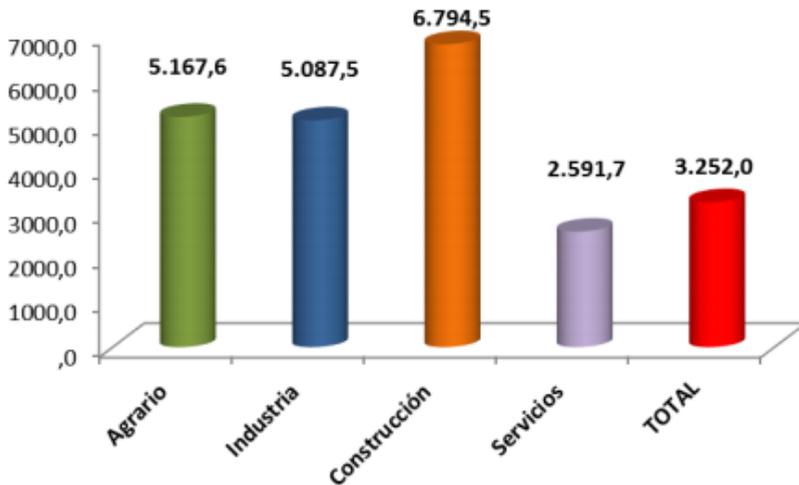


Fig. 96. Índices de incidencia sectoriales. Fuente: Anuario de Estadísticas del Ministerio de Empleo y Seguridad Social 2015. MEYSS.

“En el ámbito de la seguridad y salud laboral es habitual valorar la repercusión del accidente de trabajo por medio del índice de incidencia. Este parámetro relaciona el número de accidentes que se producen en un periodo determinado (un año) con la población susceptible de padecerlos, expresándose por cada 100.000 trabajadores afiliados con la

*contingencia de accidente de trabajo y enfermedad profesional cubierta. Este indicador técnicamente se considera sencillo y ajustado para cuantificar la siniestralidad laboral.*²⁹

Podemos observar que, efectivamente, el sector con mayor índice de incidencia es el de construcción, y además supera en más de doble la media de los índices sectoriales. Por otro lado, también debemos destacar una variación positiva en cuanto a los números de accidentes. En gráficos siguientes podemos ver esta evolución en el periodo agosto 2015 – julio 2016 respecto a agosto 2014 – julio 2015:

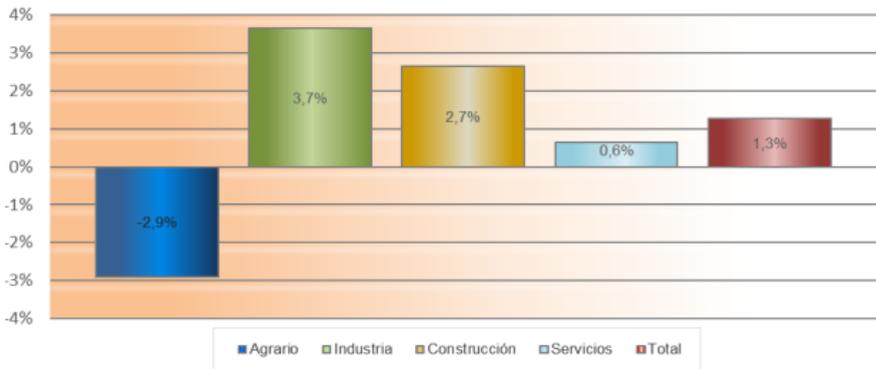


Fig. 97. Variación en % del índice de accidentes de trabajo leves. Fuente: Ministerio de Empleo y Seguridad Social (2016)

²⁹ Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT); “Informe anual de accidentes de trabajo en España 2015”; Editorial: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT), Madrid, 2016. **NIPO** (en línea): 272-15-081-4

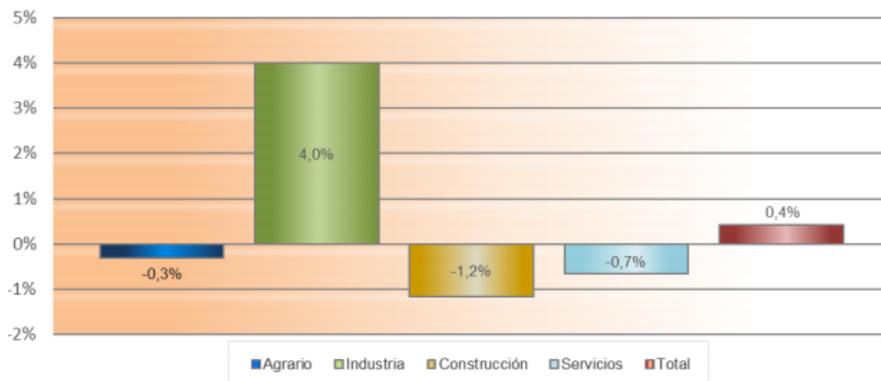


Fig. 98. Variación en % del índice de accidentes de trabajo graves. Fuente: Ministerio de Empleo y Seguridad Social (2016)

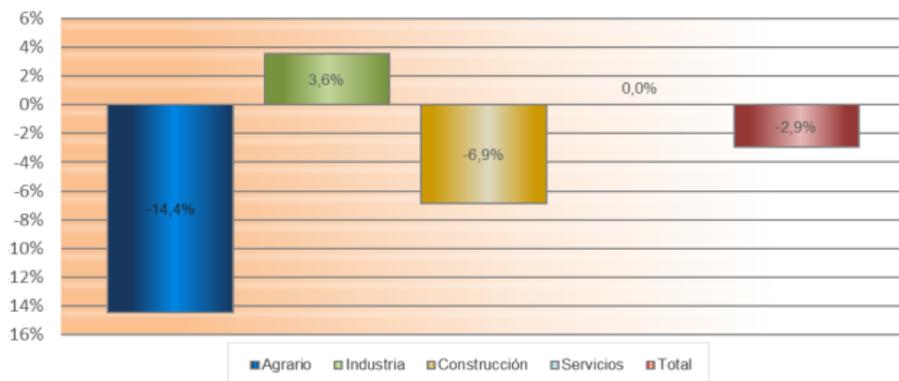


Fig. 99. Variación en % del índice de accidentes de trabajo mortales. Fuente: Ministerio de Empleo y Seguridad Social (2016)

Teniendo en cuenta la evolución de la situación de seguridad y salud de los trabajadores en construcción y sin olvidarse del índice de incidencia actual, analizaremos en que situaciones y tareas se produce la mayor parte de los accidentes en una obra de edificación.

Los estudios demuestran que en el sector de construcción el 37.5 % de los accidentes se producen con trabajadores de las empresas subcontratadas, mientras que en el resto de sector este porcentaje se asciende a menos de la mitad (15%)³⁰.

Así mismo, hablando de las fases de obra donde más accidentes mortales se producen en obras de edificación, se destacan Cubiertas (15.9%), **Acabados (9%)** y Estructuras y **obras de fábrica (8.0%)**. En cuanto a los cerramientos externos, el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo indica que este porcentaje se asciende a **4%** y señala una positiva evolución trianual de reducción de mortalidad en dicha fase de obra desde el periodo 2008-2011 (6.6%).

Tabla 10. Distribución porcentual de los accidentes mortales investigados por Fase de obra en el periodo 2011-2013, y comparación con el periodo 2008-2010. Fuente: Ministerio de Empleo y Seguridad Social.

Fases de obra	2008 - 2010		2011 - 2013		Diferencia %
	n	%	n	%	
Demolición	7	2,0	3	1,7	-0,3
Tabiquería	6	1,7	4	2,3	0,6
Instalación	18	5,2	11	6,3	1,1
Acabados	30	8,7	17	9,7	1,0
Movimiento de tierras	22	6,4	11	6,3	-0,2
Excavación	19	5,5	7	4,0	-1,5
Cimentaciones	9	2,6	5	2,8	0,2
Canalizaciones	9	2,6	6	3,4	0,8
Estructuras y obras de fábrica	29	8,4	14	8,0	-0,4
Cerramientos externos	23	6,6	7	4,0	-2,6
Cubiertas	29	8,4	28	15,9	7,5
No procede/No consta	17	4,9	24	13,6	8,7
Otros	108	31,2	39	22,2	-9,0
Total	346	100	176	100,0	

³⁰ Según el informe de Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (Ministerio de Empleo y Seguridad Social) correspondiente al Análisis de la Mortalidad por Accidente de Trabajo en España durante el periodo 2011-2013.

Sumando los porcentajes de las fases de obra que en alguna medida están relacionados con construcción de cerramientos por los métodos convencionales y los paneles SPANS, obtendremos que **podemos influir sobre 21.7%** de los casos de accidentes mortales en una obra de edificación mediante el cambio de metodologías de trabajo y sobre todo de la filosofía de la construcción absteniéndose de los métodos artesanales.

Así, analizando de forma más profunda a estas tres fases de obra podemos destacar los casos de muertes por las siguientes formas:

- En fase de acabados:
 - Aplastamiento contra un objeto inmóvil (trabajador en movimiento),
 - Quedar atrapado, ser aplastado, sufrir una amputación,
 - Choque o golpe contra un objeto en movimiento, colisión;
 - Infartos, derrames cerebrales y otras patologías no traumáticas
- En fase de estructuras y albañilería:
 - Aplastamiento contra un objeto inmóvil (trabajador en movimiento),
 - Quedar atrapado, ser aplastado, sufrir una amputación,
 - Choque o golpe contra un objeto en movimiento, colisión;
 - Contacto con corriente eléctrica, fuego, temperatura, sustancias peligrosas
- En fase de Cerramientos externos:
 - Aplastamiento contra un objeto inmóvil (trabajador en movimiento),
 - Quedar atrapado, ser aplastado, sufrir una amputación,
 - Choque o golpe contra un objeto en movimiento, colisión;

A cambio, en el sector industrial podemos observar una menor frecuencia de los accidentes debida a los procesos mucho más controlados y procedimientos estrictos.

El sector industrial tiene menor porcentaje de los casos mortales, salvo causas debidas a prevención intrínseca, espacios y superficies de trabajo y factores individuales.³¹

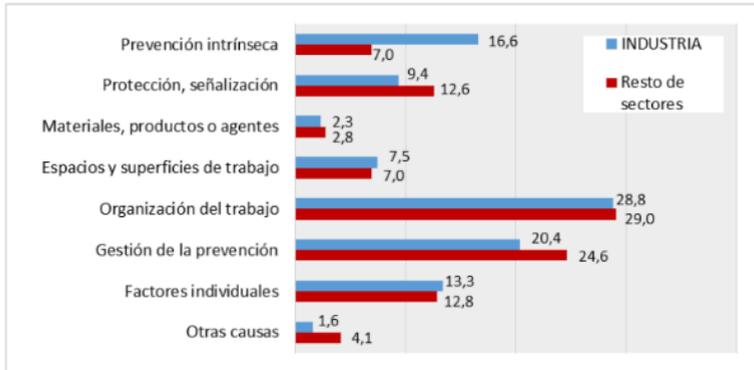


Fig. 100. Distribución porcentual de los bloques de causas en el sector industrial respecto al resto de los sectores. Fuente: Ministerio de Empleo y Seguridad Social

Por tanto, basandonos en los datos obtenidos podemos afirmar que un desarrollo masivo de la industrialización en la edificación (o edificación industrializada) implica un menor riesgo para trabajadores y disminuye considerablemente la mortalidad en el sector de construcción.

Con la tecnología SPANS de los paneles industrializados para construcción de cerramientos se eliminan por completo muchas operaciones relacionadas con los cerramientos exteriores impidiendo de que se produzca un accidente durante estas operaciones de alto riesgo.

³¹ Según el informe trianual (2011-2013) mencionado anteriormente, en la mayoría de las causas de los accidentes en comparación con el resto de sectores.

La fabricación de los paneles se realiza en condiciones de factoría y por tanto el centro de trabajo es fijo y los trabajadores pueden evitar de forma individual una parte de accidentes.

El personal involucrado en la fabricación de los paneles posee una preparación especial para realizar un trabajo de calidad cumpliendo todas las normas de seguridad en centro de trabajo.

Un riesgo obvio y evidente es la manipulación e izado de los paneles. Aunque un panel SPANS es relativamente ligero en comparación con soluciones alternativas, se necesita un continuo control y medidas de seguridad adecuados ya que se trata de trabajo de instalación de paneles en altura. Para reducir el riesgo de accidente, cada panel tiene previsto los elementos de manipulación que permiten manejar la posición del panel mediante cuerdas o cables con una facilidad sin excesivo acercamiento a los bordes de forjados.

Durante la instalación de los paneles, como un requisito básico y exigido por fabricante es disponer de una línea de vida y correspondientes arneses para los operarios además de los EPI's necesarios para el tipo de operación.

Por último se evaluarán los riesgos comparando un sistema de construcción de cerramientos convencional y la tecnología de los paneles industrializados SPANS.

Tabla 11. Valoración de riesgos laborales con aplicación de los paneles SPANS para cerramientos y soluciones de cerramiento convencional. Fuente: Elaboración propia.

TIPO DE RIESGO	SISTEMA DE PANELES SPANS		CERRAMIENTO CONVENCIONAL		VALORACIÓN DE RIESGO	
	Prob.	Severidad	Prob.	Severidad	SPANS	Convencional
CAÍDAS DE PERSONAS A DISTINTO NIVEL	2	Alta	3	Alta	GRAVE	MUY GRAVE
CAÍDAS DE PERSONAS AL MISMO NIVEL	1	Baja	3	Baja	MUY LEVE	MODERADA
CAÍDAS DE OBJETOS POR DESPLOME	1	Alta	2	Alta	MODERADA	GRAVE
CAÍDAS DE OBJETOS POR MANIPULACIÓN	1	Media	1	Alta	LEVE	MODERADA
CAÍDA DE OBJETOS	2	Baja	3	Media	LEVE	GRAVE
PISADAS SOBRE OBJETOS	1	Baja	3	Media	MUY LEVE	GRAVE
GOLPES CONTRA OBJETOS INMÓVILES.	1	Baja	3	Baja	MUY LEVE	MODERADA
ATRAPAMIENTOS O APLASTAMIENTOS	1	Alta	2	Alta	MODERADA	GRAVE
GOLPES CON ELEMENTOS MÓVILES DE MÁQUINAS.	2	Alta	2	Alta	GRAVE	GRAVE
GOLPES CON OBJETOS O HERRAMIENTAS.	2	Baja	2	Media	LEVE	MODERADA
PROYECCIÓN DE FRAGMENTOS O PARTÍCULAS.	1	Baja	2	Media	MUY LEVE	MODERADA

SOBRESFUERZOS	1	Baja	1	Baja	MUY LEVE	MUY LEVE
CONTACTOS ELÉCTRICOS	1	Medi a	2	Media	LEVE	MODERADA
INHALACIÓN O INGESTIÓN DE SUSTANCIAS NOCIVAS.	1	Baja	2	Baja	MUY LEVE	LEVE
CONTACTOS CON SUSTANCIAS CÁUSTICAS O CORROSIVAS	1	Baja	2	Baja	MUY LEVE	LEVE
O. R.: MANIPULACIÓN DE MATERIALES ABRASIVOS	1	Baja	3	Media	MUY LEVE	GRAVE
ENFERMEDADES CAUSADAS POR AGENTES QUÍMICOS.	1	Baja	2	Baja	MUY LEVE	MODERADA
ENFERMEDADES CAUSADAS POR AGENTES FÍSICOS.	1	Baja	2	Baja	MUY LEVE	MODERADA

CONCLUSIONES

Basándonos en el estudio sobre riesgos laborales en la construcción realizado podemos afirmar que la aplicación del sistema industrializado de paneles SPANS para cerramientos exteriores resulta una opción más segura que los sistemas convencionales. El sistema SPANS reduce los trabajos en altura relacionados con una confección de los propios cerramientos, realización de las tareas relacionadas con los acabados y elementos arquitectónicos, instalación de carpintería, trasladando los mismos a pie de factoría, donde los operarios trabajan en el mismo nivel

de cota 0 y están sometidos en un continuo control de prevención de riesgos. EL cambio del sector de la edificación a favor de una construcción industrializada permite rebajar uno de los aspectos más preocupantes en el sector – mortalidad y accidentes con baja en una obra. Así, los sistemas industrializados aplicados a nuestro sector colaboran en un futuro de construcción más seguro.

Capítulo 5. Conclusiones y futuras líneas de investigación

5.1. Conclusiones de trabajo realizado

Tras realizar el estudio y análisis constructivo del sistema de construcción industrializada SPANS™, podemos dar cuenta que el avance tecnológico en sector de construcción es capaz de resolver un gran número de los problemas con las que nos encontramos a día de hoy y además influir favorablemente sobre la economía tanto del sector como de país (por ser el sector de la construcción – uno de los principales pilares de la economía de la mayoría de los países).

El sistema SPANS da uno de los primeros pasos para renovar completamente los procesos de construcción y cambiar las costumbres adecuándolas a los tiempos actuales. Para ello, la construcción industrializada debe contar con la involucración de todos los agentes que participan en un proceso de obras de construcción empezando por un promotor y acabando por un peón.

La variedad de las soluciones industrializadas que hoy disponemos es de tan poca importancia enfrentando a una producción tan ineficiente y el bajo ritmo del desarrollo de la industrialización parece ser más motivado por la ilusión de mantener el viejo “*estatus*” de los arquitectos que por la verdadera preocupación por la arquitectura. Con el cambio continuo de los tiempos las profesiones no se quedan en la sombra y por lo tanto debemos encontrar nuevas formas de complicidad de un arquitecto en el proceso industrial de edificación.

Para una correcta industrialización de la edificación es necesario que la industria decida hacer inversión en sistemas CAD-CAM a los que el arquitecto y técnicos competentes formados debidamente y tecnológicamente preparados puedan acceder a desempeñar sus funciones en una nueva era de la edificación conservando o creando un nuevo concepto arquitectónico.

Las nuevas técnicas en la construcción como, por ejemplo, impresión 3D, cortadora laser, fresadora CNC³², conformación robotizada de elementos metálicos, etc. – evolucionan constantemente y a mayor velocidad que antes. Con estas nuevas técnicas la madera, los materiales metálicos, polímeros y materiales compuestos son los más adecuados para sistema CAD-CAM.

Una industrialización con desarrollo en esta dirección garantizaría una auténtica optimización de los recursos, uso de materiales y en la eficacia del montaje.

El sistema SPANS™, a su vez, intenta con participación de la mayoría de los agentes influir sobre la calidad de las obras sin pretender ser una solución cara y exclusiva.

Actualmente, los aspectos de calidad en la construcción adquieren una importancia primordial, ya que tras pasar por la burbuja inmobiliaria España sufrió un efecto impactante de los defectos en la construcción de los edificios y métodos de realización de los procesos. Durante el imparable crecimiento del sector inmobiliario, la mayoría de las empresas del sector se preocupaban, en mayor parte, por los beneficios que les suponía una obra y no por la calidad de sus productos o servicios. Esto también fue la consecuencia de un crecimiento tan rápido, que la calidad de ejecución se pasó a segundo plano.

Hoy en día los clientes finales son mucho más exigentes y las nuevas políticas medioambientales implican los cambios en en los procesos de construcción para conseguir mejores índices tanto económico como los de calidad y eficiencia energética de los edificios.

³² Fresadora CNC – Fresadora industrial de control numérico por ordenador

MARCADOS CE³³ y DIT³⁴

Una de las ventajas principales de los sistemas de construcción industrializada se basa en el hecho de que la fabricación de los elementos funcionales que componen una obra, se producen en una fábrica y cuentan con unos niveles de controles de calidad superiores a los que se suelen realizarse a pie de obra.

Los materiales que se emplean para la producción de los paneles SPANS para cerramientos exteriores disponen de los certificados CE o equivalentes. Los materiales con certificados distintos a CE se someten en un control más completo antes de ser utilizados para su fin.

Así mismo, actualmente, se está tramitando el certificado DIT para dichos paneles SPANS. El certificado DIT es un documento de carácter voluntario que contiene apreciación técnica favorable de la idoneidad de empleo en edificación y/u obra civil de materiales, sistemas o procedimientos constructivos no tradicionales o innovadores. Dicho certificado refleja el cumplimiento de un sistema para construcción con todos los apartados correspondientes del Código Técnico de Edificación, así como refleja y valida los procedimientos de fabricación y utilización de los sistemas.

CALIDAD EN LOS PROCEDIMIENTOS DE FABRICACIÓN Y PUESTA EN OBRA

Los sistemas de construcción industrializada SPANS implican una alta cualificación del personal en fase de la producción ya que los procesos

³³ CE – *en francés*: Conformité Européenne. Marca europea para ciertos grupos o productos industriales. Se apoya en la Directiva 93/68/EEC

³⁴ DIT – documento de apreciación técnica favorable de la idoneidad de empleo en edificación y/u obra civil de materiales, sistemas o procedimientos constructivos no tradicionales o innovadores.

de fabricación suponen un alto nivel tecnológico para que la construcción a pie de obra sea lo más sencilla posible. Todos los trabajadores de SPANS antes de proceder a desempeñar sus funciones, deben estar debidamente cualificados según la materia, así como pasar una formación interna sobre los procesos de fabricación y, al final de dicha formación, obtener el permiso (acceso) al trabajo asignado, por ejemplo: permiso interno para el trabajo con la maquinaria.

Gracias a los controles de calidad muy exhaustivos en la factoría, el sistema SPANS permite corregir la mayoría de los problemas a pie de obra debidos a la falta de cualificación del personal.

CONDIIONES DE TRABAJO EN SPANS

Las condiciones de trabajo es un punto clave en la lista de diferenciación y ventajas del sector de construcción industrializada frente a la construcción tradicional. Los procesos de preparación de los paneles SPANS se realizan en las condiciones interiores constantes. Así, la temperatura del entorno de trabajo se mantiene para ser óptima tanto para los trabajadores como para los materiales empleados. En la mayoría de los países del norte y Rusia, el hecho de trasladar la mayoría de los trabajos a una factoría ha hecho posible un gran avance en la construcción de los edificios por no depender los procesos de confección de una obra de los parámetros climáticos en las épocas determinadas del año.

Por otro lado, el trabajo realizado a cota 0.00 permite evitar los sobreesfuerzos y posiciones incómodas de los trabajadores, lo que permite cuidar más la calidad del trabajo que estos realizan. La aplicación de los materiales, y trabajo en general, en un plano horizontal, evita los desperfectos habituales en la obra.

MATERIALES DEL SISTEMA SPANS™

Los materiales que se emplean para fabricación del sistema SPANS se someten a un control tanto documental como experimental. Para introducción de cualquier nuevo material, este debe estar debidamente experimentado y estudiado. Al ser posible, se emplean los materiales con el marcado CE. En caso contrario, el material se somete a un control intensivo y experimental para garantizar la calidad y seguridad de su empleo.

CONFORT HIGROTÉRMICO

Una envolvente térmica de un edificio formada por los paneles SPANS aporta una calidad de vida y confort higrotérmico para los habitantes finales de dicho edificio. Los habitantes pueden disfrutar de una zona con alta estabilidad térmica del interior, ausencia de puentes térmicos habituales, y estanqueidad de la envolvente que les protege de la intemperie. Así mismo, empleo de los paneles SPANS garantiza una excelente transpirabilidad de los cerramientos exteriores, lo que permite hacer nuestras viviendas más salubres.

5.2. Futuras líneas de investigación

Actualmente, el grupo de empresas Simplex está trabajando en el desarrollo de nuevas tecnologías y sistemas de construcción entre los cuales se puede destacar los paneles industrializados de particiones interiores equipados con sus tramos de instalaciones, carpintería según proyecto, y acabados necesarios según la posición dentro del espacio interior.

Las particiones para separación entre estancias y viviendas son unos paneles modulares prefabricados de gran formato (de suelo a techo) desarrollados y patentados por Grupo de Empresas Simplex.

El alto grado de prefabricación de los paneles modulares de particiones incluye:

- El acabado “preparación de superficie” listo para aplicación de pintura o papel de paredes;
- Las puertas de paso y de entrada a las viviendas instaladas en fábrica;
- Los conductos eléctricos, enchufes e interruptores instalados en fábrica;
- Distanciadores y elementos ocultos de sujeción;
- Tramos empotrados de la tubería con los correspondientes “fittings” para los aparatos sanitarios.

Las particiones SPANS representan constructivamente a un panel de aislamiento de lana roca basáltica de alta densidad, armado por el medio de un armazón metálico (acero inox) con las alas de 80mm. La superficie de los paneles es reforzada con placas de aquapanel con espesor de 25 mm armadas con la malla de fibra de vidrio.

El espesor de una partición SPANS para separación entre viviendas tiene espesor de 245 mm (24,5 cm), para separación entre estancias es de 105 mm (10,5 cm).



Asimismo, la empresa apuesta por el desarrollo de las tecnologías de la impresión 3D para su empleo en formación de los armazones de los paneles para conseguir el mejor comportamiento térmico de los paneles y aumentar el rendimiento de la fabricación y reducir el peso del panel sin la pérdida de su resistencia.

Bibliografía

1. DEL ÁGILA GARCIA, A.; *La industrialización de la edificación de viviendas Tomo-1*; ISBN: 978-84-934711-3-2; Editorial: Maireia Libros (Escuela Técnica Superior de Arquitectura), Madrid, 2006
2. DEL ÁGILA GARCIA, A.; *La industrialización de la edificación de viviendas Tomo-2*; ISBN: 84-934711-4-3; Editorial: Maireia Libros (Escuela Técnica Superior de Arquitectura), Madrid, 2006.
3. CALAVERA RUÍZ, J., FDEZ.GÓMEZ, J.; *Una introducción a la prefabricación de edificios y naves industriales. Monografía Nº 4*; ISBN: 84-88764-11-1, Editorial: INTEMAC, Madrid, 1999.
4. MANDOLESI, E.; *Edificación. El proceso de edificación. La edificación industrializada. La edificación del futuro.*; Editorial: CEAC, Barcelona, 1992.
5. BENDER, R.; *Una visión de la construcción industrializada*; Editorial: Gustavo Gili, Barcelona, 1976.
6. ASEFAVE (Asociación Española de Fabricantes de Fachadas Ligeras y Ventiladas); *Manual de producto. Fachadas ligeras.*; ISBN: 84-8143-465-5, Editorial: AENOR, Madrid, 2006.
7. ZARABOZO GALAN, A.; *Problemática del hormigón en elementos prefabricados*; Revista de obras públicas; septiembre 1981.
8. COMPASAN S.A., *Manual aislamiento acústico*
9. NAVARRO UTIEL, V.; Trabajo final de grado: *Construcción modular vs construcción tradicional*; Tutor académico: GONZALEZ REDONDO, MJ., Escuela Técnica Superior de Ingeniería de la Edificación, Julio 2013-2014
10. SANCHA DE LA MATA, P.; Trabajo final de grado: *Envolvente de edificios de alta eficiencia energética. Estudio de dos casos concretos en Valladolid*; Tutor académico: RAMÓN CUETO, G., Escuela Técnica Superior de Arquitectura (UVa), septiembre 2015

11. SÁNCHEZ HURTADO, JF.; Trabajo final de grado: *Paneles prefabricados de hormigón en fachadas*; Tutor académico: FERNÁNDEZ GÓMEZ, J., Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales, y Puertos (UPM), septiembre 2010
12. GÓMEZ Muñoz, D.; Trabajo final de grado: *Estudio comparativo entre distintas metodologías de industrialización de la construcción de viviendas*; Tutores académicos: AGUADO DE CEA, A., FERNÁNDEZ LILLO, C., Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Construcción (UPC), junio 2008
13. MAC DONNEL, H., MAC DONNEL, HP.; *Manual de Construcción Industrializada*; ISBN: 987-97522-0-1, Editorial: Revista Vivienda SRL, Argentina, 1999.
14. <http://bioclimax.net/vlog/2012/10/16/construccion-tradicional-versus-construccion-industrializada-en-vivienda-unifamiliar/> (6.10. 2016)
15. <http://76-82.livejournal.com/3837677> (12.02.2016)
16. <http://simplex-system.com/en/spans-technology/> (11.02.2016)
17. <http://www.tecnyconta.es/index.php?sec=23&id=25&idS=149&ioma> (03.03.2016)
18. <http://www.tecnyconta.es/index.php?sec=23&id=25&idS=150&ioma=> (03.03.2016)
19. <http://www.cimbrados.com/grc.html> (03.03.2016)
20. <http://www.compacthabit.com/es/nivells/obra/titular/residencia-gaston-phoebus-pau> (12.10.2016)
21. <http://www.compacthabit.com/es/nivells/obra/titular/hpo-sant-cugat> (12.10.2016)
22. <http://barcelonahousingsystems.com/technology/> (12.10.2016)
23. <http://www.tectonica-online.com/temas/industrializacion/mito-industrial-enrique-azpilicueta-ramon-araujo/38/> (18.04.2016)
24. http://www.tenseguridad.es/Publications/Industrializacion_Vs_Pre_fabricacion_by_GOMEZ-JAUREGUI.pdf (12.03.2016)

Relación de referencias fotográficas y tablas normativas

-REFERENCIAS GRÁFICAS Y FOTOGRÁFICAS-

<i>Fig. 1. Construcción de un edificio de viviendas de la serie K-7. Fuente: http://76-82.livejournal.com/3837677.html Fecha de consulta: 12.02.2016 ...</i>	16
<i>Fig. 2. Edificios industrializados en Plattenbau, Magdeburg (1965). Copyright: railasia, Fecha de consulta: 12.02.2016.....</i>	17
<i>Fig. 3. Portada de la revista "TIME " con la ilustración de Richard Buckminster "Bucky" Fuller (a la izquierda) y la fotografía de Jean Prouvé (a la derecha) ..</i>	19
<i>Fig. 4. Buckminster Fuller, Dymaxion House , 1945 – 1946.....</i>	20
<i>Fig. 5. Jean Prouvé, Casas industrializadas tipo "Metrópolis ", Meudon (1950-1952)</i>	20
<i>Fig. 6. Edificio "La Unité d'Habitation" de Le Corbusier (1947 - 1952).....</i>	21
<i>Fig. 7. Proceso constructivo de Habitat 67. Fuente: Laboratorio de la vivienda sostenible. Barcelona, 2008</i>	22
<i>Fig. 8. Edificio "Habitat" de M. Safdie (1967).....</i>	23
<i>Fig. 9. Paneles prefabricados portantes de hormigón armado. Fuente: CALAVERA RUIZ J. y FERNANDEZ GÓMEZ J.; "Prefabricación de edificios y naves industriales", Monografías INTEMAC</i>	29
<i>Fig. 10. Paneles prefabricados autoportantes de hormigón armado. Fuente: CALAVERA RUIZ J. y FERNANDEZ GÓMEZ J.; "Prefabricación de edificios y naves industriales", Monografías INTEMAC.....</i>	31
<i>Fig. 11. Panel prefabricado de hormigón armado tipo sándwich con uniones rígidas. Fuente: INTEMAC.</i>	33
<i>Fig. 12. Panel prefabricado de hormigón armado de tres hojas dilatables. Fuente: INTEMAC.</i>	34
<i>Fig. 13. Vista posterior de un panel de de GRC con un bastidor metálico. Fuente: generador de precios CYPE</i>	35

<i>Fig. 14. Panel sándwich a base de hormigón GRC y aislamiento térmico de poliestireno. Fuente: GRC-Barcelona.....</i>	<i>36</i>
<i>Fig. 15. Panel arquitectónico de GRC. Fuente: GRC-Barcelona.</i>	<i>36</i>
<i>Fig. 16. Unión química entre paneles prefabricados de hormigón y forjados. Fuente: CALAVERA RUIZ J. y FERNANDEZ GÓMEZ J.; “Prefabricación de edificios y naves industriales”, Monografías INTEMAC.....</i>	<i>38</i>
<i>Fig. 17. Unión mecánica entre los paneles prefabricados de hormigón y forjados. Fuente: CALAVERA RUIZ J. y FERNANDEZ GÓMEZ J.; “Prefabricación de edificios y naves industriales”, Monografías INTEMAC.....</i>	<i>38</i>
<i>Fig. 18. Método de sujeción y nivelación de los paneles prefabricados de hormigón. Fuente: CALAVERA RUIZ J. y FERNANDEZ GÓMEZ J.; “Prefabricación de edificios y naves industriales”, Monografías INTEMAC.....</i>	<i>39</i>
<i>Fig. 19. Unión mecánica moderna entre los paneles de hormigón y estructura de edificio. Fuente:</i> <i>http://www.tecnyconta.es/index.php?sec=23&id=25&idS=149&idioma=. Fecha de consulta: 03.03.2016.....</i>	<i>40</i>
<i>Fig. 20. Unión mecánica de apoyo entre paneles de hormigón y la estructura del edificio. Fuente:</i> <i>http://www.tecnyconta.es/index.php?sec=23&id=25&idS=150&idioma=. Fecha de consulta: 03.03.2016.....</i>	<i>41</i>
<i>Fig. 21. La solución de la unión más habitual para paneles de GRC tipo sándwich. Fuente: http://www.cimbrados.com/grc.html. Fecha de consulta: 03.03.2016.....</i>	<i>41</i>
<i>Fig. 22. Juntas con empleo de los perfiles metálicos o elementos plásticos. Fuente: Monografías INTEMAC.....</i>	<i>42</i>
<i>Fig. 23. Juntas con empleo a base de un material elástico. Fuente: Monografías INTEMAC.....</i>	<i>43</i>
<i>Fig. 24. Sistema de transporte habitual de los paneles prefabricados de hormigón con empleo de un caballete metálico. Fuente: Monografías INTEMAC.....</i>	<i>44</i>

<i>Fig. 25. Módulos tridimensionales de empresa Compact Habitat (Barcelona). Fuente: http://www.compacthabit.com/es/nivells/obra/titular/residencia-gaston-phoebus-pau. Fecha de consulta: 12.10.2016</i>	46
<i>Fig. 26. Residencia universitaria en Sant Cugat (Barcelona) realizada mediante módulos de hormigón. Fuente: http://www.compacthabit.com/es/nivells/obra/titular/hpo-sant-cugat. Fecha de consulta: 12.10.2016</i>	47
<i>Fig. 27. Cimentación por pilotes enroscados. Fuente: http://barcelonahousingsystems.com/technology/. Fecha de consulta: 12.10.2016</i>	48
<i>Fig. 28. Construcción de un edificio en seco. Fuente: http://barcelonahousingsystems.com/technology/. Fecha de consulta: 12.10.2016</i>	48
<i>Fig. 29. Encuentro forjado – fachada (a la izquierda) y encuentro forjado-fachada con saliente (a la derecha). Fuente: Código Técnico de Edificación, 2014</i>	58
<i>Fig. 30. Secuencia de trabajo con aplicación del sistema SPANS. Fuente: Elaboración propia</i>	64
<i>Fig. 31. Escaneado de la estructura abandonada con escáner laser 3D Topcon FARO 130X. Fuente: Elaboración propia</i>	66
<i>Fig. 32. Escaneado de la estructura abandonada con escáner laser 3D Topcon 130X. Fuente: Elaboración propia</i>	67
<i>Fig. 33. Modelizado de la envolvente térmica virtual en un entorno del programa informático "SolidWorks". Fuente: Elaboración propia</i>	69
<i>Fig. 34. Una envolvente térmica virtual modelizada con una precisión industrial. Comprobación del encaje del conjunto de paneles. Fuente: Elaboración propia</i>	69
<i>Fig. 35. Fase de diseño detallado de un panel. Fuente: Elaboración propia</i>	71
<i>Fig. 36. Diseño detallado de un sistema de anclaje móvil NOKv04. Fuente: elaboración propia</i>	72
<i>Fig. 37. Máquina punzonadora con la alimentación automática utilizada para fabricación de los paneles SPANS</i>	74

<i>Fig. 38. Esquema de sectorización de la fábrica SPANS. Fuente: Elaboración propia</i>	76
<i>Fig. 39. Cuadros de transporte de los paneles SPANS. Fuente: Elaboración propia</i>	77
<i>Fig. 40. Instalación de los paneles SPANS en una obra. Fuente: Elaboración propia</i>	79
<i>Fig. 41. Representación de la junta vertical y sistema de anclaje NOK v04. Fuente: Elaboración propia</i>	80
<i>Fig. 42. Detalle de la unión horizontal entre dos paneles SPANS consecutivos. Fuente: Elaboración propia</i>	81
<i>Fig. 43. Instalación de los paneles SPANS. Proceso de trasdosado. Fuente: Elaboración propia</i>	82
<i>Fig. 44. Vista desde el interior. Panel SPANS con trasdosado interior por medio de paneles de yeso machihembrados. Fuente: Elaboración Propia</i>	83
<i>Fig. 45. Vista desde el interior. Panel SPANS con trasdosado interior por medio de paneles de yeso machihembrados. Fuente: Elaboración Propia</i>	84
<i>Fig. 46. Paneles SPANS instalados como una demostración de la tecnología en Chelyabinsk, Rusia. 2014. Fuente: elaboración propia</i>	85
<i>Fig. 47. Recorrido aumentado en un termoperfil. Fuente: www.lasar.ru (25.03.2016)</i>	88
<i>Fig. 48. Termoarmazón SPANS de acero galvanizado con la carpintería instalada. Fuente: Elaboración propia</i>	89
<i>Fig. 49. Sección en perspectiva del termoperfil SPANS con el enrejado tipo “Louver”. Fuente: Elaboración propia</i>	91
<i>Fig. 50. Vista posterior del proceso de trasdosado del panel SPANS. Fuente: Elaboración propia</i>	94
<i>Fig. 51. Comparación de los espesores necesarios para conseguir transmitancia de 0.3 W/m²K. Fuente: Elaboración propia. Datos: Instituto Passivhaus, Alemania</i>	95
<i>Fig. 52. Comparativa de los espesores de las soluciones de cerramientos exteriores según las zonas climática de España. Fuente: Elaboración propia</i>	98

<i>Fig. 53. Visualización de un panel de paño ciego con elemento arquitectónico.</i>	
<i>Fuente: Elaboración propia.</i>	99
<i>Fig. 54. Sección del panel SPANS 150. Fuente: Elaboración propia.</i>	100
<i>Fig. 55. Sección del panel SPANS 150. Preparación para el análisis. Fuente: Elaboración propia.</i>	101
<i>Fig. 56. Extracto del Código Técnico de Edificación. Determinación de resistencias térmicas superficiales. Fuente: Código Técnico de Edificación, 2014.</i>	101
<i>Fig. 57. Asignación de las características del aire interior en programa THERM.</i>	102
<i>Fig. 58. Asignación de las características del aire exterior en programa THERM.</i>	103
<i>Fig. 59. Visualización de Isotermas dentro de la sección del panel con las condiciones asignadas. Fuente: Elaboración propia.</i>	104
<i>Fig. 60. Visualización de las líneas de flujo de calor. Fuente: elaboración propia.</i>	105
<i>Fig. 61. Flujo térmico a través del termoperfil SPANS dentro de la estructura del cerramiento. Fuente: Elaboración propia</i>	105
<i>Fig. 62. Gradiente térmico de rayos infrarrojos de la sección del panel SPANS con una leyenda de colores. Fuente: Elaboración propia.</i>	106
<i>Fig. 63. Magnitud del flujo térmico dentro de la sección del panel SPANS con una leyenda de colores. Fuente: Elaboración propia.</i>	106
<i>Fig. 64. Efectos de una condensación en zona de un puente térmico. Fuente: Guía del estándar passivhaus. Fenercom. 2011.</i>	107
<i>Fig. 65. Valores de flujo de calor en la zona de esquina de un cerramiento tradicional. Fuente: Guía del estándar passivhaus. Fenercom. 2011.</i>	108
<i>Fig. 66. Panel de esquina SPANS con elemento arquitectónico (cornisa). Fuente: Elaboración propia.</i>	109
<i>Fig. 67. Simulación térmica del panel de esquina SPANS con las visualizaciones de isotermas y gradiente térmico. Fuente: Elaboración propia.</i>	110
<i>Fig. 68. Panel de cerramiento SPANS™. Gancho móvil. Fuente: Elaboración propia.</i>	112

<i>Fig. 69. Sistema de anclaje NOK v04 con indicación de direcciones de ajustes. Fuente: Elaboración propia.</i>	<i>113</i>
<i>Fig. 70. Esquema de instalación del panel sobre el anclaje de apoyo NOK v04. Fuente: Elaboración propia.</i>	<i>114</i>
<i>Fig. 71. Imagen del sistema de anclaje NOK v04 puesto en obra. Fuente: Simplex Grup.</i>	<i>113</i>
<i>Fig. 72. Orígenes de la contaminación acústica. Fuente: Manual de aislamiento acústico. www.composan.com (14.04.2016)</i>	<i>115</i>
<i>Fig. 73. Fragmento de cerramiento industrializado formado por los paneles SPANS™ y su conexión con los forjados. Fuente: Elaboración propia</i>	<i>118</i>
<i>Fig. 74. Detalle de la junta horizontal capaz de absorber vibraciones procedentes del panel adyacente. Fuente: Elaboración propia.</i>	<i>119</i>
<i>Fig. 75. Grafica de presión de vapor frente a presión de saturación en el mes de enero. Fuente: Elaboración propia.</i>	<i>123</i>
<i>Fig. 76. Grafica de presión de vapor frente a presión de saturación en el mes de julio. Fuente: Elaboración propia.</i>	<i>123</i>
<i>Fig. 77. Vista de termoperfil con sus ranuras unilaterales rellenas con aislamiento térmico. Fuente: Elaboración propia.</i>	<i>124</i>
<i>Fig. 78. Grafica de presión de vapor frente a presión de saturación en el mes de enero. Fuente: Elaboración propia.</i>	<i>127</i>
<i>Fig. 79. Grafica de presión de vapor frente a presión de saturación en el mes de julio. Fuente: Elaboración propia.</i>	<i>127</i>
<i>Fig. 80. Grafica de presión de vapor frente a presión de saturación en el mes de enero. Fuente: Elaboración propia.</i>	<i>130</i>
<i>Fig. 81. Ilustración 81. Grafica de presión de vapor frente a presión de saturación en el mes de julio. Fuente: Elaboración propia.....</i>	<i>130</i>
<i>Fig. 82. Panel SPANS con acabado a base de monocapa). Fuente: Elaboración propia.</i>	<i>132</i>
<i>Fig. 83. Aplicación del monocapa sobre la cara exterior de un panel de esquina en plano horizontal. Fuente: Elaboración propia.</i>	<i>132</i>
<i>Fig. 84. Paneles SPANS en sus varias configuraciones (Carpintería de entrada / salida, ventana, esquina). Fuente: Elaboración propia.</i>	<i>133</i>

Fig. 85. Visualización 3D del panel con capa de aislamiento térmico adicional y sistema de fachada ventilada. Fuente: Elaboración propia.134

Fig. 86. Visualización 3D del sistema de fachada ventilada a base de cassetts metálicos con un sistema de anclaje patentado por Simplex Group. Fuente: Simplex Group.135

Fig. 87. Carpintería de herrajes mecatrónicos ocultos "Schüco TipTronic SimplySmart". Fuente: <https://www.schueco.com>135

Fig. 88. Ejemplos de configuraciones de carpintería proyectadas para diferentes obras. Fuente: Elaboración propia.136

Fig. 89. Sección vertical del cerramiento formado por los paneles SPANS. Configuración "Norte". Fuente: Elaboración propia.....137

Fig. 90. Detalle constructivo de la junta machihembrada entre dos paneles adyacentes. Fuente: Elaboración propia.139

Fig. 91. Detalle constructivo de la junta vertical entre dos paneles adyacentes. Fuente: Elaboración propia.140

Fig. 92. Visualización 3D de la unión vertical entre los paneles SPANS y sistema de anclaje NOK v04. Fuente: Elaboración propia.141

Fig. 93. Demostración del perno de ojo enroscado en el lateral reforzado del panel. Fuente: Elaboración propia.142

Fig. 94. Visualización 3D de los "Boxes" de transporte compuestos por dos marcos metálicos con sistema de posicionamiento de paneles. Fuente: Elaboración propia.143

Fig. 95. Índices de incidencia sectoriales. Fuente: Anuario de Estadísticas del Ministerio de Empleo y Seguridad Social 2015. MEYSS.....156

Fig. 96. Variación en % del índice de accidentes de trabajo leves. Fuente: Ministerio de Empleo y Seguridad Social (2016)157

Fig. 97. Variación en % del índice de accidentes de trabajo graves. Fuente: Ministerio de Empleo y Seguridad Social (2016)158

Fig. 98. Variación en % del índice de accidentes de trabajo mortales. Fuente: Ministerio de Empleo y Seguridad Social (2016)158

Fig. 99. Distribución porcentual de los bloques de causas en el sector industrial respecto al resto de los sectores. Fuente: Ministerio de Empleo y Seguridad Social.....161

-TABLAS-

Tabla 1. Transmitancia térmica límite de muros de fachada según cada zona climática de España. Fuente: Código Técnico de Edificación, DB HE-1 55

Tabla 2. Valores orientativos de los parámetros. Fuente: Código Técnico de Edificación, DB HE-1 55

Tabla 3. Normas UNE relativas a los paneles de cerramiento SPANS. Fuente: Elaboración propia. 61

Tabla 4. Sectorización de la fábrica SPANS 75

Tabla 5. Características de lana de roca basáltica. Fuente: Rockwool..... 93

Tabla 6. Espesores necesarios de los distintos materiales para conseguir las exigencias del Instituto Passivhaus. Fuente: Instituto Passivhaus, Alemania. ... 95

Tabla 7. Transmitancia del elemento según zona climática. Fuente: Código Técnico de la Edificación, 2014. 96

Tabla 8. Características de los materiales empleados para simulación térmica del paño ciego del panel SPANS. 99

Tabla 9. Valores de aislamiento a ruido aéreo entre un recinto protegido y el exterior, en función del índice de ruido día, Ld. Fuente: Código Técnico de la Edificación (Tabla 2.1.) DB-HR..... 116

Tabla 10. Distribución porcentual de los accidentes mortales investigados por Fase de obra en el periodo 2011-2013, y comparación con el periodo 2008-2010. Fuente: Ministerio de Empleo y Seguridad Social. 159

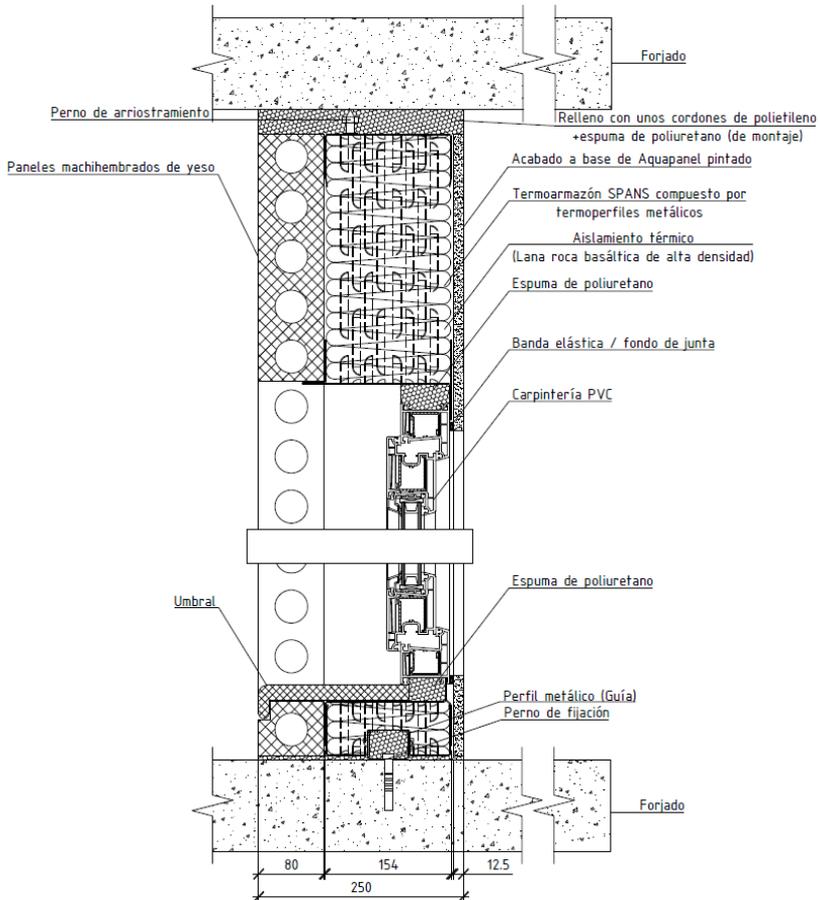
Tabla 11. Valoración de riesgos laborales con aplicación de los paneles SPANS para cerramientos y soluciones de cerramiento convencional. Fuente: Elaboración propia. 163



Anexo de fichas justificativas

**DETALLE CONSTRUCTIVO: MONTAJE DE PANEL SPANS
ENTRE FORJADOS**

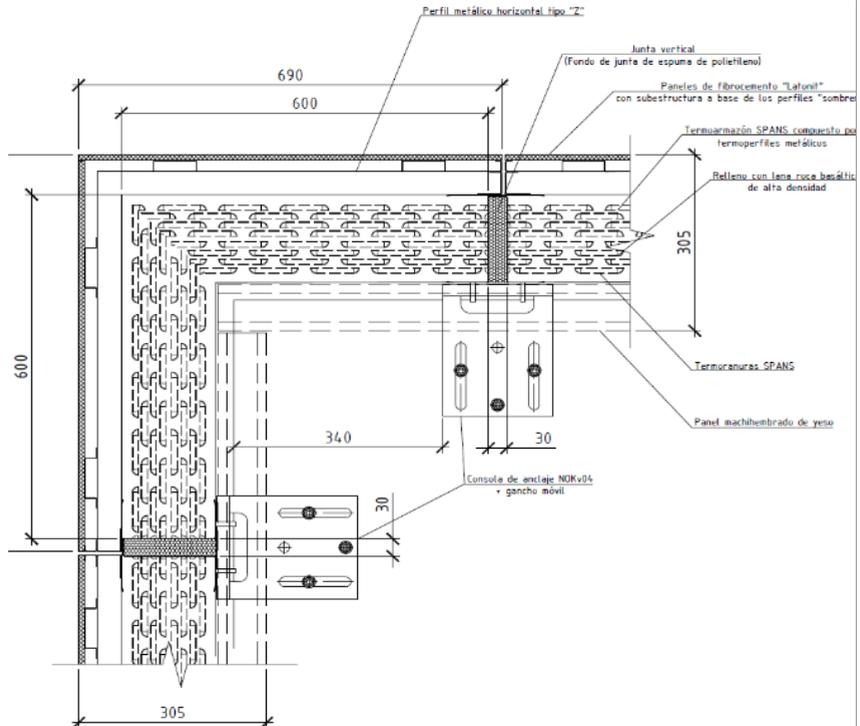
DS-1



OBSERVACIONES:

El acabado resuelto con aplicación de “Aquapanel”. Uso del panel: zonas de balcones, terrazas, entradas al edificio.

DETALLE CONSTRUCTIVO: PANEL SPANS™ DE LA ESQUINA DS-3

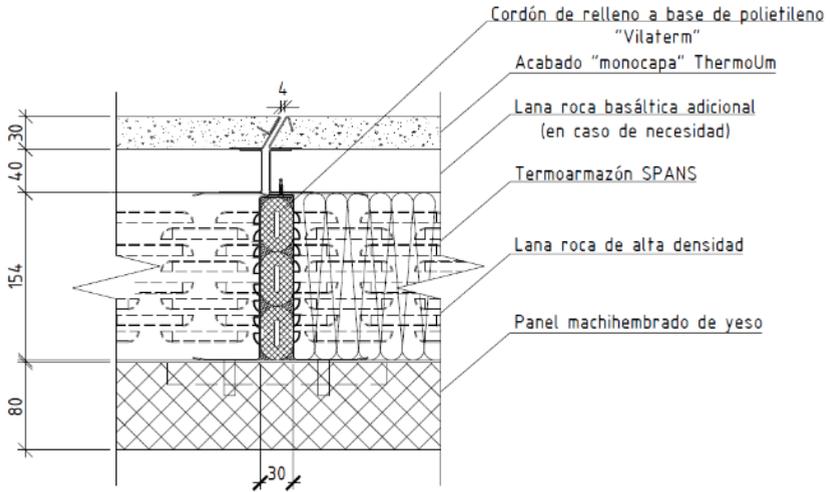


OBSERVACIONES:

El acabado resuelto con aplicación de paneles de fibrocemento de marca "Latoni". Uso del panel: esquinas de la envolvente térmica.

**DETALLE CONSTRUCTIVO: JUNTA VERTICAL
ENTRE DOS PANELES SPANS™**

DS-4

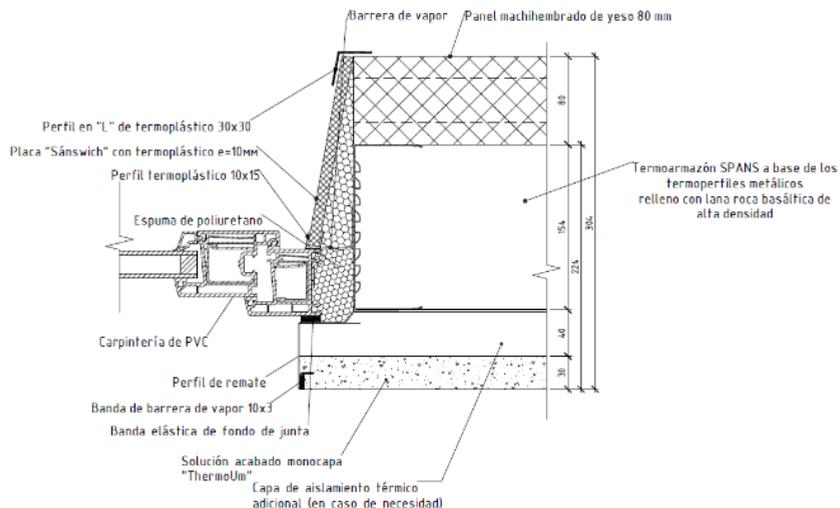


OBSERVACIONES:

El acabado resuelto con aplicación de sistema monocapa con termoenfocado de marca "ThermoUm". Uso del panel: Cualquier posición dentro de la envolvente térmica de un edificio.

DETALLE CONSTRUCTIVO: ENCUENTRO CON LA CARPINTERÍA (VENTANA)

DS-5



OBSERVACIONES:

El acabado resuelto con aplicación de sistema monocapa con termoenfocado de marca "ThermoUm". Uso del panel: Cualquier posición dentro de la envolvente térmica de un edificio con la carpintería prevista.