

TRABAJO FINAL DE GRADO ETSAV 2014-15

El aislamiento térmico en muros
de hormigón in situ

ÍNDICE

Resumen	2
Objetivos y metodología	3
Introducción	4
I. Hormigón . Historia del material y ss posibilidades	5
I.1. Breve contexto histórico. Los inicios del hormigón armado.....	5
I.2. Las primeras patentes. Sistema Hennebique y Wayss y Freytag	7
I.3. Aplicaciones y líneas de desarrollo.	7
II. La envolvente del edificio. El cerramiento	8
II.1. El aislamiento térmico como función	8
II.2. Problemática. Los puentes térmicos	9
II.3. El hormigón como cerramiento.....	9
III. Diseño y tipologías	11
III.1. Caso 1. Posición intermedia	12
III.2. Caso 2. Posición exterior	19
III.3. Caso 3. Posición interior	21
IV. Ejemplos de innovación	23
IV.1. Zollverein School of Management and design, SANAA (2005).....	23
IV.2. Joachimstrasse, Berlin, David Chipperfield (2011).....	29
IV.3. Comparación y conclusiones	35
V. El hormigón aislante – <i>insulated concrete</i> – en el mercado.....	36
VI. Conclusiones	39
VII. Bibliografía y fuentes	40
VIII. Índice de imágenes	41
IX. Anejos.....	43
IX.1. Ficha técnica Thermedia™ 0.6 España	43
IX.2. Ficha técnica Thermedia™ 0.6 Francia	43

RESUMEN

La utilización del hormigón armado no como estructura del edificio sino como la propia envolvente portante del mismo, hace que se planteen diferentes soluciones constructivas que den respuesta a las funciones básicas de un cerramiento. No obstante, debido a numerosas limitaciones en el proceso de ejecución aparecen diversos problemas con respecto a la función del aislamiento térmico. La solución de los cuales pasa por tomar decisiones en detrimento de otros aspectos del proyecto. Sin embargo, a pesar de que la situación de los cerramientos de hormigón armado in situ se encuentra en un momento de *stand by* constructivo, se están desarrollando nuevos tipos de hormigón estructural que mejoran sus propiedades aislantes. Esta línea de investigación promete dar solución a los problemas de aislamiento térmico que constructivamente no han sabido resolverse.

RESUM

La utilització del formigó armat no com a estructura de l'edifici sinó com la pròpia envoltant portant del mateix, fa que es plantegen diferents solucions constructives que donen resposta a les funcions bàsiques d'un tancament. No obstant això, a causa de nombroses limitacions en el procés d'execució apareixen diversos problemes respecte a la funció de l'aïllament tèrmic. La solució dels quals passa per prendre decisions en detriment d'altres aspectes del projecte. No obstant això, a pesar que la situació dels tancaments de formigó armat in situ es troba en un moment de *stand by* constructiu, s'estan desenrotllant nous tipus de formigó estructural que milloren les seues propietats aïllants. Esta línia d'investigació promet donar solució als problemes d'aïllament tèrmic que constructivament no han sabut resoldre's.

RÉSUMÉ

L'utilisation du béton armé pas comme la structure du bâtiment, sinon comme l'enveloppe portant elle-même, fait se poser des différentes solutions constructives en répondant aux fonctions basiques de la clôture extérieure. Toutefois, à cause de nombreuses restrictions sur le processus de mise en œuvre apparaissent divers problèmes concernant la fonction de l'isolation thermique dont la solution passe par des décisions au détriment d'autres aspects du projet. Cependant, malgré la situation des murs en béton armé in situ est dans un temps de *stand-by* constructif, on est en train de développer des nouveaux typologies de béton structurel qui vont améliorer ses propriétés isolantes. Cette recherche promet de trouver une solution aux problèmes d'isolation thermique qui ont échoué à se résoudre de manière constructive.

OBJETIVOS Y METODOLOGÍA

El objeto de este trabajo no es analizar los tipos de aislamiento térmico en muros de hormigón, sino aportar una visión global de la problemática actual que afecta a la cuestión del aislamiento térmico en los muros de hormigón in situ y analizar dos casos de estudio de dos posibles soluciones a dicho problema.

Con respecto a la metodología, en la primera parte de esta memoria se lleva a cabo una presentación del hormigón, acompañada de un breve repaso de la evolución del material y de sus aplicaciones en la arquitectura. A continuación se desarrolla brevemente las funciones de un cerramiento y se exponen las ventajas y los inconvenientes que la construcción de la envolvente con hormigón armado presenta, prestando especial atención en la función del aislamiento térmico del muro.

En la segunda parte, se desarrolla un análisis de las posibles soluciones constructivas desarrolladas hasta la fecha de forma gráfica y se estudian las ventajas y las carencias de cada uno de los casos.

En la tercera parte se exponen dos casos innovadores en los que se aborda la cuestión del aislamiento de forma distinta. Los proyectos propuestos son la escuela de emprendedores y de diseño de Zollverein, del estudio de arquitectura SANAA y la ampliación y reforma de una antigua fábrica en Joachimstrasse, Berlín, de David Chipperfield.

En último lugar, se presenta un nuevo hormigón aislante estructural que en principio solventa las carencias de los hormigones estructurales habituales gracias a la mejora de sus propiedades térmicas.

Finalmente se presentarán las conclusiones obtenidas del estudio realizado.

INTRODUCCIÓN

Toda construcción debe garantizar para el buen funcionamiento del edificio tres premisas o condiciones básicas que son: la estanqueidad, la resistencia y el aislamiento térmico. Este trabajo está principalmente enfocado al estudio de ésta última, a través del análisis gráfico de las distintas soluciones que se han ido dando a lo largo de la historia del hormigón armado in situ.

El hormigón armado surge como la alternativa a otros materiales como la madera o el acero. Gracias a su capacidad resistente – mayor que la madera, aunque menor que el acero –, a una buena respuesta frente al fuego, entre otras características, el hormigón pasará a tener un papel cada vez más relevante en la escena arquitectónica a partir de principios del siglo XIX.

Sus primeras apariciones en las obras de construcción se basan en el sistema de vigas y pilares, y más tarde aparecerán las losas planas sin vigas y los pilares fungiformes.

Con el tiempo, las formas en que encontramos el hormigón armado van transformándose en estructuras más complejas, de espesores reducidos al límite y geometrías muy alejadas de la linealidad.

Sin embargo, más allá de su aplicación en estructuras singulares, encontramos el hormigón armado como material habitual en la construcción, y es en este punto donde, lejos de protagonizar nuevos hitos en la historia, adquiere una expresión más humilde para dar respuesta a las necesidades básicas de la arquitectura.



Imagen 1 *TWA Terminal at Idlewild (now JFK) Airport, Eero Saarinen, New York, NY, 1962*



Imagen 2. *Casa en Ropponmatsu. Kazunori Fujimoto*

I. HORMIGÓN. HISTORIA DEL MATERIAL Y SUS POSIBILIDADES

El hormigón es un material de construcción compuesto por un aglomerante – cemento en la mayoría de sus casos – áridos finos, áridos gruesos y agua. Es pues un material fluido que necesita de un encofrado o molde que configure una forma determinada y que fraguará y se endurecerá en contacto con el aire adquiriendo así una resistencia característica.

Entre las propiedades del hormigón se encuentran la **consistencia** o fluidez del hormigón, la cual depende del contenido de agua de la mezcla; la **plasticidad**, que variará en función del contenido de áridos finos y de la cual dependerá la **trabajabilidad**, o facilidad de la puesta en obra. Permite gran variedad formal gracias a su carácter fluido.

Mecánicamente trabaja muy bien a compresión debido a su condición pétreo, pero no resiste por igual los esfuerzos a tracción por lo que si su uso pretende ser estructural, debe armarse con barras de acero. Es además un buen aislante acústico y también, en función de su composición, presenta unas cualidades térmicas determinadas. Por último, es un material que ofrece una buena resistencia al fuego en comparación con otros materiales, como el acero.

Podemos encontrar el hormigón de diferentes formas, a saber, en masa – hormigón ciclópeo y hormigón ligero – y estructural – armado, pretensado y postesado. La manera habitual de construcción con hormigón armado es in situ, pero el desarrollo de la industria ha permitido su prefabricación y elaboración en taller, garantizando una mejora en las propiedades y una mayor fiabilidad en los resultados de las piezas finales.

Económicamente, su precio es inferior al del acero, y dependerá de la complejidad de la puesta en obra – formas no lineales que requieran encofrados especiales, o condiciones extraordinarias de ejecución – y de las características y propiedades concretas del hormigón que se elija.

I.1. Breve contexto histórico. Los inicios del hormigón armado

El origen del hormigón armado puede establecerse en base a diferentes criterios. ¿Quién fue el primero en patentarlo? ¿Cuándo empezó a emplearse en la construcción? ¿Qué sucesos permitieron su desarrollo y cuándo? ¿Podemos calificarlo como la evolución de otros sistemas constructivos, y por lo tanto no hablar de un origen sino de una progresión? No se puede sino hacer compendio de la historia y de los personajes que influyeron en el desarrollo del que hoy en día es el material con más posibilidades en el mundo de la construcción.

Las primeras arquitecturas, hallaron en la piedra, la madera y el adobe la capacidad de materializarse en obras de construcción. En el transcurso de la historia, el

esculpido de la piedra, la tala de la madera y el moldeado de la tierra arcillosa dan lugar a técnicas constructivas más elaboradas como lo son la sillería, la madera ensamblada o la técnica del tapial. Desde el Partenón hasta el *Opus Caementicium* romano, todos estos métodos sentarán las bases de posteriores desarrollos que, debido unas veces a la ambición y otras a la necesidad, y gracias a la aparición de nuevos materiales, permitirán suplir las carencias o mejorar las propiedades de las materias primas. Ejemplo de ello es la iglesia de Santa Genoveva de París (1757-90), en la que J.G. Soufflot gracias al armado de los sillares pudo resolver los problemas estructurales que conllevaba la falta de tracción de la piedra.

Paralelamente al perfeccionamiento de técnicas ya existentes, se lleva a cabo el descubrimiento y el desarrollo de nuevos materiales como la cal hidráulica por Louis Vicat (1818) o el cemento portland por Joseph Aspdin (1824). Si además rescatamos la técnica del tapial – arcilla moldeada mediante un molde o *encofrado* de madera – y la piedra armada, podemos comprobar como ya existen las bases para crear hormigón armado.

Pero en este punto es cuando intervienen las patentes y la comercialización de los materiales y las técnicas constructivas. Los primeros ejemplos de hormigón armado como tal se deben a Louis Lambot con su *bateau-ciment* – barco de cemento – reforzado con hierro (1847) y a Joseph Monier con sus comederos de hierro reforzado para la horticultura (1867) y más tarde paneles de hierro reforzado con cemento para la construcción de fachadas (1869).

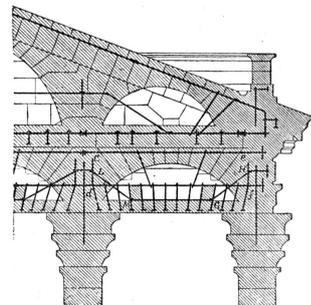
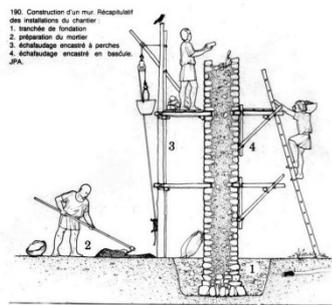
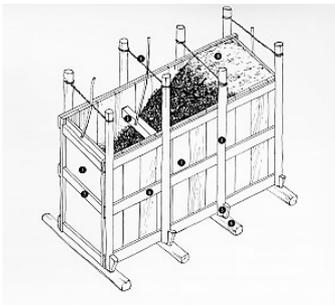


Imagen 3 *Opus caementicium*; Imagen 4 Técnica del tapial; Imagen 5 Panteón de París. Soufflot 1753

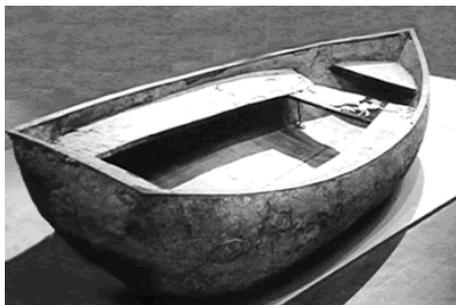


Imagen 6 Bateau ciment L. Lambot

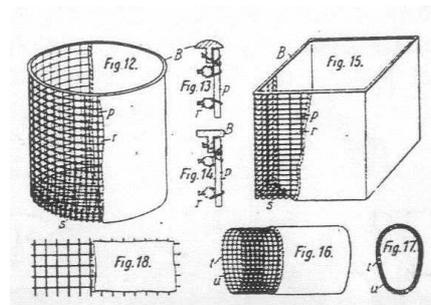


Imagen 7 Jardineras armadas J. Monier

1.2. Las primeras patentes. Sistema Hennebique y Wayss y Freytag

En los últimos años del siglo XIX tuvo lugar un desarrollo bilateral en Europa. Por un lado, François Hennebique (Bélgica) patentó en 1892 un sistema estructural basado en vigas y pilares de hormigón, el cual debido a una extenuante labor de publicidad logró posicionarse rápidamente en el mercado de la construcción en Francia como la nueva alternativa a las estructuras de madera o acero gracias a su resistencia al fuego. El desarrollo de los diferentes modelos fue mayoritariamente práctico, sin suponer un gran avance en el conocimiento teórico y las posibilidades del material. Paralelamente en Berlín, G.A. Wayss, conocedor de las patentes de Monier, se hizo con los derechos para Alemania y junto con C. Freytag encaminaron la explotación del hormigón armado por el campo de la ingeniería, a través de su uso en losas, bóvedas y arcos. Años más tarde, diferentes convenios centraron las investigaciones en el desarrollo teórico del material en cuanto a su comportamiento, propiedades y métodos de cálculo que permitieron la hegemonía de su uso en cualquier ámbito.

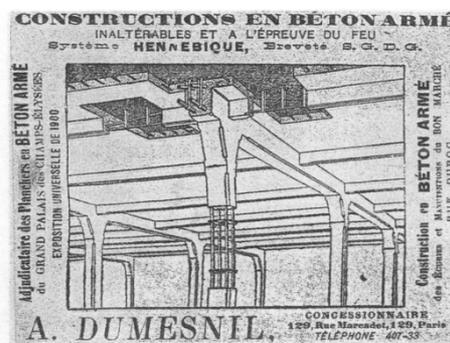


Imagen 8 Publicidad sistema Hennebique

1.3. Aplicaciones y líneas de desarrollo.

A partir del siglo XX la explotación del hormigón armado en las obras de arquitectura e ingeniería civil da lugar a sistemas mundialmente conocidos como el Domino de Le Corbusier. Sistemas que reducen el uso del hormigón al esqueleto portante del edificio, y limitan sus capacidades formales a un uso lineal y reticular. Ésta es la vía de aplicación que sitúa el hormigón como material válido para una construcción seriada. Sin embargo, desarrollos posteriores reconsiderarán el hormigón como material fluido que ofrece infinitas posibilidades formales, y darán lugar a estructuras singulares como las superficies regladas de Félix Candela.

No obstante, tanto si consideramos el hormigón en su versión de estructura reticular aislada como si le otorgamos a ésta la máxima flexibilidad, estamos obviando sus posibilidades como cerramiento. No debemos olvidar que el hormigón en sí posee propiedades que pueden garantizar el adecuado aislamiento térmico, estanqueidad y resistencia. Volviendo a la idea de reunificación de cerramiento y estructura, resurge una línea de aplicación del hormigón como construcción muraria.

Resumiendo nos encontramos con un material que en esencia puede garantizar las funciones de la envolvente del edificio, a la vez que resuelve la estructura y puede adoptar casi cualquier forma.

II. LA ENVOLVENTE DEL EDIFICIO. EL CERRAMIENTO

Las tres premisas o condiciones que toda envolvente debe garantizar para el buen funcionamiento del edificio son las de **estabilidad, estanqueidad y aislamiento térmico**. Cumpliendo estas funciones, y otras de menor relevancia como son la durabilidad y la sostenibilidad, el edificio debería alcanzar las condiciones de servicio mínimas de habitabilidad y confort, así como la seguridad estructural o resistencia.

II.1. El aislamiento térmico como función

De las tres funciones anteriores, la que compete en el desarrollo de este trabajo es la del aislamiento térmico.

La misión del cerramiento consiste, por un lado, en dar respuesta a la piel del edificio y por otro, en modificar en mayor o menor medida la diferencia entre las temperaturas exteriores e interiores para que alcance una estabilidad de la temperatura en el interior.

Así pues, en el diseño de un cerramiento debemos considerar:

- Climatología: temperatura, soleamiento, vientos dominantes, etc.
- Consumo de energía: para alcanzar las condiciones de confort.

La primera decisión es la elección del material y en base a él y a las condiciones anteriormente nombradas, escoger la solución constructiva que mejor se adecue y dé mejor resultado.

Cada material ofrece una resistencia interna al paso del calor denominada *resistencia térmica interna* R_i . Ésta se define como el cociente entre el espesor y la conductividad térmica λ del material:

$$R = \frac{e}{\lambda} \quad [W / m \cdot k]$$

En base a dicha relación podemos escoger materiales con una conductividad térmica y un espesor reducidos, o bien otros con gran conductividad térmica y mayor espesor.

Sin embargo, en la transmisión de calor producida a través del cerramiento influye, además de la resistencia de cada uno de los materiales, la cantidad de energía calórica absorbida por cada capa.

Una forma de valorar la inercia térmica del muro es a partir del coeficiente de estabilidad térmica, es decir, el cociente entre la amplitud de las temperaturas interiores y la amplitud de las temperaturas exteriores. Si el cociente se acerca a la unidad significa que el cerramiento no tiene inercia térmica por lo que cualquier variación de temperatura en el exterior se notará rápidamente en el interior. El objetivo es encontrar valores menores a 0.5.

Es importante aprovechar la inercia térmica del material principal y su capacidad de acumulación de calor. Y para ello es fundamental definir la posición del aislamiento

térmico. Si el aislamiento se coloca en el exterior, el calor del interior se queda acumulado en la capa del material de gran espesor. En el caso contrario – aislamiento térmico en el interior – el cerramiento se comporta como un elemento ligero desaprovechando su capacidad acumulativa.¹

II.2. Problemática. Los puentes térmicos

El principal problema en la resolución de los cerramientos y el cumplimiento de la función del aislamiento, son los puentes térmicos, es decir, puntos donde se da una discontinuidad en la capacidad aislante en la superficie del muro. Esos puntos donde se producen puentes térmicos son el encuentro del muro con forjados intermedios, los huecos en fachada, ya sean puertas o ventanas, esquinas, etc.

La eliminación de dichos puentes térmicos radica en una colocación del aislamiento en detrimento de otras funciones u otros aspectos proyectuales como la estabilidad o el espesor de un muro.²

Existen multitud de soluciones constructivas en función del tipo de muro – fábrica de ladrillo, hormigón armado, madera, etc. – pero nos centraremos en estudiar el aislamiento térmico en los muros de hormigón in situ.

II.3. El hormigón como cerramiento

El empleo del hormigón armado como esqueleto portante exento del cerramiento hizo que su desarrollo como material habitual en edificios de vivienda quedase relegado a un segundo plano, aunque no paralizado. Sin embargo, el hormigón como material en sí ofrece una lectura sincera del proyecto tanto en su construcción como en la función. Su carácter se basa en su continuidad, en entender la estructura y el cerramiento como un mismo elemento que da una respuesta única al proyecto³. Es la forma y la estructura de la obra construida. Ésta es una de las razones por las que hoy en día muchos eligen el hormigón.

Y en el momento que se toma esa decisión, inevitablemente surgen otras cuestiones de diseño que atañen directamente a su puesta en obra. Hablamos de si el hormigón será visto tanto en el interior como en el exterior, cómo y dónde se colocará el aislante, dónde existirá una junta de hormigonado, qué encofrado se utilizará y qué aspecto final adquirirá nuestro hormigón, etc.

Ventajas e inconvenientes de los muros de hormigón in situ:⁴

1) Estructura

A diferencia de otros tipos de cerramiento, los muros de hormigón pueden ser portantes y con el mismo espesor ser más resistentes que por ejemplo bloques de hormigón, sillares, etc.

¹ MÁS TOMÁS, A. (2005) *Cerramientos de obra de fábrica. Diseño y tipología*. Cap. 3 Pág. 47-49

² MÁS TOMÁS, A. (2005) *Cerramientos de obra de fábrica. Diseño y tipología*. Cap. 3 Pág. 76

³ *TECTÓNICA* (1996) Núm. 3. El Hormigón (I) "In situ". Madrid: ATC Ediciones, 1996. Pág. 14

⁴ LERMA ELVIRA, C. *Cerramientos de hormigón in situ*. Pág. 7-8

Existe la posibilidad de que cerramiento y forjado colaboren siendo un mismo elemento. Respecto a los esfuerzos horizontales (viento y/o sismo), si el muro es portante, absorberá directamente dichas cargas en lugar de transmitir las a la estructura.

2) Diseño y Ejecución

Debido a su carácter fluido, el contenedor se convierte en la expresión definitiva del material⁵. No existe pues, una modulación que restrinja las dimensiones de la pieza hormigonada – no consideramos las piezas de hormigón prefabricado – ni tampoco la posición de los huecos en el muro. El cerramiento puede adquirir la forma que proyectemos, aunque mantener la planeidad del muro, rebaja el precio de ejecución.

Sin embargo como se ha mencionado anteriormente, es conveniente, si se mira desde un punto de vista económico, planificar la posición de las juntas de hormigonado empleando una modulación para posibilitar la reutilización de los encofrados.

3) Juntas

A diferencia de otros materiales de menores dimensiones como ladrillos, bloques, etc., las juntas se realizan cada varios metros, por lo que se reducen en número en gran medida.

4) Puentes térmicos

La resolución del puente térmico en puntos como el frente de forjado o el contorno de huecos es más complicado que en otros cerramientos como los de hoja exterior de ladrillo, aplacados, etc.

5) Instalaciones

Dependiendo de si la cara interior del muro sea vista o no, se deberá realizar un diseño muy preciso del paso de las instalaciones y llevar a cabo una puesta en obra minuciosa teniendo en cuenta su fijación para el momento del hormigonado y la presión y el aumento de temperatura al que serán sometidas las instalaciones en contacto con el hormigón fresco.

6) Presupuesto

El presupuesto final vendrá definido por la complejidad del proyecto en sí (forma, posición del aislante, tamaño y número de huecos, etc.).

7) Acústica

Una de las ventajas de los muros de hormigón armado es que su masa confiere al cerramiento una gran capacidad de aislamiento acústico

8) Sostenibilidad

También gracias a su masa, la gran inercia térmica del material hace posible un ahorro energético.

⁵ *TECTÓNICA* (1996) Núm. 3. El Hormigón (I) "In situ". Madrid: ATC Ediciones, 1996. Pág. 16

III. DISEÑO Y TIPOLOGÍAS

Las diferentes normativas actuales obligan a disponer un aislamiento acústico que cumpla con los objetivos mínimos para garantizar el confort adecuado y para reducir lo máximo posible las pérdidas energéticas.

Existen diferentes tipos de aislantes térmicos que podemos encontrar en forma de paneles rígidos, mantas o rollos, proyectados, etc. No es objeto de este trabajo analizarlos, pero sí lo es el estudiar su posición y la problemática que se presenta en la solución constructiva de los muros de hormigón in situ.

No consideraremos pues – por lo menos en este apartado – la opción de un muro de hormigón visto por ambas caras de una sola hoja portante sin aislamiento térmico material más allá de propia inercia térmica. Brevemente, hasta la fecha estos muros han sido menos frecuentes en la práctica habitual ya que el espesor mínimo debe ser igual o mayor de 25cm, y está comprobado que para garantizar un buen aislamiento térmico éste debe ser mucho mayor, por lo menos el doble.

En la práctica habitual encontramos tres posiciones tipo del aislamiento: en mitad del muro, separando las dos hojas; en el exterior, revestido; o en el interior, entre la hoja de hormigón y una hoja de fábrica (Figura I).

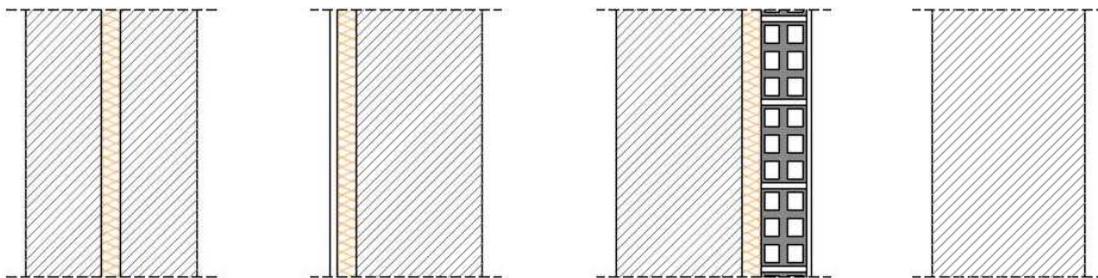


Figura I. Posición del aislamiento térmico

III.1. Caso 1. Posición intermedia

En el primero de los casos, existen dos formas de resolver el muro: construir las dos hojas en una sola fase o en dos.

a) Construcción de las dos hojas en una sola fase

En el primer caso, al hormigonarse el espesor total del muro en una sola fase, el aislante queda embebido por el hormigón, siendo necesario anclarlo mecánicamente – mediante calzos o llaves – para que durante el vertido no flote o ascienda.

Cuando se toma la decisión de realizar sólo una hoja portante con el espesor total del muro, podemos encontrar 2 juntas de hormigonado si se lleva a cabo primero la ejecución del muro interior, luego el forjado y en tercer lugar el muro superior; o sólo una junta de hormigonado, entre el muro inferior y el forjado, si se ejecuta de una misma tirada éste último y el muro superior.

En ambos casos, el armado pertinente provoca de forma inevitable la continuidad de la pieza aislante. Éste es el problema principal, el aislante debe interrumpirse en el nudo del cerramiento con el forjado intermedio para que no influya en la capacidad portante/resistente del muro.

Por lo tanto, ésta supone una decisión en detrimento de la condición de continuidad de la capacidad aislante del cerramiento, lo que conlleva un puente térmico en el frente del forjado. (Figura 1)

Esto mismo sucede en el contorno de los huecos. El encofrado se coloca interrumpiendo el emparrillado para configurar el futuro hueco, dejando el aislante retranqueado en los cuatro frentes. Es en ese contorno donde el puente térmico aparece al no llegar el aislante hasta el borde hueco del muro (Figura 2). No obstante, aunque no se elimine el puente térmico, como medida adicional se recurre al empleo de carpinterías con rotura de puente térmico.

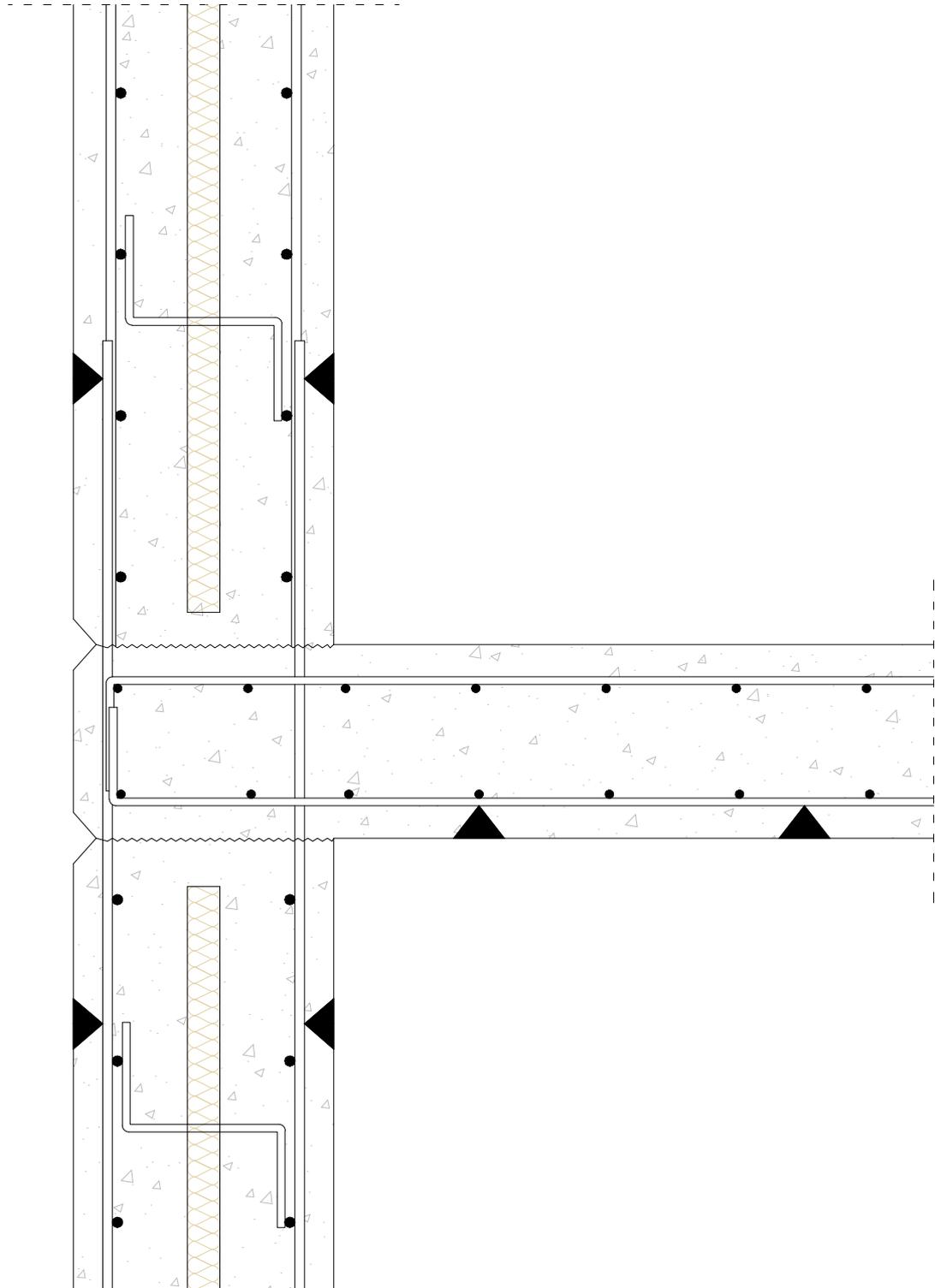


Figura I. Sección vertical

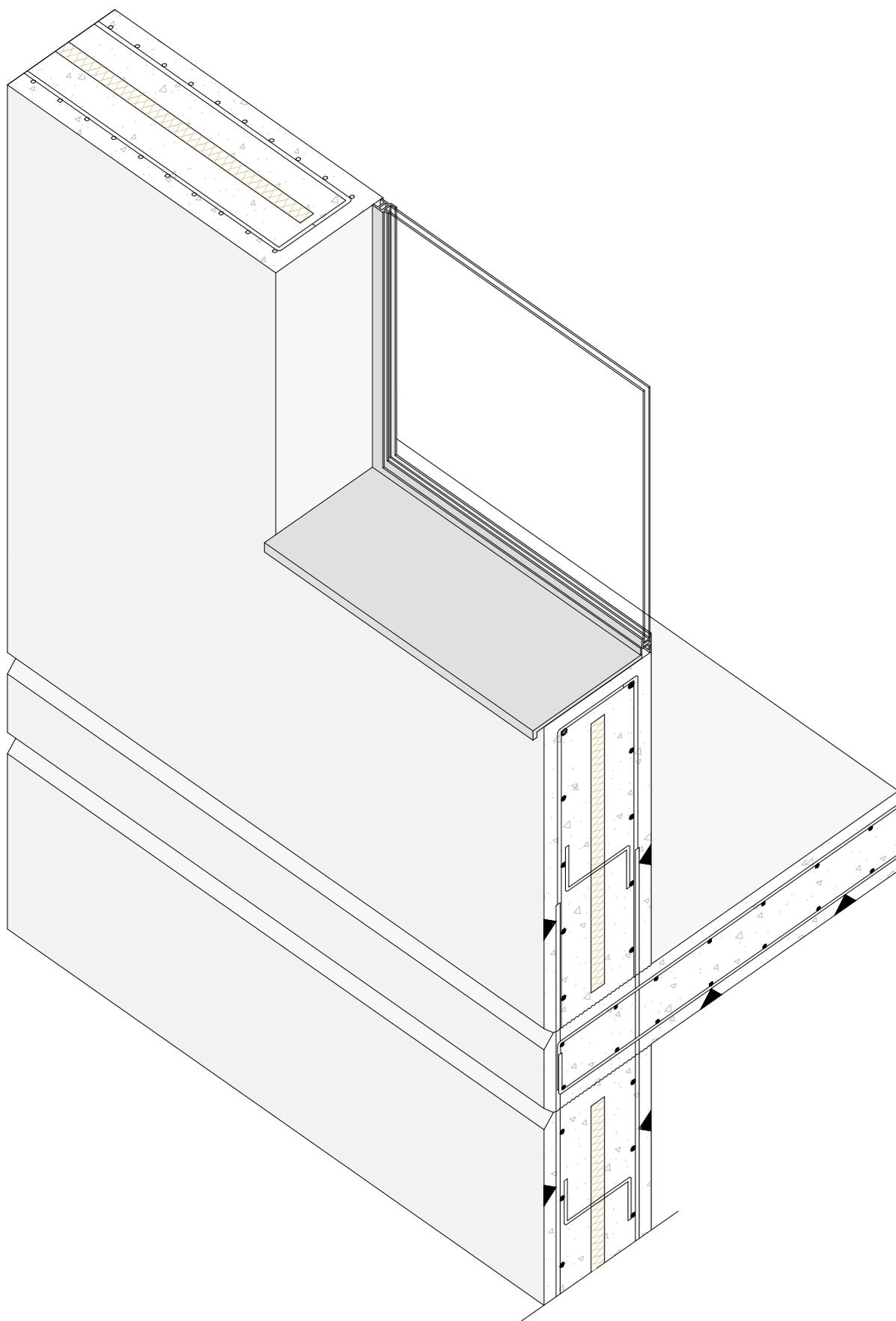


Figura II. Axonometría constructiva

b) Construcción de las dos hojas en varias fases

De la segunda forma, cerramiento en dos fases, se construye una primera hoja que se encuentra con el forjado y tiene capacidad portante; se dejan las armaduras de espera para el hormigonado del forjado y del muro superior. A continuación se coloca el aislamiento térmico anclándolo mecánicamente a la cara exterior de la hoja interior ya construida; después se colocan las armaduras de la hoja exterior de hormigón – no portante – y finalmente se ejecuta la hoja exterior del muro.

En ese caso los inconvenientes son, por un lado, que la hoja exterior no está conectada al forjado y por tanto es la hoja interior, que sí lo está, la única portante y debe tener mayor espesor. Por otro lado, se aumenta el tiempo de ejecución con respecto al procedimiento con una sola fase.

La ventaja principal es que se asegura la continuidad del aislante – éste actúa de encofrado perdido durante la ejecución de la hoja exterior de hormigón. Como vemos en la figura IV el frente de forjado está completamente aislado por lo que el puente térmico en este punto queda anulado. En el otro punto donde suelen aparecer, el contorno de los huecos, el puente térmico también queda resuelto y la ejecución del mismo no presenta mayor complicación que en el caso anterior – ejecución del muro en una sola fase. (Figura VI)

Sin embargo, esta solución supone una decisión que afecta principalmente al espesor del muro, aumentando su sección y no en todos los casos es una opción viable.

Si se dispone del espacio suficiente, se puede considerar como opción válida si la intención es obtener un muro de hormigón visto tanto por el interior como por el exterior.

Como conclusión de este primer caso – posición del aislante intermedia – la decisión de proceder en una o varias fases, dependerá en gran medida de factores como el presupuesto del que se dispone, el tiempo de ejecución, si el proyecto debe ceñirse a un espesor de muros máximo, etc. Decisiones previas a favor o en detrimento de la resistencia, el aislamiento o la dimensión final del cerramiento.

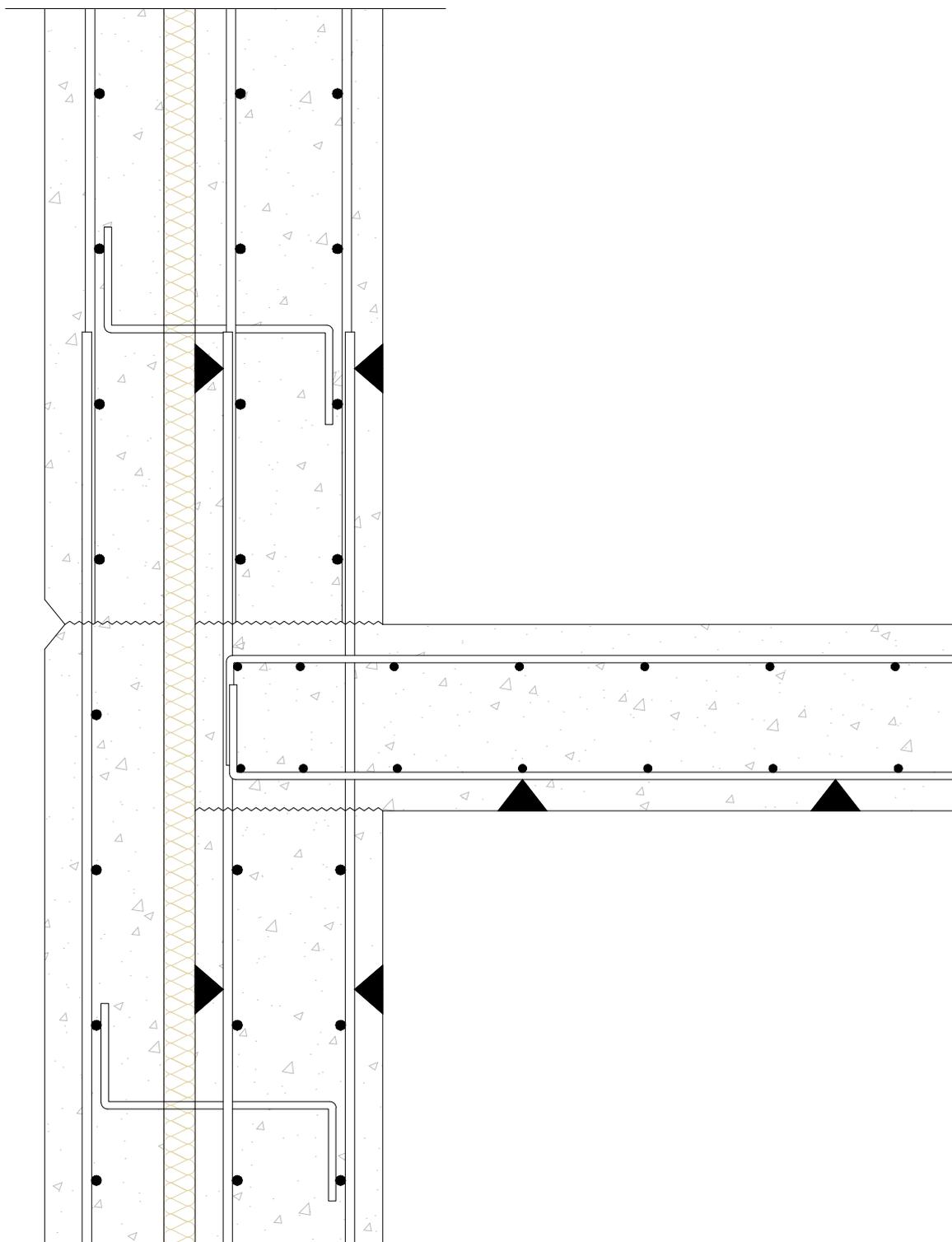


Figura III. Sección vertical

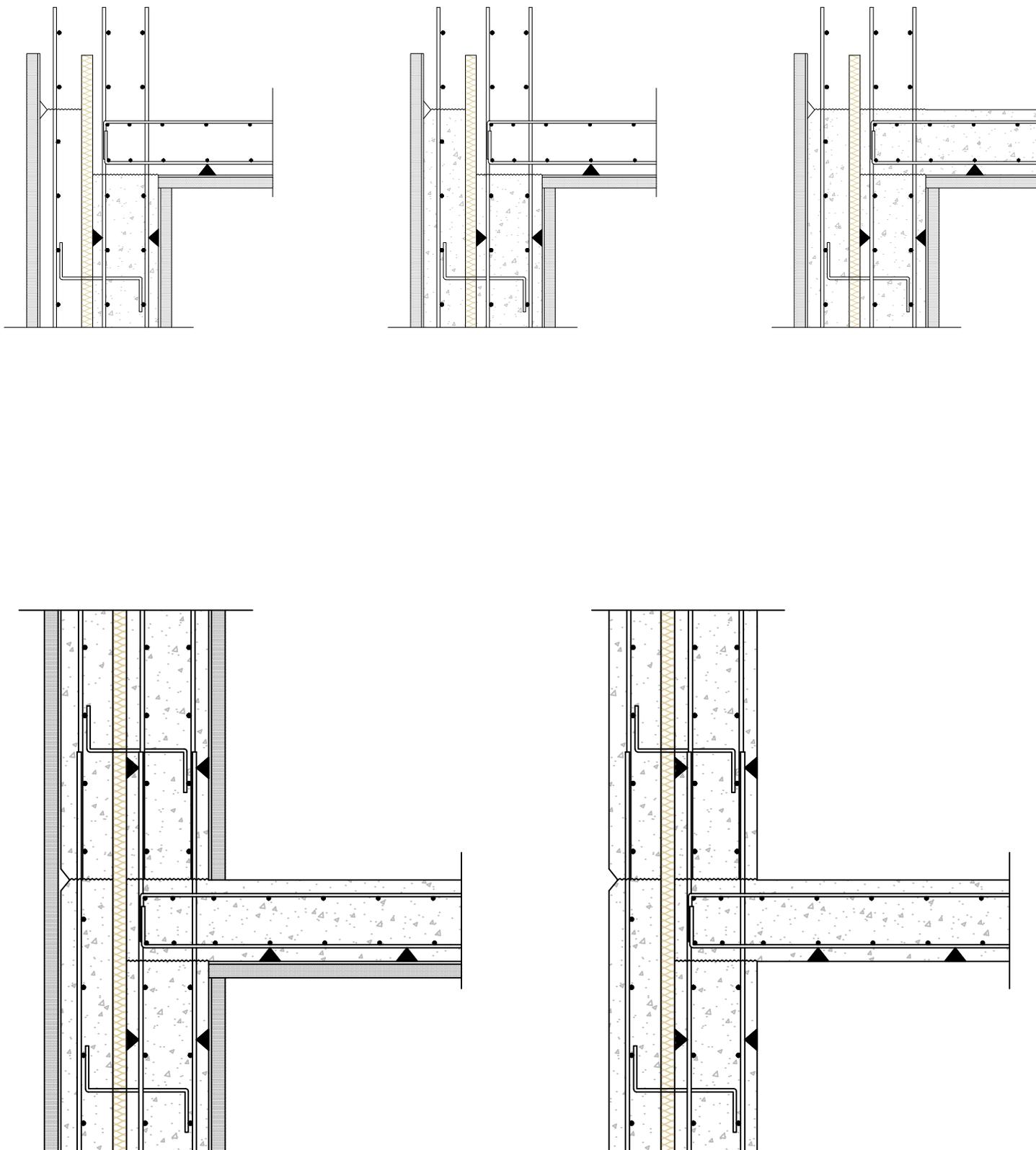


Figura IV. Proceso de ejecución

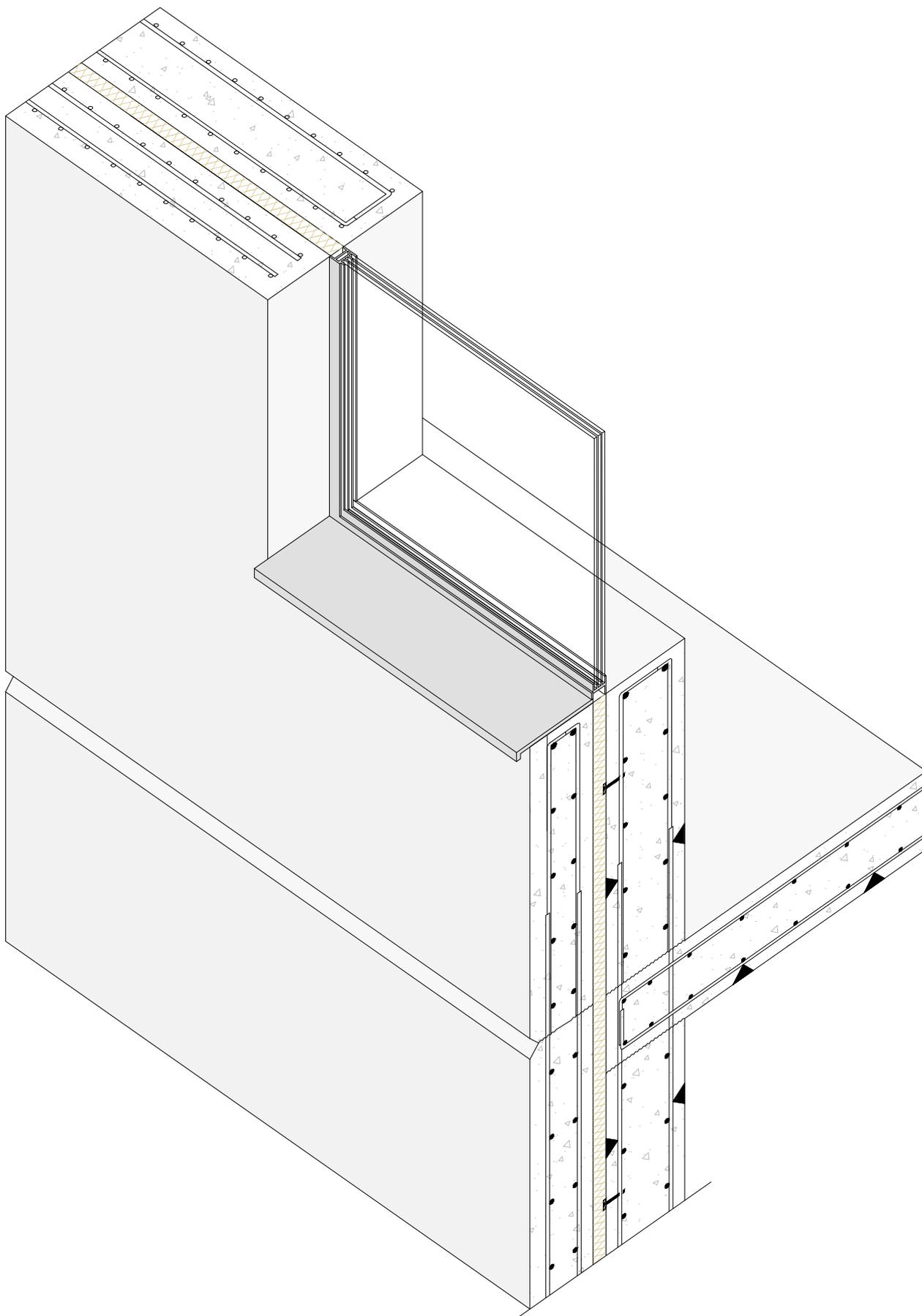


Figura V. Axonometría constructiva

III.2. Caso 2. Posición exterior

En este segundo caso, la construcción es sencilla. Al igual que en el primer caso, el cerramiento puede hormigonarse en tres tandas o en dos, dependiendo como ya hemos visto de si el forjado y el muro superior se hormigonan al tiempo o por separado. El resultado es una o dos juntas de hormigonado, respectivamente.

Una vez desencofrado se procederá a proyectar el aislante sobre la cara exterior del muro o bien si se decide utilizar un aislante rígido – poliestireno extrusionado, lana de roca, etc. – éste se anclará mecánicamente a la cara exterior del cerramiento.

Por último se procederá a revestir el aislante con un aplacado o con el material que se decida en el diseño del proyecto.

Esto último es uno de los inconvenientes que afectan directamente al resultado final, pues el muro de hormigón no queda visto por la cara exterior como en los casos anteriores, y si ésta es una condición prioritaria en el proyecto, este caso no es válido.

Sin embargo, como se ha explicado en el capítulo II, la posición del aislante en la cara exterior del cerramiento favorece un mayor aprovechamiento de la capacidad térmica del mismo, al emplearse toda la inercia térmica de su masa. El calor se acumula en la hoja interior – en este caso la única hoja – y el aislante por el exterior hace que las diferencias de temperaturas ext-int no se perciban directamente en el interior.

En cuanto a la cuestión de la estabilidad, el muro quedaría bien resuelto y al igual que en el caso 1 no aumentaría en gran medida el tiempo de ejecución.

En cuanto al problema principal que nos atañe, los puentes térmicos tanto en el frente de forjado como en el contorno de los huecos quedarían solucionados como sucede en el caso 2. Pero a diferencia del caso anterior, ésta solución no supone un aumento de gran magnitud en la sección del muro.

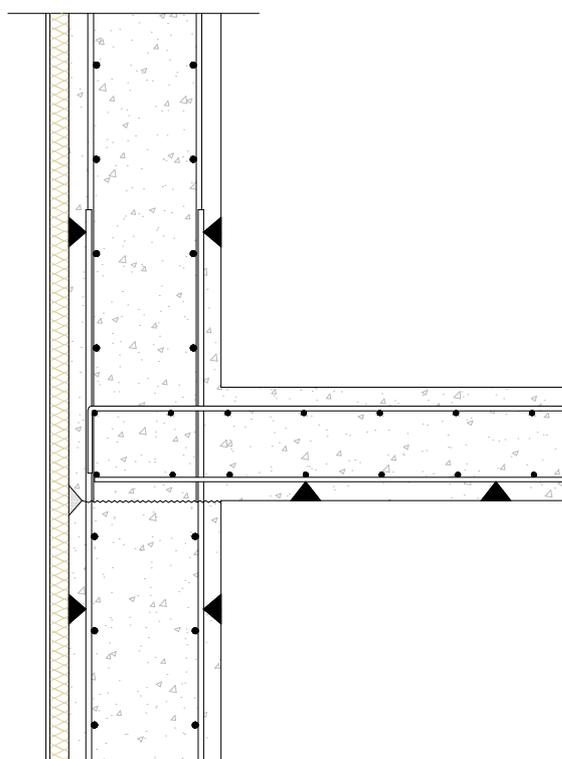
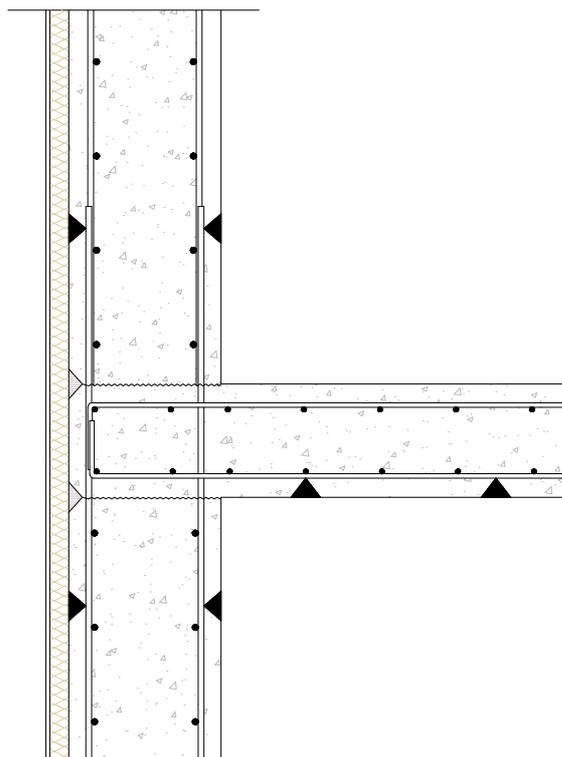


Figura VII. Sección vertical

III.3. Caso 3. Posición interior

Este último caso no supone una solución íntegramente con hormigón armado, sino que el cerramiento se compone de dos hojas: una exterior portante de hormigón armado y otra interior no portante de fábrica de ladrillo.

En primer lugar, su construcción es bastante sencilla. Se empieza por la ejecución de los muros de cerramiento y los forjados, a continuación se coloca el aislante y finalmente se coloca la fábrica de ladrillo con un enlucido si decide revestirse.

Como en el caso anterior, no se consigue un cerramiento de hormigón visto por ambas caras, en esta solución es la cara interior la que queda oculta tras la fábrica de ladrillo.

En tercer lugar, la cuestión del aislamiento queda resuelta en el contorno de los huecos de forma satisfactoria, sin embargo no sucede así en los frentes de forjado, donde se sigue produciendo un puente térmico. Además, la posición del aislante a continuación de la cara interior de la hoja de hormigón hace que se desperdicie la inercia térmica de su masa, limitando las propiedades de ésta al ámbito estructural.

En cuanto a la cuestión de la estabilidad, el muro quedaría bien resuelto pero a diferencia del caso 1 sí aumentaría en gran medida el tiempo de ejecución. Además, también lo haría el presupuesto ya que se requiere una segunda hoja de cerramiento por el interior ya sea de fábrica de ladrillo o un trasdosado ligero.

En conclusión, estas dos últimas soluciones pueden considerarse adecuadas si no se considera imprescindible que el cerramiento sea de hormigón visto en ambas caras. Si así fuera, el caso 2 resolvería de manera más eficaz el problema del aislamiento y en función del revestimiento que finalmente se escogiera, supondría o no un coste menor en ejecución, tiempo y presupuesto con respecto al caso 3, el cual pudiendo resultar quizás más económico, no resuelve totalmente la cuestión principal del aislamiento.

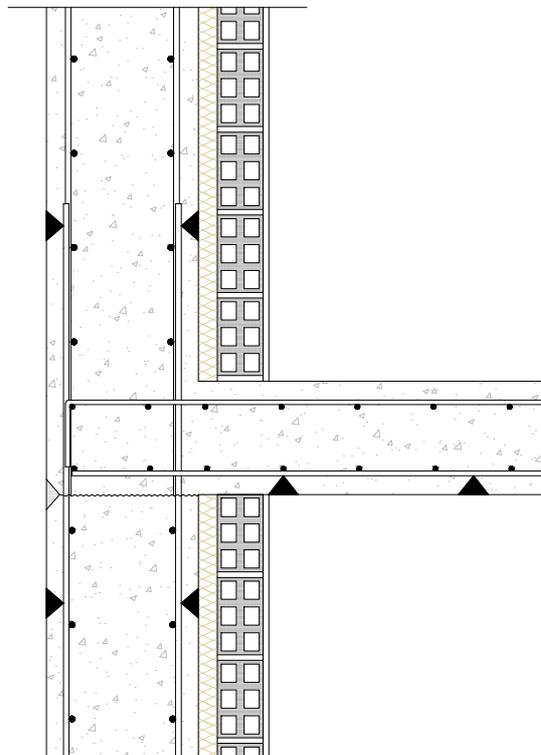
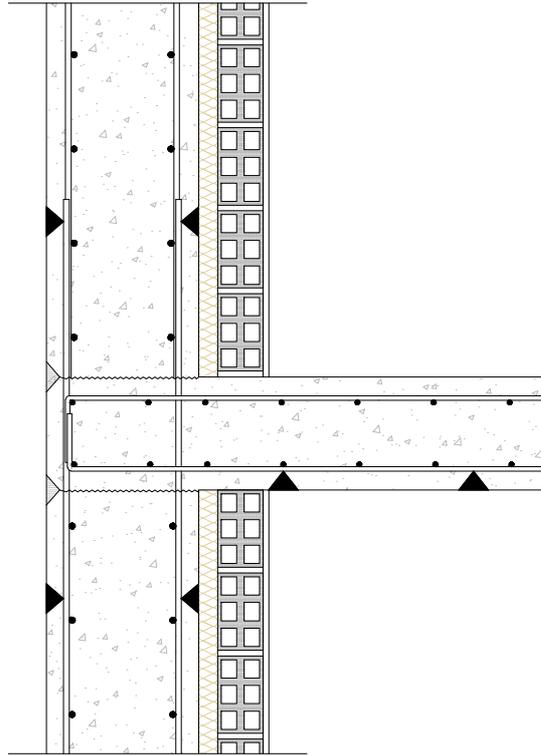


Figura VII. Sección vertical

IV. EJEMPLOS DE INNOVACIÓN

IV.1. *Zollverein School of Management and design, SANAA (2005)*

"It's all about context and process"- Kazuyo Sejima y Ryue Nishizawa

El concurso para la escuela de diseño situada en la ciudad de Essen, Alemania, fue finalmente adjudicado al estudio de arquitectos formado por Kazuyo Sejima y Ryue Nishizawa en el año 2005. El icónico edificio, localizado cercano a una mina de carbón inoperante, pretende reactivar la zona dando cobijo a la escuela de emprendedores que incluye biblioteca, espacios de trabajo, zonas públicas, etc. De dimensiones prácticamente cúbicas (35 x 35 x 34m), se plantea con el reto de alcanzar la integración en el entorno periférico de la ciudad, responder a un programa y dotar al mismo tiempo de unidad formal al edificio, la cual logra, en parte, a través de la homogeneidad constructiva de los materiales empleados.



Imagen 9



Imagen 10

La complejidad del proceso de desarrollo del proyecto definitivo radicó en la definición de la solución constructiva de la fachada de hormigón armado. Se parte de dos premisas: una estructural y otra compositiva-funcional. En primer lugar, las cuatro fachadas que encierran el volumen son, junto con tres núcleos de comunicación vertical y dos pilares estratégicos en planta, la estructura portante del edificio. En segundo lugar, el concepto de fachada expositora del paisaje juega un papel importante en la composición de la misma: huecos cuadrados de diferentes dimensiones dibujan un cuadro exterior aparentemente aleatorio y responden a las necesidades lumínicas y de uso para el interior.

En un primer planteamiento, los huecos eran más pequeños y el espesor del muro era de 0.5m. No obstante, encontramos 2 normativas que impedían el diseño: la fachada no cumplía los requisitos de iluminación y ni de aislamiento. En cuanto a la normativa de iluminación se plantearon entonces diferentes soluciones para los huecos, haciéndolos más grandes y aumentando su número; en lo referente al aislamiento térmico, el muro de 0.5m no era suficiente, con lo cual el espesor debía aumentar. Esta medida suponía un hándicap desfavorable para cumplir con la normativa de iluminación, además de producir un efecto de agujero en los huecos de menor dimensión, distorsionando la idea de proyecto.

Surgió entonces la posibilidad de emplear el agua que la mina, aun estando inactiva, sigue expulsando de las excavaciones para evitar inundaciones mediante un sistema de bombeo. Esta agua se encuentra a 1200 m de profundidad a 35°C y se vierte al río con caudal de 600m³/h. Lo que se planteó fue instalar un intercambiador de calor en la parte superior del eje central de las cañerías que expulsan el agua caliente de la mina para calentar un circuito de agua secundario que llegase a la Zollverein School proveyéndola de climatización. Este sistema, libre de emisiones de CO₂, transporta el agua a 27-30°C, la cual discurre por el sistema de calefacción radiante construido en las fachadas de hormigón.

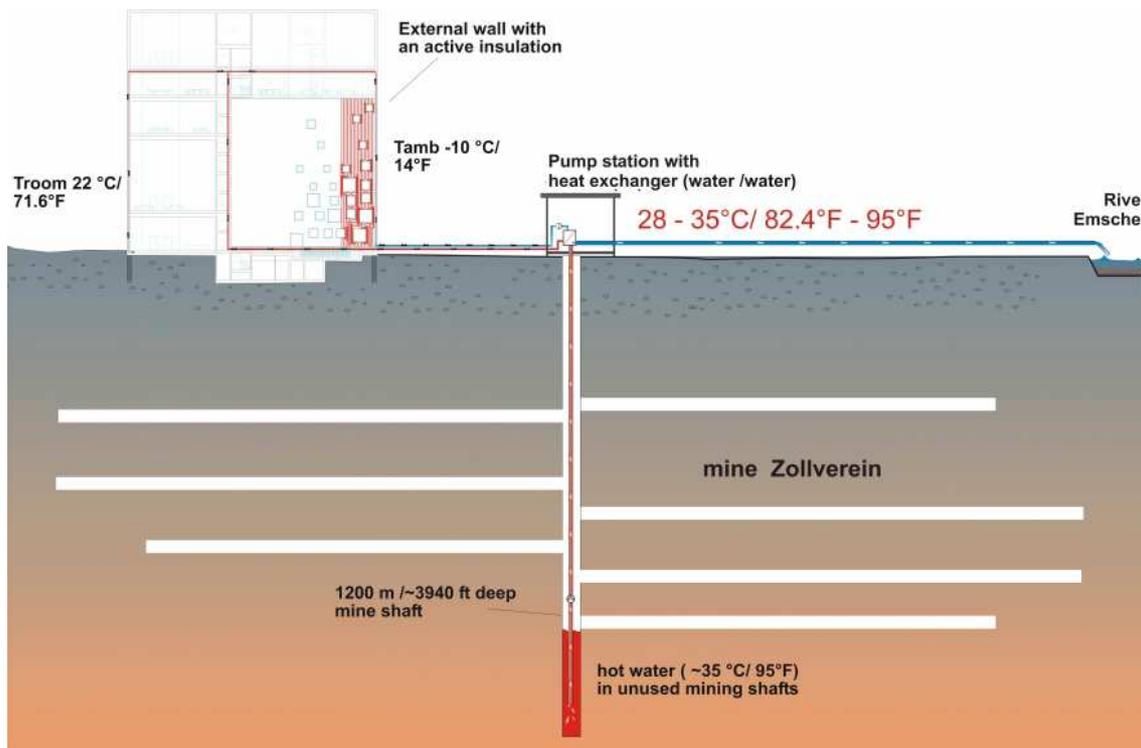


Imagen 11. Sistema de intercambiador y circuitos cerrados de agua

Con esta solución, el problema inicial del espesor del muro se resuelve en un espesor de 0.30 m en el que quedan contenidas las tuberías de plástico en la cara exterior.

El único inconveniente es que el 80% del calor se pierde hacia el exterior a través de la cara externa no aislada del muro. Pero finalmente, el resultado son muros de hormigón visto de un espesor reducido y de una sola hoja, lo cual reduce también el tiempo de ejecución.

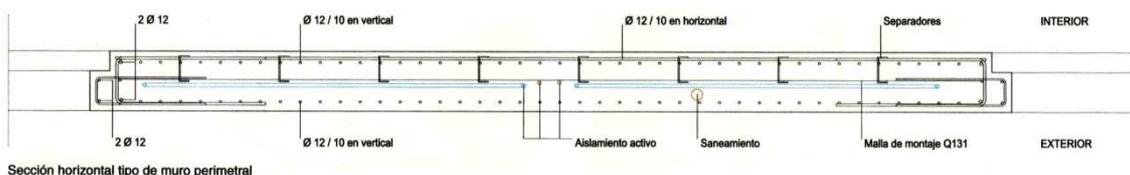


Imagen 12. Sección horizontal del muro

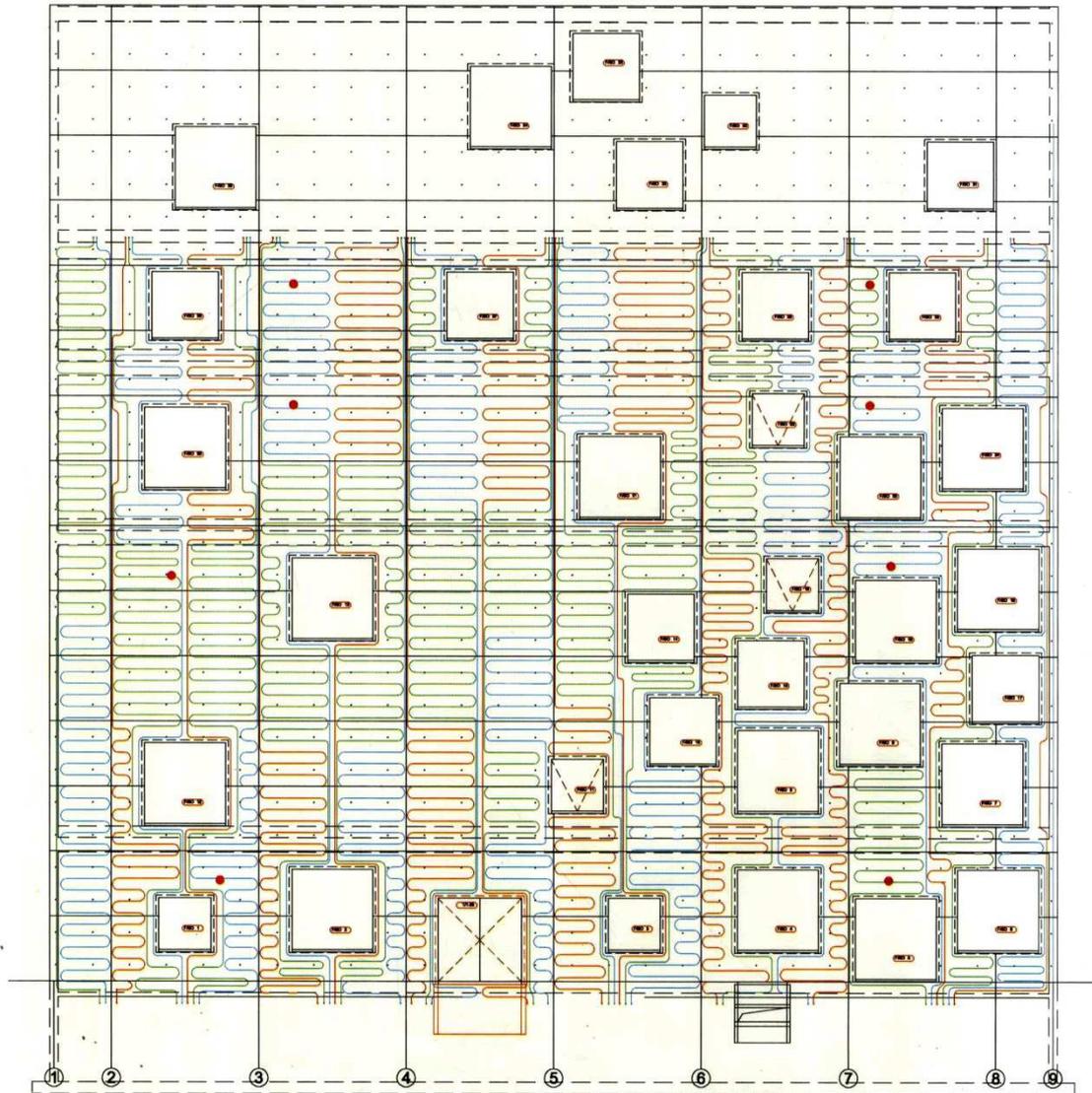


Imagen 13. Distribución del sistema de aislamiento activo en una de las fachadas

El éxito de esta solución radica en la inteligente explotación de las posibilidades del entorno: el aprovechamiento del agua de la mina; con ello se consigue una integridad formal y una justificación constructiva y proyectual rotunda. Sin embargo ésta es una solución particular de este proyecto y no es realista pensar que este tipo de soluciones es posible en cualquier proyecto de arquitectura.



Imagen 14

Imagen 15

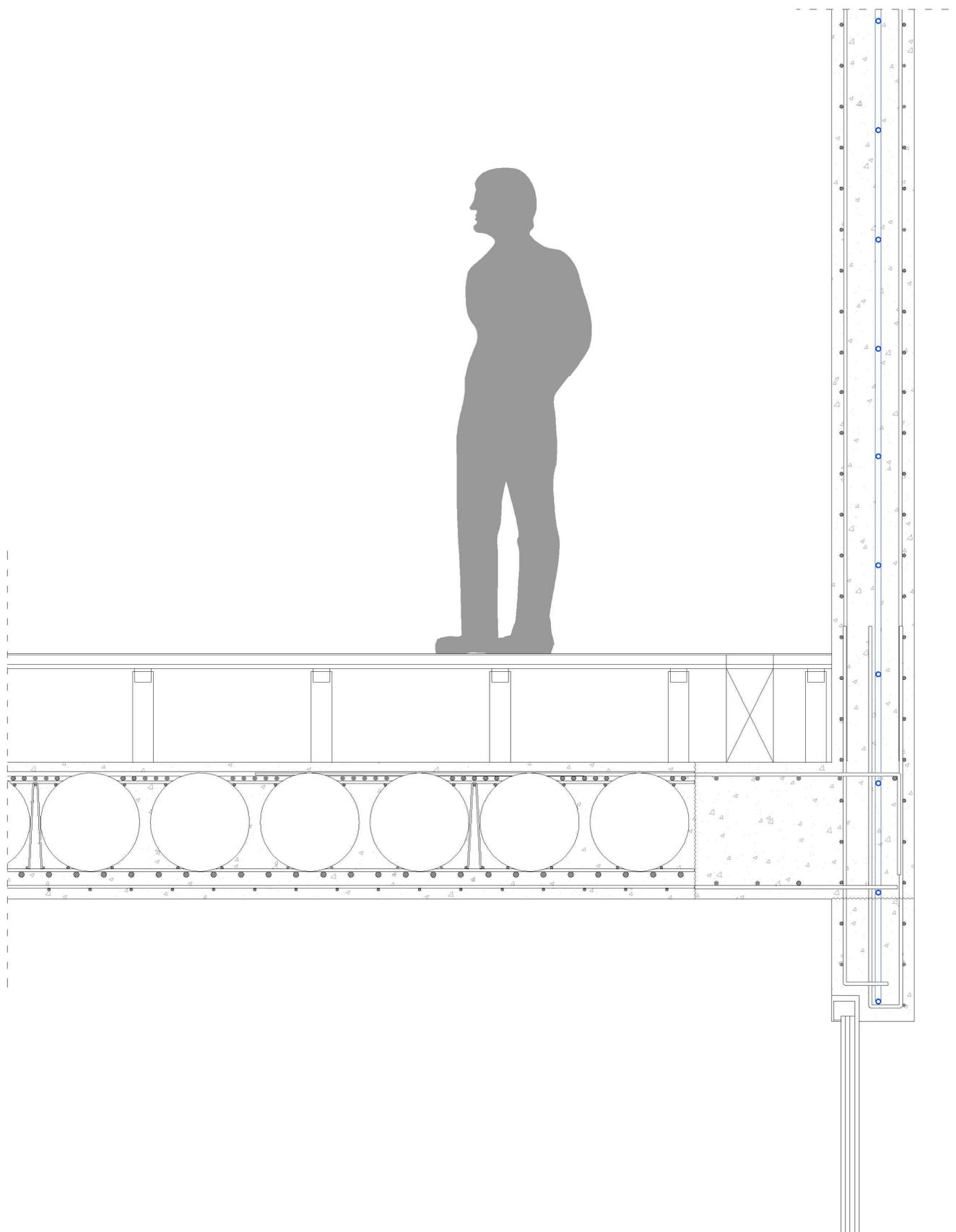


Figura VIII. Sección vertical

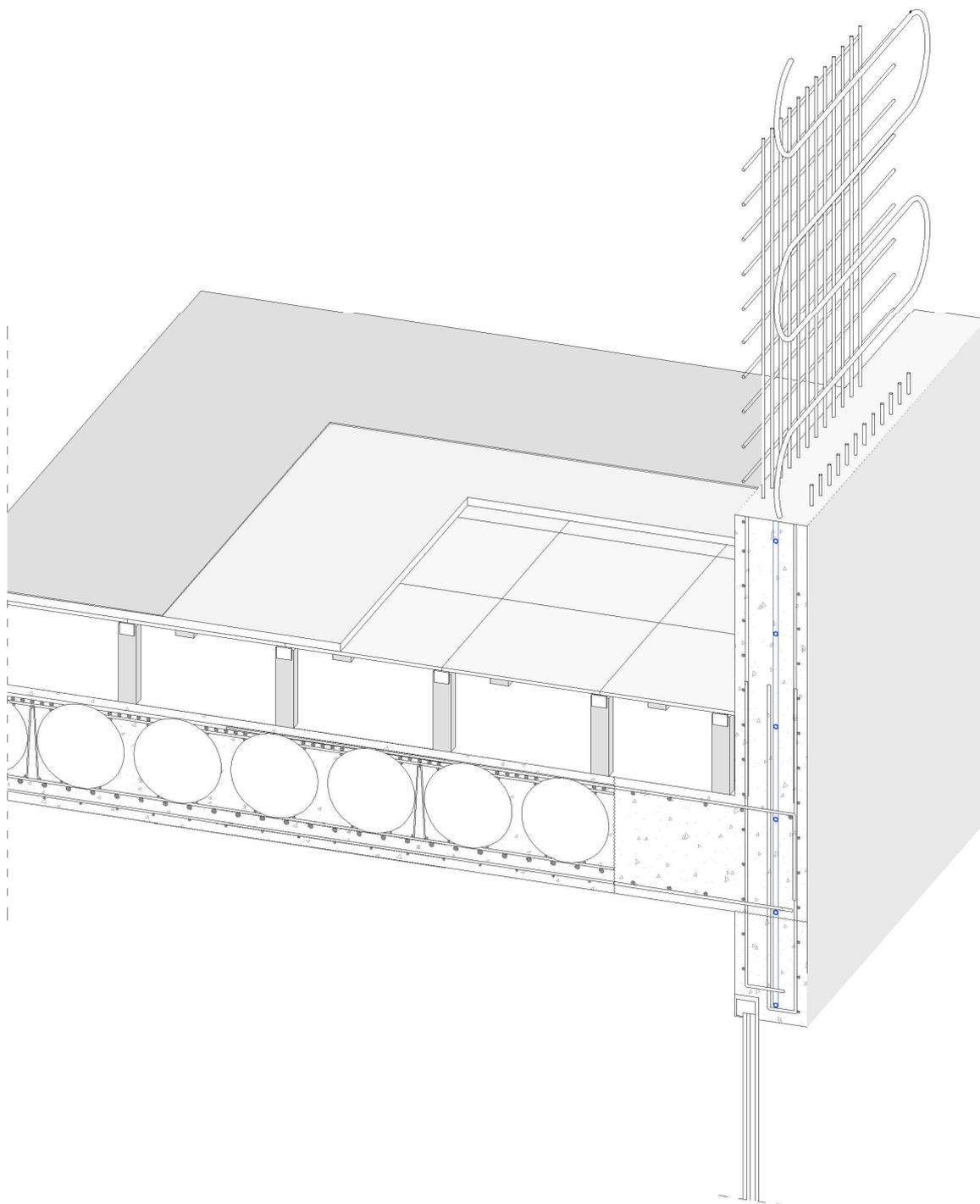


Figura IX. Axonometría constructiva

IV.2. *Joachimstrasse, Berlin*, David Chipperfield (2011)

La intervención en el solar de la calle Joachimstrasse (Berlín) parte de la intención de reestructurar el orden interior de la parcela deteriorada tras la IIGM basándose en *“encontrar el equilibrio entre restablecer la estructura de patio anterior a la guerra y la configuración posterior basada en edificios aislados” D.C.*



Imagen 16. Fachada Joachimstrasse



Imagen 17. Volúmenes interiores

El proyecto consiste en una reforma y una ampliación de una fábrica existente, albergando tanto usos públicos como residencial. Encontramos cuatro volúmenes, tres de los cuales – la ampliación – siguen una estética de líneas puras y se construyen enteramente de hormigón aislante en masa visto en interior y exterior. Continuando en la misma línea purista que caracteriza el proyecto, se emplea como pavimento hormigón pulido; las particiones y las puertas se construyen en madera y las carpinterías exteriores son de aluminio. La estructura queda resuelta con los muros de hormigón, gracias a las luces moderadas, por lo que se prescinde del uso de pilares. Para los forjados se elige una solución de sistema *bubble deck*, con hormigón visto. El cuarto volumen es el destinado a la reforma del edificio original existente y opta por una solución de cerramiento de una hoja exterior de hormigón visto y una hoja interior de fábrica de ladrillo ligero con revestimiento de yeso.

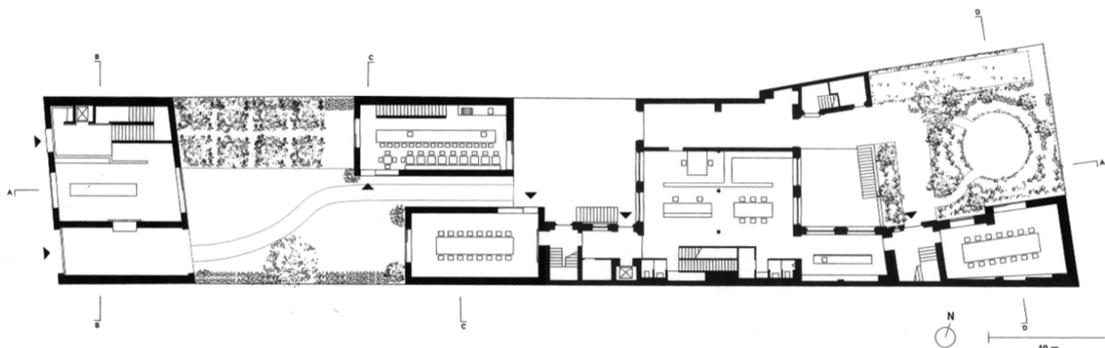


Imagen 18. Planta baja

Nos centraremos en las cualidades del hormigón del caso de los tres primeros volúmenes, así como en la solución constructiva.

Los muros de hormigón armado tienen un espesor final de 50 cm. Se emplea un hormigón '*aislante*' que evita la necesidad de colocar aislamiento térmico adicional en la solución constructiva. Este hormigón tiene una densidad relativa de 1.2, la mitad que un hormigón armado normal; una resistencia a compresión de clase LC 16/18 y una exposición de clase XC2 con una transmitancia térmica de $U = 0.7 \text{ W/m}^2\text{K}$ y una conductividad térmica de $\lambda = 0.35 \text{ W/mK}$ ⁶. La conductividad térmica es hasta siete veces menor que los hormigones habituales⁷. Se trata de hormigones con componentes aligerantes que aumentan su capacidad térmica sin desfavorecer en exceso la capacidad portante. Son pues, una solución válida contemplada por la norma de hormigones ligeros estructurales⁸ que además resuelven por sí mismos el problema del aislamiento térmico en el cerramiento.

En cuanto a la capacidad portante, vemos que es bastante menor en comparación a los hormigones no aligerados. En consecuencia, se decidió optar por un forjado aligerado de hormigón mediante el sistema recientemente extendido de *bubble deck*.

El uso de éste hormigón visto en principio presenta varias ventajas en su puesta en obra, como la facilidad de encofrado, en este caso se emplearon planchas de acero;

⁶ Detail 2014-6 Pág 609

⁷ CTE:

Hormigón armado

Materiales	ρ	λ	C_p	μ
Genérico	> 2500	2.5	1000	80
Genérico	2300-2500	2.3	1000	80

Hormigón con áridos ligeros

Materiales	ρ	λ	C_p	μ
Genérico	1800-2000	1.35	1000	60
Genérico	1600-1800	1.15	1000	60

Hormigón en masa

Materiales	ρ	λ	C_p	μ
Genérico	2300-2600	2	1000	80
Genérico	2000-2300	1.65	1000	70

- ρ : Densidad, en Kg/m^3
- λ : Conductividad térmica, en $\text{W/m}\cdot\text{K}$
- C_p : Calor específico, en $\text{J/Kg}\cdot\text{K}$
- μ : Factor de resistencia a la difusión del vapor de agua, adimensional

⁸ Norma EHE-08 Anejo 16. 2. Alcance. [...] Para el caso de hormigones ligeros estructurales, la resistencia mínima se establece en 15 ó 20 N/mm^2 [...]

ahorro en tiempo de montaje, pues no había que colocar el aislamiento térmico ni los anclajes mecánicos necesarios; y por último, gracias a su buen comportamiento aislante, se reducen los puentes térmicos en los encuentros con el forjado y en la abertura de huecos en el cerramiento, con lo cual la cantidad de elementos secundarios necesarios en los casos habituales quedan relegados y ello reduce el tiempo de ejecución final.

Sin embargo, su puesta en obra, aunque sencilla, debe ser minuciosamente controlada por operarios cualificados y precisa, porque la estructura irregular de poros tiende a la segregación de los componentes de la mezcla, y una mala puesta en obra significaría la pérdida de las cualidades del hormigón y un resultado final no apto. Una de las pautas recomendadas por los fabricantes son el vertido del hormigón desde muy poca altura y por tandas. En este caso, se fijaron dichas tandas entre 50 y 60 cm.⁹

⁹ Detail 2014-6. Pág 606 [...] *the use of insulating concrete demands great experience and precision in the execution, because the irregular pore structure means there is a tendency to segregation of the mix components. The concrete was poured from a relatively low height and in 50-60 cm layers [...]*

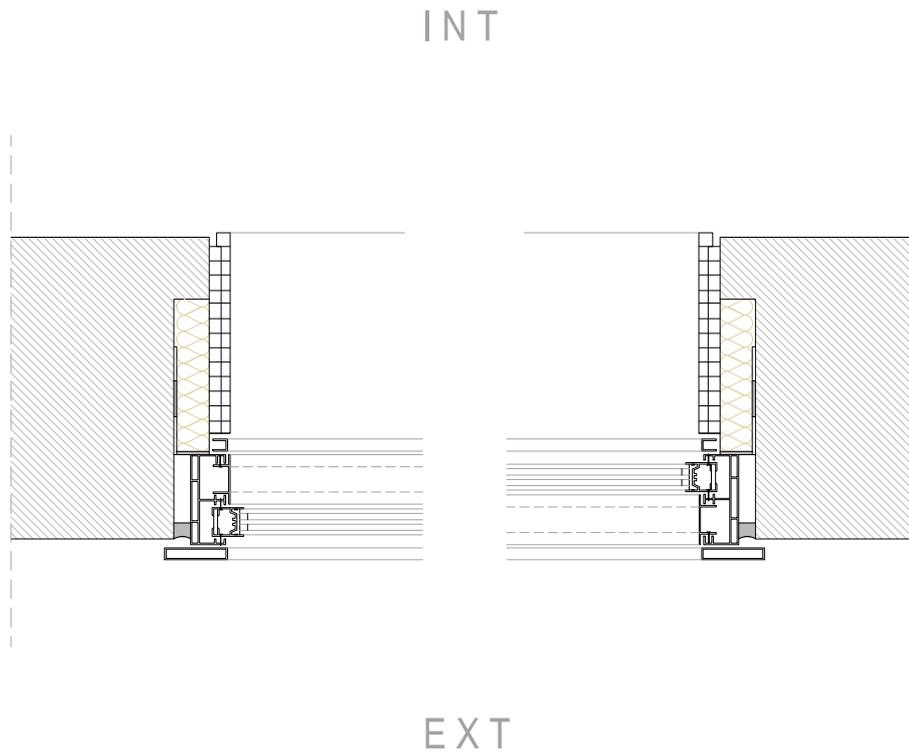


Figura X. Sección horizontal

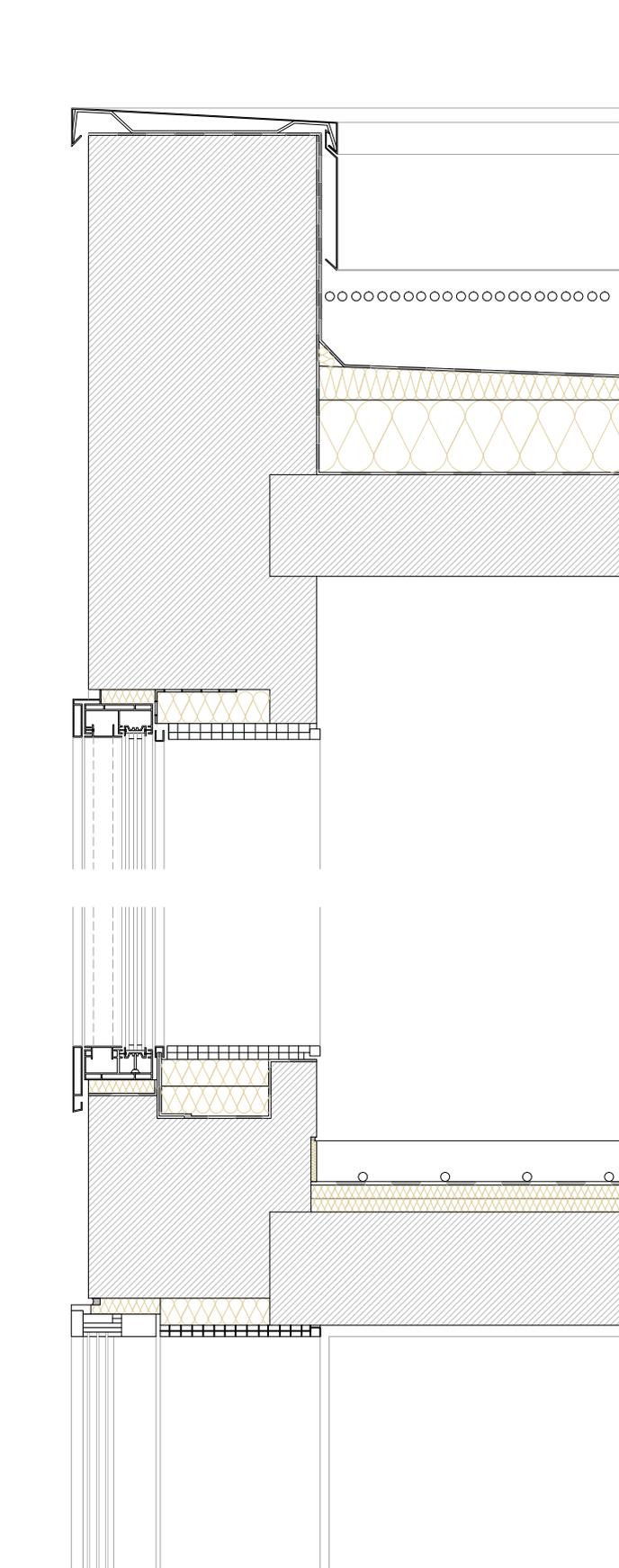


Figura XI. Sección vertical

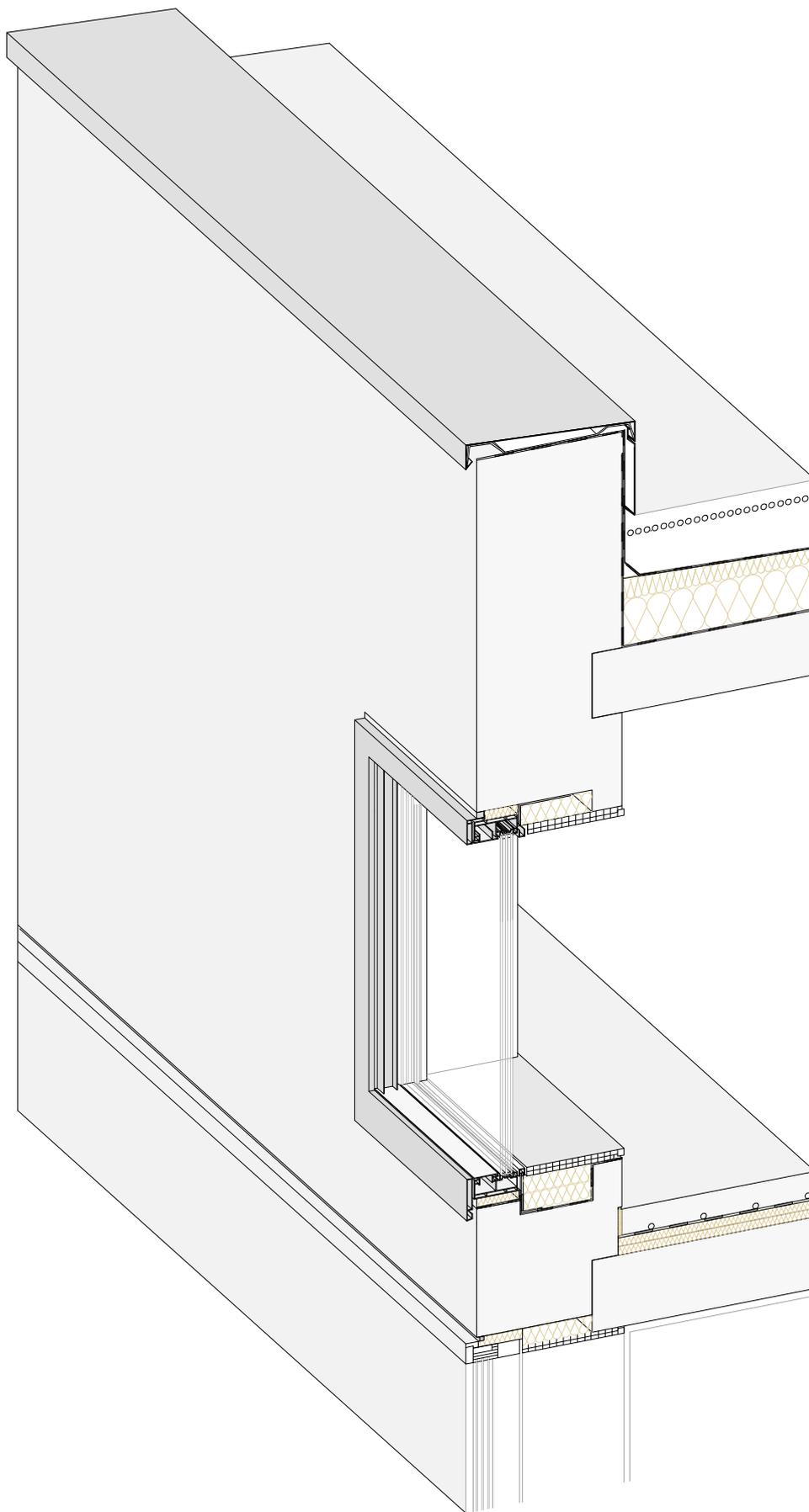


Figura XII. Axonometría constructiva

IV.3. Comparación y conclusiones

Tras el análisis de estos dos proyectos llegamos a la conclusión que ambos resuelven satisfactoriamente la cuestión del aislamiento térmico de formas diametralmente opuestas.

El aprovechamiento del entorno en el caso de la escuela de Zollverein con su circuito cerrado de lo que podríamos llamar 'fachada radiante' es sin duda una solución brillante a la vez que inviable para un caso habitual. En este punto resulta mucho más conveniente explotar la solución con el llamado 'hormigón aislante' que propone David Chipperfield en la ampliación de la fábrica en Berlín, ya que no supone un encarecimiento del proyecto con respecto a las obras habituales y soluciona con la misma eficacia el mismo problema.

No obstante, si de lo que se trata es de un proyecto de gran envergadura y de una escala donde fuera posible la instalación de sistemas de aprovechamiento energético que permitiesen rentabilizar la solución de 'fachada radiante', estaríamos desarrollando un nuevo prototipo de construcción basado en lo que sin duda es un precedente en la historia de la arquitectura gracias al equipo de SANAA.

Sin embargo, parece mucho más coherente continuar con la línea de desarrollo de nuevos hormigones con mejoras en sus propiedades que supongan un avance en la construcción a pequeña y mediana escala y que entren en el mercado de la construcción haciéndose cada vez más accesibles.

V. EL HORMIGÓN AISLANTE – *INSULATED CONCRETE* – EN EL MERCADO

Nunca se ha considerado la opción de hormigón como material aislante dado que para conseguir buenos resultados los espesores necesarios hacen poco rentable esta solución. No obstante, recientemente se está desarrollando en el campo de la construcción un tipo de hormigón cuyas propiedades químicas permitan mejorar la relación espesor-resistencia-aislamiento.

Para basar la investigación en un modelo real, se escoge la casa francesa Lafarge, actualmente líder en el sector de materiales de construcción a nivel internacional especializada en cemento, hormigón, áridos y yeso.

Lafarge desarrolla con *Thermedia™ 0.6* un tipo de hormigón aislante estructural que aborda de forma integral las funciones de estabilidad y aislamiento que debe cumplir la envolvente de un edificio.

Thermedia™ 0.6 consigue introducir mejoras en el rendimiento energético del hormigón en favor de la inercia térmica sin que ello afecte a la resistencia a compresión del material.

Ventajas del hormigón aislante:

- Aislamiento térmico superior. *Thermedia™ 0.6* reduce hasta 3 veces la conductividad térmica de un hormigón estructural normal.
- Estructuralmente válido. Las resistencias son del orden de $F_{ck} = 25$ Mpa a pesar de ser un hormigón ligero. Con respecto a estos hormigones
- Aislamiento acústico, durabilidad y fuego. Cumple las normativas en vigor para su uso en fachadas.
- Amplia aplicación. Habitualmente los hormigones ligeros estructurales son una buena solución para cubiertas ligeras, recercados de forjados en rehabilitaciones. *Thermedia™ 0.6* amplía el campo a muros y fachadas.
- Reducción del consumo energético del edificio
- Reducción de las facturas en calefacción y aire acondicionado.

Thermedia™ 0.6 ha sido testado en base a las normativas vigentes EHE-08 en España y NF EN 206-1 en Francia.

Otro aspecto que repercute positivamente en la predisposición a la explotación de este material es la facilidad de puesta en obra. *Thermedia™ 0.6* es un hormigón listo para su uso, fabricado en central y vertido in situ en la obra. Su fluidez, próxima a la de un hormigón autocompactante, y su buena trabajabilidad, hacen de él un material de gran facilidad de puesta en obra. Además, su acabado final estético es idéntico al de un hormigón estándar.

La gran ventaja es que sigue tratándose de hormigón, con lo cual a diferencia de otras soluciones novedosas de aislamiento térmico para envolventes, el hormigón aislante no requiere cambios en los métodos de construcción asentados en Europa, ni desarrollo de nuevos equipos o tecnologías para su utilización que podrían provocar un sobrecoste económico el cual, en la mayoría de los caso, ralentizaría el desarrollo del producto en cuestión.

Especificaciones técnicas:

- Densidad seca es inferior a 1.450 kg/m³
- Conductividad térmica es $\lambda_{seca} = 0.50$ W/mK y $\lambda_{útil} = 0.54$ W/mK
- Resistencia a compresión $F_{ck} = 25$ Mpa

A continuación muestro los datos de los distintos tipos de hormigón recogidos por la norma NBE-CT-79:

Densidad kg/m ³	Conductividad W/m °K	Material: Pastas y hormigones <i>Fuente: NBE-CT-79</i>
305	0.09	Hormigón celular sin áridos
450	0.08	Hormigón de fibra de madera
500	0.12	Hormigón en masa arcilla expandida L
570	0.18	Enlucido de yeso con perlita
600	0.17	Hormigón con áridos ligeros L
800	0.30	Enlucido de yeso
1000	0.33	Hormigón con áridos ligeros M
1500	0.55	Hormigón en masa arcilla expandida P
1600	0.73	Hormigón en masa áridos ligeros
1600	0.87	Mortero de cal o bastardo
2000	1.16	Hormigón en masa sin vibrar
2000	1.40	Mortero de cemento
2100	0.93	Arcilla
2400	1.63	Hormigón en masa vibrado
2400	1.63	Hormigón armado normal

Imagen 19 Conductividad térmica en función de la densidad de pastas y hormigones

En comparación con otros hormigones de densidad similar, como por ejemplo el hormigón en masa arcilla expandida P (1500kg/m³), el hormigón aislante (1450 kg/m³) tiene un valor de conductividad también similar. Pero como podemos comprobar, la resistencia de un hormigón en masa no llega a los 25 MPa que ofrece el hormigón aislante. Por otro lado, respecto de aquellos hormigones que sí tienen esa resistencia, la densidad del hormigón aislante es 1.5 veces inferior. Lo mismo sucede con la conductividad, siendo ésta 3 veces menor en el hormigón aislante que en un hormigón normal.

Otro dato interesante por el que resulta novedoso y muy ventajoso este tipo de hormigón, es el resultado obtenido en pruebas que indican el coeficiente lineal de puente térmico entre muros de fachada y forjados intermedios. Mientras que el valor habitual para un hormigón estándar es de $\Psi = 0.99 \text{ W/m.K}$, el hormigón aislante presenta un valor de $\Psi = 0,63 \text{ W/m.K}$, 1.5 veces menor.

Así pues, *Thermedia™ 0.6* consigue reducir, respecto a los hormigones estándar, un 35% las pérdidas energéticas por puente térmico en encuentros de forjado con los cerramientos exteriores. (Figura V)

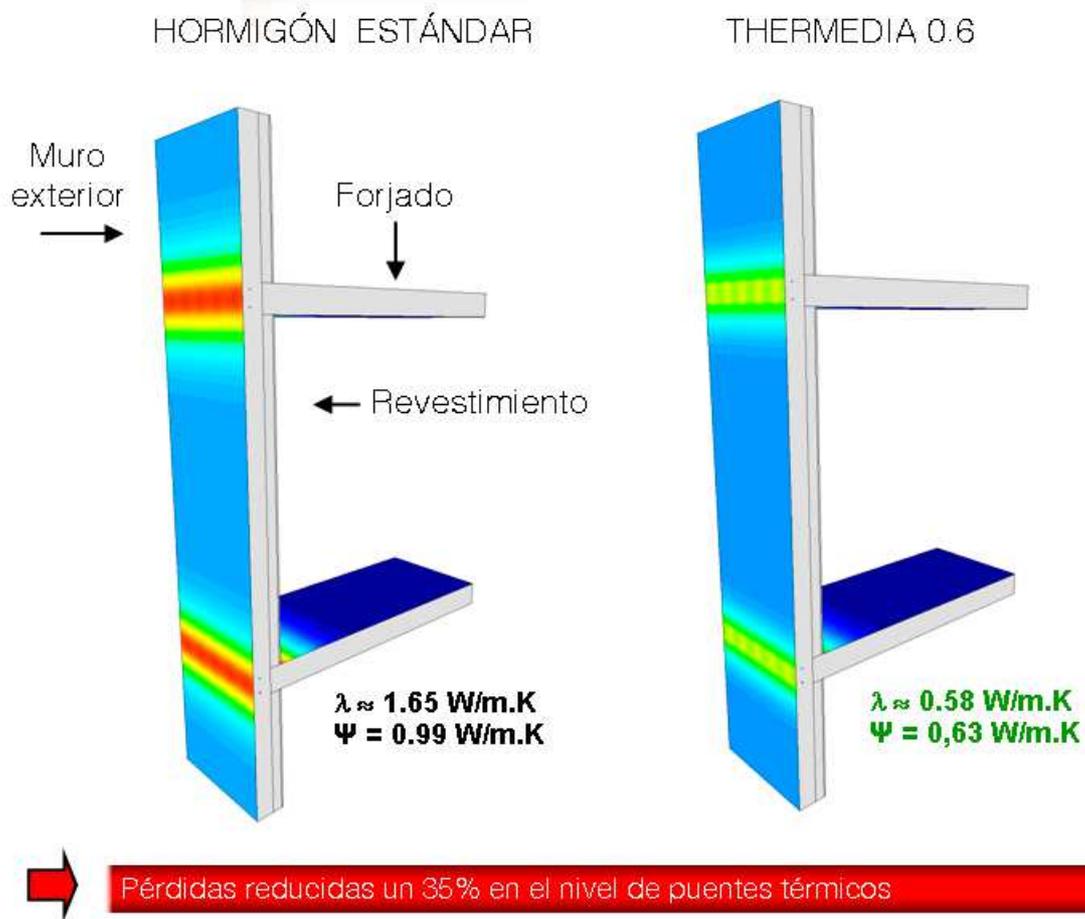


Imagen 20. Ficha técnica Lafarge Francia - Thermedia 0.6 – Reducción puente térmico

VI. CONCLUSIONES

En esta memoria hemos podido estudiar la problemática actual que concierne a la cuestión del aislamiento térmico en los muros de hormigón in situ a través del análisis de las posibles soluciones desarrolladas hasta la fecha y culminando con la presentación de un nuevo producto crecientemente desarrollado en Europa el cual supone no sólo un avance en la construcción sino un capítulo más en la historia de este material.

En un primer momento comprobamos cómo a través de la historia el hormigón in situ pasa de jugar meramente un papel muy relevante como elemento estructural a considerarse como material fluido apto para considerarse como envolvente del edificio gracias a que posee las características elementales de un cerramiento estructural que puede adoptar casi cualquier forma.

Visto que las cualidades del material lo posicionan con gran ventaja frente a otros menos resistentes o más caros dentro de los cerramientos, el problema llega cuando se tiene que solucionar la función básica del aislamiento, ya que a pesar de conferir gran inercia térmica a través de su masa, sigue siendo insuficiente.

A través de las tres tipologías básicas comprobamos que si bien queremos resolver los puentes térmicos en el contorno de los huecos o en el frente de forjado, se han de tomar decisiones en detrimento del resultado final del muro – acabado visto –, del espesor total, o el presupuesto y el tiempo de ejecución del cerramiento.

Considerando pues, necesaria la colocación adicional de un aislante térmico, y que las soluciones constructivas no acaban de resolver equitativamente todas las condiciones deseables en un cerramiento, el hormigón se halla en un punto donde debe avanzar en otra dirección para solucionar el problema.

De este modo, apartando aparentemente el aspecto constructivo, se decide investigar en las propiedades del material en sí mismo, potenciando sus posibilidades como aislante y ofreciéndolo al mercado de la construcción.

Los nuevos hormigones aislantes estructurales brindan la posibilidad de disminuir los puentes térmicos gracias a su baja conductividad sin disminuir por ello su capacidad portante. Como hemos visto, la obra de David Chipperfield, es un claro ejemplo de la validez de estos hormigones, y según hemos observado en ya existen casas comerciales que permiten reducir hasta en un 35% las pérdidas energéticas en los puentes térmicos.

Para concluir este trabajo, cabe mencionar el papel fundamental que juega la industria y el campo de la investigación en el desarrollo de los materiales de construcción, ya que en este caso la solución al problema no es dar con algo nuevo, sino mejorar las propiedades de la materia prima del sistema constructivo que queremos emplear.

VII. BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES

LIBROS, REVISTAS Y ARTÍCULOS:

TECTÓNICA 3. Hormigón in situ (I)

DETAIL 6/2014 Concrete construction

EL CROQUIS 174-75. David Chipperfield. Madrid: El Croquis Editorial (2010-2014)

EL CROQUIS 121 – 122. Madrid: El Croquis Editorial (2004),

DETAIL 2/2006: revista de arquitectura y detalles constructivos

“Planeamiento integral: Zollverein. School of management and design”.

Av proyectos núm. 14. Madrid Arquitectura Viva (2006)

“SANAA/ Sejima y Nishizawa. Escuela de Gestión y Diseño, Essen”.

SANAA (Equipo de arquitectos) | Feireiss, Kristin; Sejima, Kazuyo; Nishizawa, Ryue; Alkemade, Floris (2006) : *The Zollverein School of Management and Design Essen, Germany* Munich : Prestel, cop.

Joseph Monier et la naissance du ciment armé. Bosc, Jean-Louis | Paris : Editions du Linteau, D.L. 2001.

MÁS TOMÁS, A. (2005) *Cerramientos de obra de fábrica. Diseño y tipología*.

LERMA ELVIRA, C. *Cerramientos de hormigón in situ*. Pág. 7-8

WEBS:

<http://cte-web.iccl.es/materiales.php?a=7>

<http://www.ponderosa.es/docs/Norma-EHE-08.pdf> /

<http://www.fomento.gob.es/NR/rdonlyres/6BEE2889-160A-4401-8A90-69D3CA38FF0F/37438/Anejo16borde.pdf>

<http://www.lafarge.com.es/wps/portal/es/thermedia-hormigon-aislante>

<http://www.lafarge.com/en/thermedia>

VIII. ÍNDICE DE IMÁGENES

IMÁGENES:

1. TWA Terminal at Idlewild (now JFK) Airport, Eero Saarinen, New York, NY, 1962

http://www.yossimilo.com/artists/ezra_stol/?show=1&img_num=8

2. Casa en Ropponmatsu. Kazunori Fujimoto

<http://tectonicablog.com/?p=33655>

3. Opus Caementicium Romano

<http://www.antoniohernandez.es/Arte/imagenes/02%20Roma/Webs/Arquitectura/02%20OPUS.html>

4. Tapial

<http://j-l.es/farfanestella/bioclimatica/?cat=7&paged=2>

5. Santa Genoveva / Panteón de Paris. Jacques-Germain Soufflot 1753

https://es.wikipedia.org/wiki/Jacques-Germain_Soufflot#/media/File:Coupe-Panth%C3%A9on-Armatures-Paris-France-1881.jpg

6. Bateau ciment. L.Lambot

<http://lehavreblog.blogspot.com.es/2009/11/les-etudiants-havrais-et-le-canoe-beton.html>

7. Jardineras J. Monier

TECTÓNICA (1996) *Hormigón (I)*

8. Publicidad sistema Hennebique

TECTÓNICA (1996) *Hormigón (I)*

9. Zollverein school of management and design. SANAA 2005

<http://www.archdaily.com/534996/a-photographic-journey-through-zollverein-a-post-industrial-landscape-turned-machine-age-playground/53e14ce0c07a80bf02000193-a-photographic-journey-through-zollverein-a-post-industrial-landscape-turned-machine-age-playground-photo>

10. Zollverein school of management and design. SANAA 2005

<http://www.everystockphoto.com/photo.php?imageId=7417489>

11. Sistema de intercambiador y circuitos cerrados de agua

SANAA (Equipo de arquitectos); Feireiss, Kristin ; Sejima, Kazuyo ; Nishizawa, Ryue ; Alkemade, Floris. *The Zollverein School of management and design, Essen, Germany* (2005). Kristin Freireiss ED.

12. Sección horizontal del muro SANAA Zollverein School of management and design

SANAA (Equipo de arquitectos); Feireiss, Kristin ; Sejima, Kazuyo ; Nishizawa, Ryue ; Alkemade, Floris. *The Zollverein School of management and design, Essen, Germany* (2005). Kristin Freireiss ED.

13. Distribución del sistema de aislamiento activo en una de las fachadas

SANAA (Equipo de arquitectos); Feireiss, Kristin ; Sejima, Kazuyo ; Nishizawa, Ryue ; Alkemade, Floris. *The Zollverein School of management and design, Essen, Germany* (2005). Kristin Freireiss ED.

14. – 15. Imágenes del interior SANAA Zollverein School of management and design

<http://www.e-architect.co.uk/cologne-zollverein-school-essen>

16. – 17. Proyecto en Joachimstrasse, David Chipperfield 2014

<http://www.davidchipperfield.co.uk/project/joachimstrasse>

18. Planta baja proyecto en Joachimstrasse, David Chipperfield 2014

EL CROQUIS (2014) Núm 174-175. David Chipperfield (2010-2014)

19. Conductividad térmica en función de la densidad de pastas y hormigones

norma NBE-CT-79

20. Ficha técnica Lafarge Francia - Thermedia 0.6 – Reducción puente térmico

<http://www.lafarge.com/en/thermedia>

FIGURAS:

Los dibujos que aparecen en esta memoria (alzados, secciones y axonometrías constructivas) son obra del autor de la misma.

IX. ANEJOS

- a. Ficha técnica *ThermediaTM 0.6 España*
- b. Ficha técnica *ThermediaTM 0.6 Francia*

Thermedia

SOLUCIONES DE AISLAMIENTO EN HORMIGÓN

LAFARGE
Construir mejores ciudades™

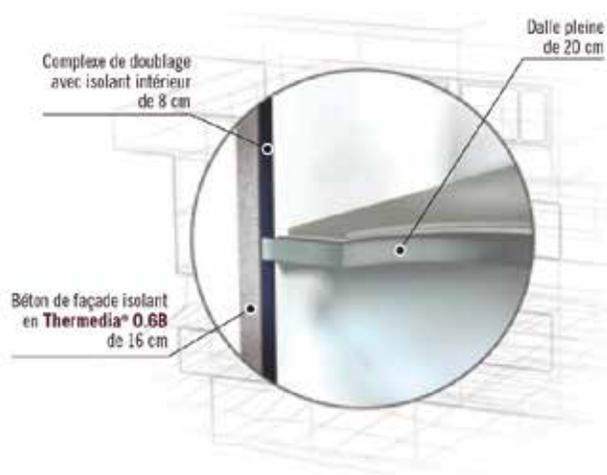


Thermedia

Hormigón de gran rendimiento térmico y de baja densidad

Aplicaciones:

- **Thermedia 0.6** es el primer hormigón ligero estructural de baja conductividad térmica destinado a fachadas, cubiertas y capas de compresión para reducir la pérdida de calor por puentes térmicos.
- Se reduce hasta el 35% de las pérdidas a través de puentes térmicos, en función del sistema constructivo, contribuyendo así a una mayor eficiencia energética.
- Su uso en fachadas cumple con la Normativa Acústica en vigor.
- Su baja densidad lo hace ideal como solución para cubiertas y de capa de compresión en rehabilitación de forjados.



Ventajas:

- Siendo tres veces mas aislante que un hormigón convencional, **Thermedia 0.6** asegura plenamente su comportamiento como hormigón estructural.
- Sin cambiar el sistema constructivo tradicional de aislamiento térmico en el interior.
- **Thermedia 0.6** permite:
 - Reducir las pérdidas debidas a los puentes térmicos entre forjado y fachada hasta el 35%.
 - La libertad de diseño arquitectónico en la fachada.
- **Thermedia 0.6** cumple con las nuevas construcciones de etiquetas energéticas aportando créditos en las certificaciones ambientales.
- Su elevada fluidez cercana a la autocompactabilidad facilita su colocación.

Características Técnicas:

- Thermedia 0.6 es un hormigón ligero estructural, conforme a la normativa EHE-08, Anejo 16
- Está compuesto a partir de áridos ligeros naturales o artificiales, como arcilla expandida o piedra pómez
- Su densidad seca es inferior a 1.450 kg/m³
- Ecurrimiento: 55 ± 5 cm. Determinación bajo la norma UNE 83-361
- La trabajabilidad se garantiza 2 horas desde el centro de producción
- Módulo de elasticidad instantáneos de 12.000 MPa (± 2.000 MPa)
- La conductividad térmica de Thermedia 0.6 es $\lambda_{sec} = 0,50$ W/mK y una $\lambda_{útil} = 0,54$ W/mK
- Resistencia a compresión $F_{ck} = 25$ MPa



PRECAUCIONES DE EMPLEO

- Thermedia 0.6 se utiliza para muros de fachadas, cubiertas y capas de compresión.
- Thermedia 0.6 debe ser vibrado a baja frecuencia y vertido en tongadas sucesivas.
- El encofrado debe estar limpio, prestando especial atención al sellado de juntas de éste.
- Se debe respetar la EHE-08 encunto a temperaturas de colocación.
- Sin perjuicio de estas precauciones, el revestimiento de Thermedia 0.6 es similar a los hormigones tradicionales.
- Al igual que con todos los hormigones, está estrictamente prohibido añadir agua u otras sustancias en obra.

TRANSPORTE

- Verificar la accesibilidad en la obra de los camiones

THERMEDIA 0.6 B : UN BETON NOUVELLE GENERATION CONTRIBUANT A LA PERFORMANCE ENERGETIQUE DES BATIMENTS

Le Grenelle Environnement marque une étape décisive dans la prise de conscience des enjeux environnementaux que la France doit relever et a ainsi montré l'urgence de se mobiliser et d'agir, à tous les niveaux de la construction, dans une logique forte de développement durable.

En association avec Bouygues Construction, Lafarge présente Thermedia 0.6 B, un nouveau béton apportant une réponse concrète aux problématiques de déperditions d'énergie par l'enveloppe des bâtiments. Grâce à ses propriétés inédites, Thermedia 0.6 B permet de traiter efficacement les points de rupture dans l'isolation thermique par l'intérieur d'un bâtiment, appelés ponts thermiques.

UNE REponse CONCRETE AUX IMPERATIFS DE PERFORMANCE ENERGETIQUE DANS LE RESPECT DES MODES CONSTRUCTIFS TRADITIONNELS

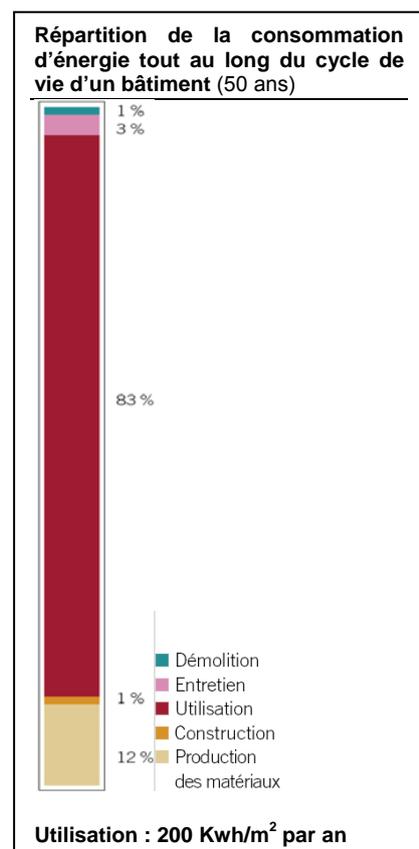
Si le secteur du bâtiment représente environ 37% de la consommation d'énergie dans le monde, 85% de cette énergie sont consommés pendant la phase d'utilisation des bâtiments, pour le chauffage, la ventilation, le refroidissement, l'éclairage et l'eau chaude. En effet, l'analyse du cycle de vie d'un bâtiment révèle que la production des matériaux de construction est responsable de 12% de la consommation totale d'énergie pour une construction d'une durée de vie de 50 ans. Pour lutter contre le changement climatique, il est donc essentiel d'améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments.

Le béton a un rôle capital à jouer, car il dispose de propriétés qui en font un matériau particulièrement adapté à la construction de bâtiments plus efficaces en énergie.

Le secteur de la construction est aujourd'hui mobilisé pour la recherche de l'amélioration de l'efficacité énergétique. En fixant comme objectif une consommation globale de kWh/m².an à horizon 2012, le Grenelle Environnement a amorcé la généralisation des Bâtiments Basse Consommation (BBC). Ce mouvement de fond s'accompagne de réglementations thermiques existantes (RT 2005) et à venir (RT 2012, RT 2020) visant la plus grande sobriété énergétique possible.

Outre l'installation d'équipements techniques efficaces et économes, la performance thermique d'un bâtiment passe en premier lieu par la réalisation d'une enveloppe soignée, aux ponts thermiques supprimés et à l'isolation optimisée.

Conscients de ces enjeux, Lafarge et Bouygues Construction ont uni leurs compétences pour développer **Thermedia 0.6 B, le premier béton structural participant à la performance énergétique des bâtiments.**



UNE NOUVELLE GENERATION DE BETONS

Thermedia 0.6 B est aujourd'hui le seul béton capable d'allier résistance et légèreté, performances mécaniques et propriétés thermiques.

Une formulation unique

Pour atteindre ces résultats, le Centre de recherche Lafarge a travaillé sur une **formulation inédite du béton (à partir de granulats, ciments, additifs et adjuvants disponibles sur le marché)** qui a mené un produit de densité 40% inférieure à celle d'un béton standard.

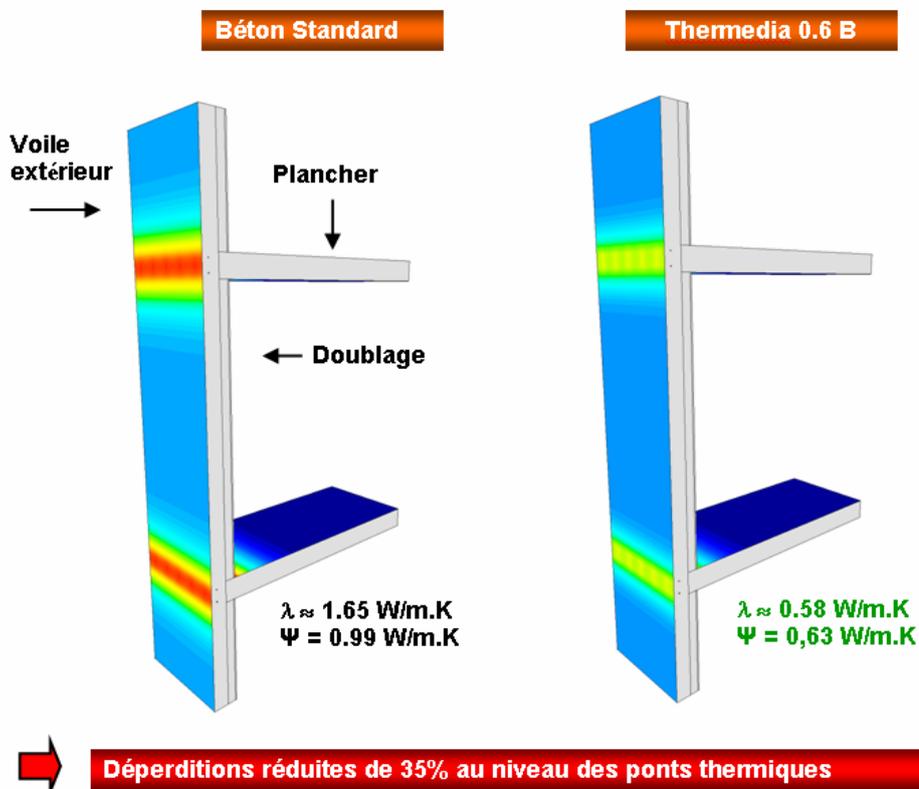
Le mélange particulier de Thermedia 0.6 B, breveté par Lafarge, permet de **diviser sa conductivité thermique par trois par rapport à un béton standard**. Ainsi, ce nouveau béton diminue de 35% les impacts au niveau des liaisons entre les voiles de façade et les planchers de niveau intermédiaire (ou ponts thermiques).

Des propriétés inédites

Thermedia 0.6 B se caractérise par :

- une **conductivité thermique réduite** : $\lambda = 0,58 \text{ W/m.K}$ contre $\lambda \approx 1.65 \text{ W/m.K}$ pour un béton standard ;
- un **coefficient linéique de pont thermique entre voiles de façade et planchers réduit** : $\Psi = 0,63 \text{ W/m.K}$ contre $\Psi = 0.99 \text{ W/m.K}$ pour un béton standard ;
- une **résistance mécanique identique à celle d'un béton standard à 25 MPa**.

Comparatif béton standard / Thermedia 0.6 B



Conformément à la norme NF EN 206-1, les propriétés intrinsèques du matériau (mécanique, durabilité, retrait, mais aussi comportement au feu, acoustique et résistance sismique) ont été testées et certifiées.

Une grande facilité de mise en œuvre, dans le respect des modes constructifs traditionnels

Thermedia 0.6 B est un béton prêt à l'emploi, fabriqué en centrale et coulé en place sur chantier. Sa **fluidité**, proche de l'autoplaçant, et sa **très bonne ouvrabilité**, en font un matériau d'une grande facilité de mise en œuvre. Son rendu fini esthétique est identique à celui d'un béton standard.

A la différence des solutions systèmes de rupteurs thermiques existant sur le marché ou d'isolation thermique par l'extérieur, Thermedia 0.6 B ne demande **pas d'adaptation des modes constructifs** couramment usités en France, ce qui assure de rester dans le planning chantier.

LA MISE EN ŒUVRE SUR CHANTIER : UN RETOUR SUR EXPERIENCE SIGNIFICATIF

Grâce au partenariat développé entre Lafarge et Bouygues Construction, Thermedia 0.6 B a pu être mis en œuvre rapidement sur des chantiers de logements sociaux. Cela a permis d'analyser et d'observer le comportement du matériau dans l'ouvrage et de valider les spécificités nouvelles du produit.

Exemples de mises en œuvre sur chantier

- Coulages tests de 6.5 m³ et de 8 m³ pour des voiles de façades sur le chantier de Logements collectifs, Impasse du Gué - Paris 18^e – Bouygues Construction Ile de France / Lafarge Bétons Agence Ile de France - Centrale de Gennevilliers (octobre 2007)
- Coulage test de 2 X 12 m³ pour des voiles de façades sur le chantier de Logements collectifs, rue de la Convention - Paris 15^e – Bouygues Construction Ile de France / Lafarge Bétons Agence Ile de France - Centrale de Gennevilliers (juin 2008)
- Chantier test de 140 m³ : réalisation des voiles de façade d'un bâtiment de Logements collectifs à Ste Geneviève des Bois (91) – Bouygues Construction Ile de France / Lafarge Bétons Agence Ile de France – Centrale de Trappes (octobre à décembre 2008)
- Chantier test de 450 m³ : réalisation des voiles de façade d'un bâtiment de Logements collectifs à Colombes ZAC Ile Marante (92) – Bouygues Construction Ile de France / Lafarge Bétons Agence Ile de France – Centrale de Nanterre (novembre 2008 à avril 2009)

Un chantier de 1 100 m³ de Thermedia 0.6 est en cours de démarrage sur le Havre avec la filiale Quille de Bouygues Construction.

5 opérations sont actuellement à l'étude avec Bouygues Construction en Ile de France. Tous concernent des logements collectifs destinés à l'habitat social.

Thermedia 0.6B est produit dans 6 centrales à béton Lafarge. Pour les deux prochaines années, il est exclusivement réservé aux chantiers Bouygues Construction et à ses filiales, sur le marché francilien, étendu à la Normandie.

