



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

Paredes que captan el Sol

Sun-attracting walls

Autor/es

Cynthia Moreno Lorente

Director/es

Belinda López Mesa

ESCUELA DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
Año 2016



DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y ORIGINALIDAD

(Este documento debe acompañar al Trabajo Fin de Grado (TFG)/Trabajo Fin de Máster (TFM) cuando sea depositado para su evaluación).

D./D^a. Cynthia Moreno Lorente

con nº de DNI 73015928J en aplicación de lo dispuesto en el art.

14 (Derechos de autor) del Acuerdo de 11 de septiembre de 2014, del Consejo de Gobierno, por el que se aprueba el Reglamento de los TFG y TFM de la Universidad de Zaragoza,

Declaro que el presente Trabajo de Fin de (Grado/Máster)
Grado _____, (Título del Trabajo)

Paredes que captan el Sol

es de mi autoría y es original, no habiéndose utilizado fuente sin ser citada debidamente.

Zaragoza, 21 de Septiembre 2016

Cynthia Moreno

Fdo: Cynthia Moreno Lorente

PAREDES QUE CAPTAN EL SOL

RESUMEN

El Trabajo Fin de Grado se plantea como un ejercicio de investigación sobre proyectos de arquitectura con cerramientos captadores de la energía solar.

La primera aproximación al proyecto nos lleva a reflexionar sobre la Arquitectura y la Sostenibilidad, la relación de la Arquitectura y el Sol a lo largo de la historia y la necesidad de encontrar una fuente de energía renovable en la Arquitectura del siglo XXI. Vemos que el Sol, un recurso natural e inagotable, puede llegar a ser el mejor radiador en la arquitectura del futuro.

Para saber cómo utilizar este recurso natural tan importante para la humanidad, se analizan obras que utilizan el Sol como principal fuente de energía.

Así se estudian tres obras del arquitecto Thomas Herzog, considerado el fundador de la Arquitectura Solar. En estos primeros trabajos realizados hace casi 40 años, se pretenden encontrar técnicas que no destaquen por su innovadora tecnología sino por el correcto uso de parámetros sencillos como la orientación, la forma o el uso de los materiales.

Se describen a continuación, tres proyectos del estudio Lacaton&Vassal, arquitectos franceses muy reconocidos actualmente en Europa por su relación entre la arquitectura y el Sol. Sus trabajos tienen la singularidad de experimentar con los “espacios invernaderos”, que a la vez de ser herramientas captadoras de la energía solar, son espacios no programados donde el usuario habita el lugar de una manera u otra, según las condiciones climáticas exteriores.

Por último, son objeto de estudio dos viviendas realizadas por el arquitecto español Josep Bunyesc. Trataremos de estudiar cómo consigue con solo recursos naturales alcanzar el confort interior durante todas las épocas del año. Y analizaremos basándonos en resultados (facilitados por el propio arquitecto), la eficacia del comportamiento climático de estas obras.

Todos los proyectos se analizan desde el punto de vista climático. Se realizan esquemas de funcionamiento de cada uno de ellos, comparando su comportamiento tanto invierno como en verano. En estos ejemplos encontramos diferentes formas de utilizar el Sol como principal fuente de energía en la Arquitectura.

PAREDES QUE CAPTAN EL SOL

01 PUNTO DE PARTIDA	8
02 OBJETIVOS	8
03 METODOLOGIA	9
04 ARQUITECTURA Y SOSTENIBILIDAD	10
05 ARQUITECTURA SOLAR	13
06 HISTORIA DE LA ARQUITECTURA SOLAR	14
07 EVOLUCIÓN DE LOS INVERNADEROS	18
08 THOMAS HERZOG, Pielés Arquitectónicas Avanzadas	21
Regensburg House, Regensburg, Alemania, 1977-79.	24
Two-family House, Pullach, Alemania, 1986-89	26
Guest Building for the Youth Educational Centre, Windberg, Alemania, 1987-91.	28
09 LACATON&VASSAL, Edificios invernadero	31
Ciudad Manifiesto, Mulhouse, Francia, 2001-05.	34
Tranformación de la Torre Bois-Le-Prêtre, París, Francia, 2005-11.	38
Frac Nord-Pas de Calais, Dunquerque, Francia, 2009-13.	40
10 JOSEP BUNYESC, Arquitectura Solar Pasiva	45
Casa Bunyesc, Lleida, España, 2009.	48
Rehabilitación de vivienda en Pessonada, España, 2014.	52
11 CONCLUSIONES	56
12 BIBLIOGRAFÍA	58
13 CRÉDITOS DE LAS ILUSTRACIONES	60
14 ANEXOS	64

01 Punto de Partida

Este TFG surge a partir del artículo “Paredes que captan el Sol” de Anatxu Zabalbeascoa¹, publicado en el Blog de Cultura de El País el 23 de noviembre de 2015 [Anexo I](#). Ella es una reconocida periodista e historiadora de la arquitectura y el diseño en El País.

En esta reseña, la periodista explica la intervención llevada a cabo por Josep Bunyesc, arquitecto, en la rehabilitación de una antigua vivienda situada en Pessonada, un pueblo perteneciente a la provincia de Lérida situado en la falda de los Pirineos Catalanes y que se ejecutó en el año 2014. La novedad del proyecto está en que el arquitecto ve como oportunidad utilizar el muro de piedra existente de la fachada sur de la vivienda, en ese momento deteriorada, para convertirla en un muro captador de la energía solar. Para ello, reviste el muro de piedra con ocho capas de policarbonato translúcido y consigue que éste sea capaz de captar la energía solar suficiente como para que los dueños no hicieran uso de ningún sistema de calefacción durante todo el invierno.

Además, los propietarios aseguran que no acusaron las altas temperaturas en el verano pasado, que fue muy caluroso en toda España. El muro de policarbonato no se calienta. El calor no se nota en la casa gracias a la intervención de Bunyesc en revestir las otras fachadas de la vivienda con aislamiento y al sistema de persianas ligero, ventilado y desmontable que protege los espacios acristalados del sol. “No hace falta nada más” asegura la periodista Anatxu Zabalbeascoa en el artículo.

El funcionamiento de este “muro captador de energía solar” ha sido el punto de partida del presente trabajo. El artículo de “Paredes que captan el Sol” suscitó un gran interés en mí y en la directora del TFG, Belinda López Mesa.

El TFG se titula de la misma forma que el artículo “Paredes que captan el Sol” de Anatxu Zabalbeascoa, ya que toda la investigación que se va a llevar a cabo surge del proyecto descrito en esta reseña.

02 Objetivos

El TFG tiene por objetivo encontrar estrategias de captación solar a través de los cerramientos y su integración en el proyecto en la arquitectura contemporánea. Se busca conocer cómo se capta la energía del sol y de qué manera se aprovecha esta fuente de energía renovable para que en el interior del edificio se consiga alcanzar una temperatura de confort adecuada para los usuarios durante todas las estaciones del año. Se estudiará el funcionamiento climático del edificio tanto en invierno como en verano, y se describirán los elementos que componen los cerramientos de los proyectos, así como los diferentes materiales usados en el mismo.

Con la descripción de cada uno de los proyectos a estudiar se pretende dar ejemplo de como el Sol (fuente inagotable y tan importante para nuestro planeta) puede ser aprovechado para garantizar un correcto funcionamiento climático en los edificios con un lenguaje formal contemporáneo.

¹ Anatxu Zabalbeascoa (Barcelona, 1966), periodista e historiadora del arte especializada en arquitectura y diseño, trabaja como crítica en su blog “Del tirador a la ciudad” para El País. Entre sus escritos destacan “Las casas del siglo”, “Vidas construidas”, “Minimalismos” y “Todo sobre la casa”, publicados por la Editorial Gustavo Gili.

03 Metodología

Para llevar a cabo el estudio, en primer lugar, trataremos de entender la importancia de encontrar una fuente de energía renovable en la arquitectura del Siglo XXI. La gran mayoría de los edificios construidos actualmente consumen elevadas cantidades de energía de calefacción y de aire acondicionado, siendo la industria de la construcción una de las principales causantes del calentamiento global del planeta.

La arquitectura popular representa la adecuación perfecta entre el clima y las necesidades humanas. Trataremos de estudiar por qué el curso del Sol ha sido un factor fundamental para el diseño de los hogares a lo largo de la historia y de qué manera la arquitectura popular se ha beneficiado de esta fuente de energía renovable para conseguir el confort adecuado en su interior.

Encontramos en los invernaderos, un ejemplo fundamental a estudiar. Aunque sean construcciones relacionadas directamente con la horticultura, son edificios capaces de beneficiarse de la radiación solar para regular la temperatura en su interior y conseguir proteger así las plantas de las inclemencias extremas del clima.

En segundo lugar, se llevará a cabo una investigación de diferentes obras arquitectónicas que dispongan de “Paredes que captan el Sol”. Para ello, se han seleccionado tres estudios de arquitectura cuyas obras se relacionan directamente con el clima del lugar, y concretamente, con la energía solar.

Las tres primeras obras a estudiar son de Thomas Herzog. Se ha seleccionado este arquitecto alemán porque es considerado como el fundador de la Arquitectura Solar. Los proyectos corresponden con sus primeros trabajos realizados entre 1.977 y 1.987.

También se analizarán tres obras del estudio Lacaton&Vassal, ya que actualmente, estos arquitectos franceses, son muy reconocidos en Europa por sus trabajos con arquitectura solar.

En último lugar, se describirán dos obras proyectadas por el arquitecto español Josep Bunyesc. Los proyectos a analizar son: la propia casa del arquitecto Josep Bunyesc, considerada la primera casa pasiva en España y la obra de referencia en la que se basan sus proyectos, y la Rehabilitación de una vivienda en Pessonada, intervención que comenta la periodista Anaxu Zabalbeascoa en el artículo “Paredes que captan el Sol”, reseña punto de partida de este Trabajo Fin de Grado.

Además de elegir obras situadas en diferentes países europeos y proyectadas por distintos estudios de arquitectura, se han intentado escoger en el caso de Thomas Herzog y Lacaton&Vassal, proyectos con diferente carácter: viviendas unifamiliares, viviendas colectivas y edificios públicos.

Para la elaboración del análisis de estos proyectos de arquitectura se realizará una descripción de los mismos y se llevará a cabo el estudio de funcionamiento climático de los edificios. Para entender con claridad el comportamiento de cada uno de ellos, el análisis se completará con dibujos propios que tratarán de explicar el funcionamiento de los proyectos en las diferentes estaciones del año. Se hará una comparación entre el funcionamiento climático del edificio en invierno y en verano.

Para la investigación de este trabajo se ha contado con documentación como tesis, artículos, revistas de arquitectura, monografías y reportajes.

Agradecer al arquitecto Josep Bunyesc (con el que se ha contactado a través de correo electrónico) que nos ha facilitado la documentación necesaria para el análisis de sus obras, así como los resultados obtenidos del comportamiento climático de sus edificios.

04 Arquitectura y Sostenibilidad

SOSTENIBILIDAD DESARROLLO SOSTENIBLE
 AGOTAMIENTO DE LOS RECURSOS NO RENOVABLES
 CONTAMINACIÓN ARQUITECTURA BIOCLIMÁTICA
 APROVECHAMIENTO DE ENERGÍAS RENOVABLES
 AHORRO ENERGÉTICO CICLO DE VIDA HUELLA ECOLÓGICA

La aparición sucesiva de estos y otros muchos conceptos en la cultura arquitectónica en los últimos años muestra la preocupación por las relaciones entre arquitectura y ecología.

Como base a las reflexiones de José Manuel Naredo² que ganó el Premio Nacional de Medio Ambiente en el año 2.000: *"El problema de la insostenibilidad de la sociedad industrial estriba en que, (...), no ha sido capaz de cerrar los ciclos de materiales reconvirtiendo, con ayuda del Sol y sus derivados, sus residuos en recursos. Con lo cual el sistema se topa con problemas de escasez de recursos y de exceso de residuos"*³. Junto con el problema existente del cambio climático es urgente una modificación del modelo energético actual, ya que avanzamos hacia un periodo de escasez de recursos y un exceso de residuos.

Richard Rogers⁴ plasma en el libro *Ciudades para un pequeño planeta*⁵ en 1995: *"Estoy convencido de que la arquitectura y la planificación urbana pueden evolucionar para aportar herramientas imprescindibles encaminadas a salvaguardar nuestro futuro, creando ciudades que produzcan entornos sostenibles y civilizadores"*⁶. Resulta necesario conocer principios, leyes, sistemas, mecanismos y procesos que regulen esta nueva situación energética, para poder definir los intereses más relevantes para la arquitectura.

Los numerosos frentes de investigación abiertos y los avances que van apareciendo de la mano de distintos arquitectos, reciben cada vez más, un reconocimiento del esfuerzo por aunar conceptos ecológicos y soluciones arquitectónicas.

El premio Pritzker además de ser un galardón que reconoce el prestigio profesional de los arquitectos premiados, en los últimos años, señala como virtud atribuir a las decisiones arquitectónicas de los proyectos razones medioambientales y de sostenibilidad, además de estar comprometidos con la sociedad.

En 2.006, Luis Fernández-Galiano⁷ en su artículo ¡Es la economía, ecologistas!, publicado en la revista AV nº105, anunciaba que no hay ecología sin economía. Es una realidad que la creciente carestía de los combustibles fósiles y el continuado incremento del precio del petróleo, han abierto un periodo que estimula al ahorro y a buscar fuentes renovables, invitando a reflexiones nuevas en el terreno de la arquitectura y el urbanismo sostenibles. Sin embargo, Fernández-Galiano afirma que edificios que han sido considerados como ejemplos de arquitectura sostenible como el Condé Nast en 4 Times Square, proyecto de Fox & Fowle o el edificio de la sede de The New York Times con Renzo Piano de arquitecto, han tenido que enfrentarse a unos costes de construcción y mantenimiento que los deja fuera de ser considerados sostenibles.

² José Manuel Naredo, (Madrid, 1942), economista y estadístico español, divulgador de la economía ecológica en España, además de profesor en el Departamento de Urbanística y Ordenación del Territorio de la ETSAM. En 2000 fue galardonado con el Premio Nacional de Economía y Medio Ambiente.

³ José Manuel Naredo, "Instrumentos para paliar la insostenibilidad de los sistemas urbanos" en las "Jornadas sobre Ecología y Ciudad". ETSAM. 21/2/2002. Margarita De Luxán García de Diego. "Prestigio, Arquitectura y Sostenibilidad", pág 2. Madrid, 3/7/2007.

⁴ Richard Rogers (Flores, 1918), arquitecto británico que durante su carrera profesional ha seguido una tendencia ligada a la "alta tecnología" y al concepto del edificio como máquina, relacionando arquitectura y medio ambiente, cultura y sociedad.

⁵ Richard Rogers, *Ciudades para un pequeño planeta*. Editor: Philip Gumuchdjian, 1995.

⁶ Richard Rogers. *Ciudades para un pequeño planeta* extracto del capítulo "La cultura de las ciudades". 1995. Margarita De Luxán García de Diego, "Prestigio, Arquitectura y Sostenibilidad", pág 10. Madrid, 3/7/2007.

⁷ Luis Fernández-Galiano (Calatayud, 1950), arquitecto, investigador y catedrático del área de Proyectos en la ETSAM, director de las revistas *Arquitectura Viva* y miembro de la Real Academia de Bellas Artes de San Fernando.

Podemos decir que un edificio sostenible va mucho más allá de un discurso “verde”, se han de sopesar todo tipo de factores sociales, políticos, medioambientales y económicos. La arquitectura realmente sostenible es aquella que consigue optimizar los recursos y materiales, atenuar al máximo el consumo energético, promover la energía renovable, reducir los residuos y las emisiones, disminuir el mantenimiento y el precio de los edificios y mejorar la calidad de vida de sus ocupantes.

Si en 2.006, Fernández-Galiano, en el artículo mencionado anteriormente, afirmaba “*Los edificios y las ciudades son responsables de la mayor parte del consumo de energía(...). Sin embargo, suponer por ello que arquitectos y urbanistas son protagonistas inevitables de los dilemas energéticos que abre la actual crisis (en su doble dimensión de carestía e impacto climático) es un espejismo sin sentido. Las grandes decisiones que van a configurar nuestro futuro se tomarán en el ámbito macroeconómico*”⁸. En 2012, años más tarde, afirmaba “*La mitad de la energía del planeta se consume en los edificios, los arquitectos somos los responsables(...) Hay que mirar a la tradición y aprender de la arquitectura vernácula, por ejemplo. No es más caro, es más sensato. Es volver a aprender cosas que hemos olvidado por la exuberancia energética*”⁹.

El control climático en el interior de los edificios concentra la mayoría de los problemas relativos a los gases de efecto invernadero, los agujeros de la capa de ozono y las catástrofes climatológicas. La industria de la construcción es una de las principales fuentes de emanación de esos gases procedentes de la combustión de energías fósiles. El sector de la edificación es uno de los actores principales del ahorro energético, la reducción de este consumo constituye un reto para la arquitectura del siglo XXI.

Cada vez más se está tomando conciencia sobre cómo lograr una arquitectura más sostenible. Y la respuesta no está en realizar edificios complejos, con numerosos elementos y grandes tecnologías. No se trata de nada nuevo: tradicionalmente la humanidad aprendió a vivir en colaboración con su entorno, con casas que mantenían la temperatura adecuada, aprovechando los recursos naturales cercanos y sin producir niveles de contaminación que pudieran poner en peligro el equilibrio ecológico. En el siglo XIX, con la revolución industrial y el elevado crecimiento de población en las áreas metropolitanas que tuvo lugar por las numerosas emigraciones que se produjeron del campo a la ciudad, se olvidaron todos estos hábitos que permitían construir edificios aptos para la humanidad y que lograban un mayor contacto con la naturaleza.

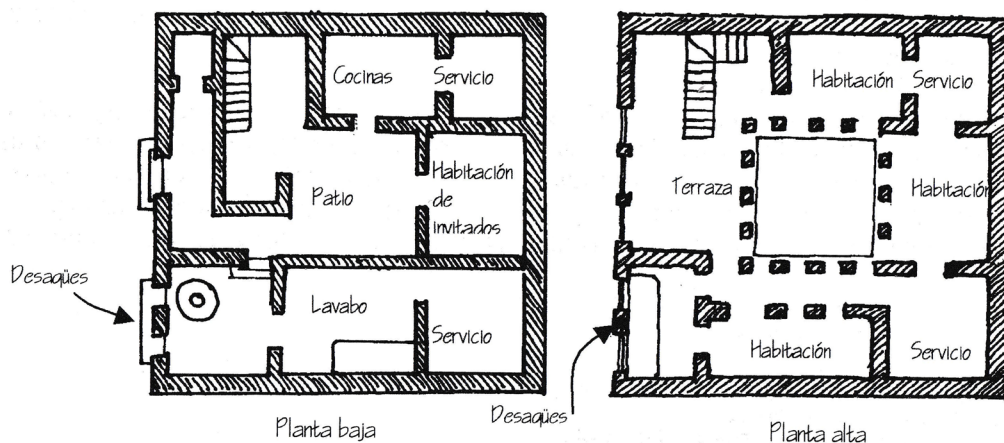
En el Siglo XIX la arquitectura se basó en la idea “la forma sigue a la función” de Louis H. Sullivan¹⁰. La arquitectura no era más que la expresión espacial del programa. Sin embargo, en 1960, este credo fue contraatacado por la fórmula “la función sigue a la forma”, promulgada por Louis I. Kahn¹¹, entre otros. La arquitectura ya no era la representación del programa, se definía como un conjunto de espacios flexibles donde cada uno se relacionaba con los demás.

⁸ Luis Fernández-Galiano. “¡Es la economía, econogistas!” , Rev. AV, nº105, pág 25. 2006.

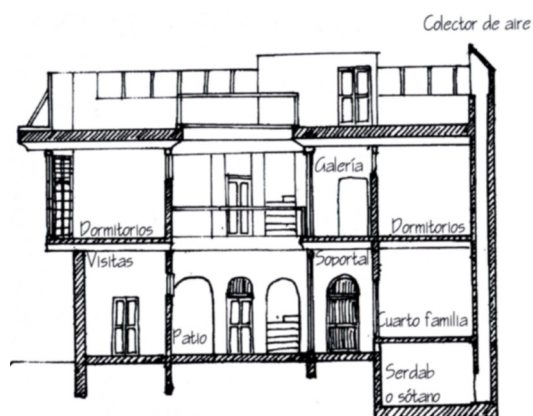
⁹ Luis Fernández-Galiano. 2012. “Fernández Galiano, el arquitecto de las palabras”, Marta Caballero, en edición digital El Cultural.es. Publicado el 23/01/2012.

¹⁰ Louis H. Sullivan (Boston, 1856 - Chicago, 1924), arquitecto americano que formó parte de la Escuela de Chicago, precursor de la arquitectura funcionalista que sentó las bases de la modernidad en América.

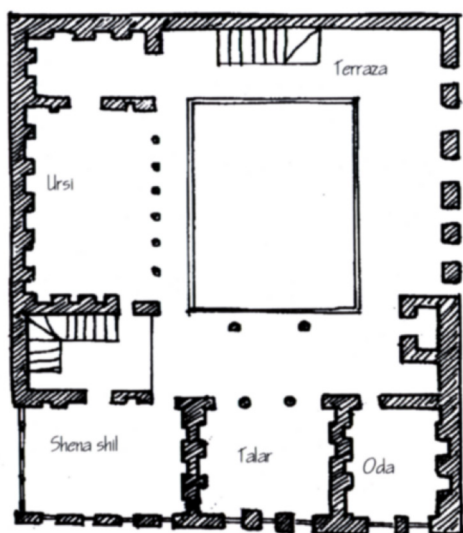
¹¹ Louis I. Kahn (Isla de Ösel, 1901 - Nueva York, 1974), arquitecto americano precursor del Estilo Internacional inspirado en la arquitectura antigua, para el cual tanto la forma como la función están presentes en el proceso de proyecto.



4.1 Casa patio en Mohenjo-Daro. Clima desértico.



4.2 Sección casa típica en Bagdad.



4.3 Planta casa típica en Bagdad.

En la actualidad, arquitectos como Philippe Rahm¹² proponen una nueva arquitectura donde la función y la forma podrían surgir a partir del clima. Trata de llegar a una arquitectura libre con una nueva organización del espacio.

Philippe Rahm en el texto "la forma y la función siguen el clima", publicado en 2006 y que se recoge en el libro *De lo Mecánico a lo Termodinámico*¹³, cita algunos ejemplos tradicionales de arquitecturas en las que la función y la forma surgen a partir del clima:

El patio como espacio central característico de la planta de las viviendas de las regiones desérticas. Se trata de un espacio exterior protegido de las tormentas de arena, con dimensiones relativamente modestas. Al carecer de un uso específico en origen, su función varía según las culturas y las épocas: lugar donde se recoge el agua de lluvia, espacio de servicio, de acceso, jardín, etc. Su uso también puede variar del día a la noche, en función de los cambios térmicos.

Las casas de los barrios antiguos en Bagdad. Son una serie de espacios en sección, del sótano a cubierta, con temperaturas que varían de 30°C en el sótano a 50°C en la cubierta. Los niveles de humedad siguen una progresión inversa, que disminuye a medida que uno se eleva, del 70% en planta sótano hasta un 15% en cubierta. En función de la hora del día y la estación, los habitantes se desplazan entre el "sirdab" (sótano) y el "talar" (galería en la cubierta), en búsqueda del calor o el fresco. 4.2 y 4.3

Lo que interesa es crear espacios donde la función no sea preestablecida, más bien, hacer posible que su uso dé respuesta a los condicionantes climáticos.

¹² Philippe Rahm (Pully, 1967), arquitecto suizo que utiliza como herramientas de composición arquitectónica fenómenos climatológicos (radiación, conducción, convección, evaporación, etc).

¹³ De lo mecánico a lo termodinámico. Javier García-Germán. Editorial: Gustavo Gili. Barcelona, 2010.

05 Arquitectura Solar

El Sol, fuente de vida, proporciona una energía extraordinaria por ser una fuente infinita y limpia. En condiciones de invierno, la fuente de energía térmica natural por excelencia es la radiación solar, la mayoría de los sistemas pasivos se basan en la captación, acumulación y distribución de la energía solar.

La Arquitectura Solar se basa en mantener una temperatura de confort en el interior de la vivienda por medio del Sol, durante todos los días del año. Una correcta tecnología solar pasiva, minimiza el uso de las tecnologías basadas en combustibles fósiles.

La clasificación de las estrategias pasivas de captación de la energía solar que recoge el libro *Arquitectura Bioclimática en un entorno sostenible*¹⁴, se basa en la forma en la que se realiza:

Directa, si la energía penetra en el edificio en el mismo momento en el que incide sobre su cerramiento exterior.

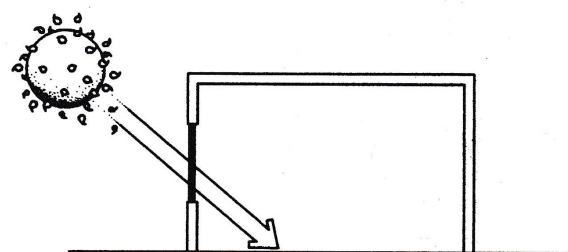
Retardada, si entre el momento en el que se recibe la energía y en el que se aprovecha, media un periodo prolongado de tiempo, como consecuencia de una acumulación previa. Esta clasificación admite las siguientes distinciones:

Sistemas de captación directa: Se limita a la disposición de suficiente superficie acristalada correctamente orientada. **5.1**

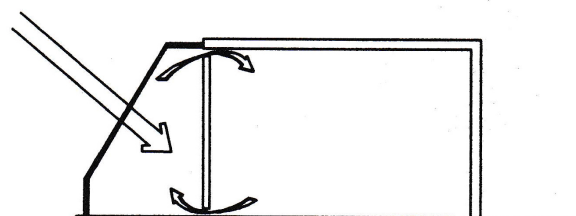
Sistemas de captación directa con lazo convectivo: precisa de un sistema intermedio, en el que se produzca la captación de la radiación solar, y un elemento que lo separe de la habitación con aberturas para poder crear una corriente de aire caliente. El aire caliente asciende y pasa a la habitación colindante por las aberturas superiores, creando una ligera depresión en ese espacio que succiona aire frío de la habitación contigua a través de las aberturas inferiores. Ese aire, a su vez, se calentará y se repetirá el proceso. Ejemplo: **Invernaderos Adosados**. **5.2**

Sistemas de captación retardada por acumulación: consiste en elementos verticales u horizontales opacos a la radiación solar, que la acumulan directamente por su cara exterior. El proceso de transferencia de calor hacia el interior es lento ya que se produce por conducción. **5.3**

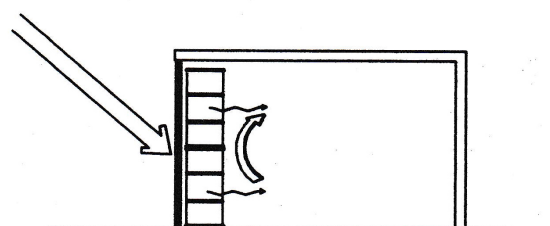
Sistemas de captación retardada con acumulación y lazo convectivo: Una vez que la radiación ha atravesado el vidrio, incide sobre el muro calentándolo, cediendo, posteriormente, el calor por convección al aire que ocupa la pequeña cámara confinada por el vidrio. El aire, al calentarse, asciende por convección natural y, atravesando el muro por los huecos superiores, pasa al interior del local. El aire frío circula por los orificios inferiores pasando a calentarse nuevamente. Ejemplo: **Muro Trombé**. **5.4**



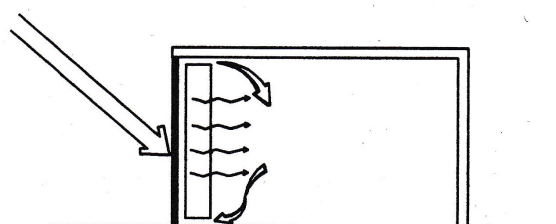
5.1 Esquema de captación directa.



5.2 Esquema de captación directa con lazo convectivo.



5.3 Esquema de captación retardada por acumulación.



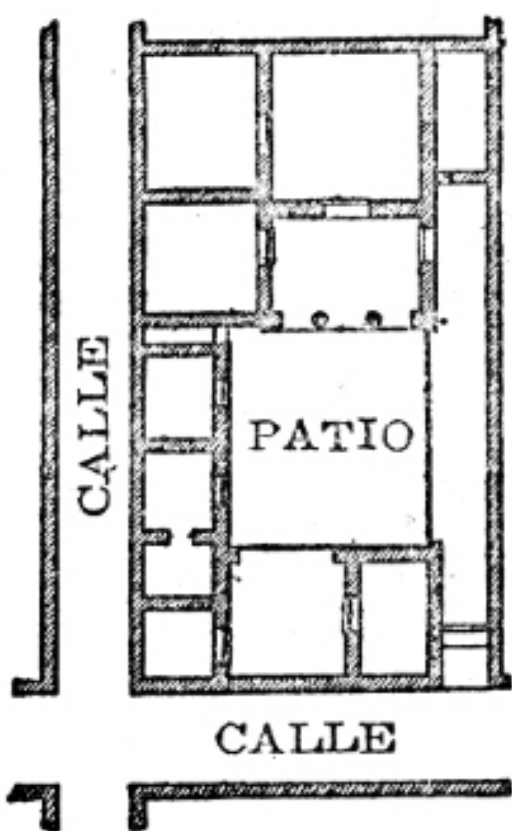
5.4 Esquema de captación directa con acumulación y lazo convectivo.

¹⁴ Arquitectura Bioclimática en un entorno sostenible. F.Javier Neila González, Editorial: Munilla-Lería, Marzo 2004.

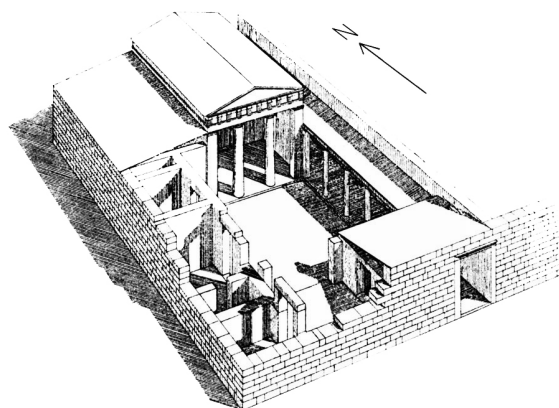
06 Historia de la Arquitectura Solar

El uso y la consideración del curso del Sol para el diseño de las casas ha ido evolucionando a lo largo de miles de años.

Arquitectura Solar en GRECIA



6.1 Planta típica de casa griega con patio central que permitía la autonomía de cada alojamiento.



6.2 Típica casa griega con pórtico orientado hacia el Sur.

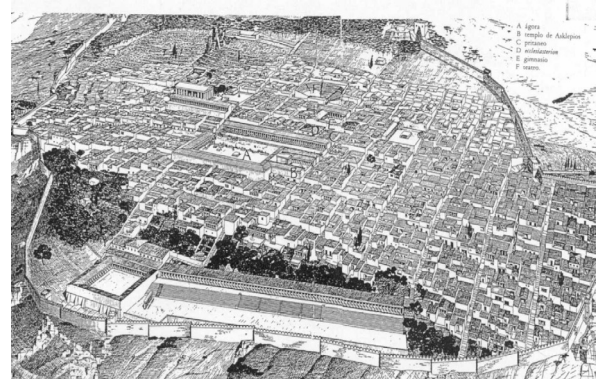
La cultura griega comenzó hace unos 2.500 años a diseñar sus hogares para la captación de la radiación solar durante el invierno. Las casas orientadas hacia el Sol recibían la energía solar, haciéndola útil en invierno y evitándola en verano. Para Sócrates, la casa ideal debería ser fresca en verano y cálida en invierno.

Los griegos carecían de medios artificiales para refrescar sus casas durante los calurosos veranos; y sus sistemas de calefacción, braseros portátiles de carbón, no eran capaces de mantener adecuadamente el calor en el interior de sus viviendas durante el invierno. En el siglo V a.C., numerosas zonas del país quedaron casi totalmente vacías de árboles por el elevado empleo del carbón. En el siglo IV a.C., numerosas ciudades-estado regularon su uso.

Como consecuencia de la reducción del empleo del carbón, el uso de la energía solar constituyó una respuesta positiva para el calentamiento de los hogares griegos. Aprendieron a construir sus casas (megaron) para beneficiarse de los rayos solares en los inviernos moderadamente fríos y a evitarlos en los calurosos veranos. La técnica griega consistió fundamentalmente en entender la variación de la altura del Sol a lo largo de las diferentes estaciones del año, es decir, en saber cómo variaba la inclinación de los rayos solares. En verano el Sol es alto al mediodía, mientras que en invierno, el Sol recorre una trayectoria más baja. Por tanto, bastaba con anteponer en las fachadas de las casas un pórtico cuya altura y profundidad formaran un triángulo de unos 80 grados de inclinación en la hipotenusa para que la fachada quedara libre de Sol durante el verano. Además, si el espacio libre delante del pórtico era tal que la anchura y altura del edificio de enfrente formaba un triángulo cuya hipotenusa no era mayor a 26 grados, la vivienda estaría adecuadamente soleada en invierno. **6.2**



6.3 Plano de planta de la ciudad de Priene, 200 a.C.



6.4 Vista de la ciudad de Priene, 200 a.C.

En el diseño solar griego eran importantes dos aspectos: la proporción del pórtico y la relación con el edificio contiguo. Este segundo desarrollo fue posible por el patio central de cada una de las casas que permitía la total autonomía de cada alojamiento. El megaron comportaba una disposición longitudinal con una orientación Norte-Sur con el pórtico con columnas hacia el Sur. 6.1

Los griegos no disponían ni de vidrio ni de otros materiales análogos para los huecos. Las habitaciones principales de la casa daban hacia el porche cubierto, durante el invierno eran calentadas por los rayos del Sol y además estaban resguardadas del norte para evitar los fríos vientos. Sócrates explicaba el sistema: “*En las casas orientadas al sur, el Sol penetra por el pórtico de invierno, mientras que en el verano el arco solar descrito se eleva sobre nuestras cabezas y por encima del tejado, de manera que hay sombra*”¹⁵.

Las calles siempre se orientaban de Este-Oeste, incluso, el diseño solar era prioritario sobre cualquier otra consideración, tal y como ocurre en la ciudad de Priene. Los urbanistas de la ciudad aterrizaron las calles Este-Oeste, a pesar de su exaltada topografía. Todas sus casas, cualquiera que fuese su tamaño estaban diseñadas de acuerdo con el principio geométrico de la orientación solar. 6.3 y 6.4

Arquitectura Solar tras el **IMPERIO ROMANO**

Durante el Renacimiento, la moda de la civilización clásica fue implantada en Italia. Los arquitectos copiaron las formas externas de los edificios pero ignoraron por completo los principios solares, desaprovechando la oportunidad de calentarlos con la ayuda del Sol. Los arquitectos europeos, que trabajaban para la alta sociedad, ignoraron los principios de la orientación solar.

Sin embargo, la idea de orientar las casas hacia el sur no fue olvidada en la arquitectura popular, ni en Grecia, ni en Turquía, ni en el norte de África. En España también se tenía presente el clima y se construían las casas con gruesos muros de piedra o adobe, donde éstos materiales ayudaban a mantener los edificios templados en inviernos y frescos en verano por efecto de la alta masa térmica. **6.7**

Durante el siglo XIX, con la llegada de La Revolución Industrial, se produjo un descontrolado y rápido crecimiento de las ciudades. Las condiciones de éstas en Europa eran pésimas, con viviendas de ínfima calidad constructiva, hacinadas, orientadas de cualquier modo y con carencias de sistemas de ventilación e iluminación adecuadas. El trazado urbano junto con las altas densidades generadas por la especulación inmobiliaria, no permitían al arquitecto individual diseñar los edificios con la calidad ambiental adecuada.

La aparición de edificios de gran altura durante el Movimiento Moderno, supuso la negación del acceso del Sol a las viviendas más bajas. Además, las grandes superficies acristaladas aparecían en cualquier orientación, provocando enormes ganancias de calor en verano y grandes pérdidas energéticas en invierno, con la consiguiente necesidad de habilitar a los edificios de equipos de calefacción y refrigeración. En los años cincuenta, con la energía fósil cada vez más barata, no importaba la contribución solar para rebajar el uso de la calefacción. La creciente popularidad de la calefacción y los sistemas de ventilación mecánicos llevó a una pérdida de interés total por la arquitectura solar para finales de los años cincuenta, al margen de ejemplos muy aislados. **6.8**

La escasez de combustible en algún tiempo y lugar ha estimulado a la búsqueda de alternativas energéticas pasivas, como la técnica solar. Aunque el Sol es fuente de energía indefinida, la arquitectura solar ha sido olvidada cada vez que se descubría una nueva fuente de combustible no renovable abundante. Como hemos visto a lo largo de la historia, el desarrollo o la interrupción de la evolución de la técnica de la arquitectura solar depende completamente de la economía del momento.



6.7 Casa realizada con muros de piedra en el S.XVII, Casa en Buerba, Huesca.



6.8 Apartamentos Lake Shore Drive, Mies van der Rohe, 1949-51. Las fachadas de las torres son iguales, sin privilegiar orientaciones ni visuales.

07 Evolución de los Invernaderos



7.1 Imagen de un Orangerie. Palm House, Viena, Austria. 1882.



7.2 Imagen interior del invernadero situado en los terrenos que actualmente ocupa el Museo del Traje en Madrid. Fecha indeterminada.



7.3 Ejemplo de invernadero con ventilación superior central.

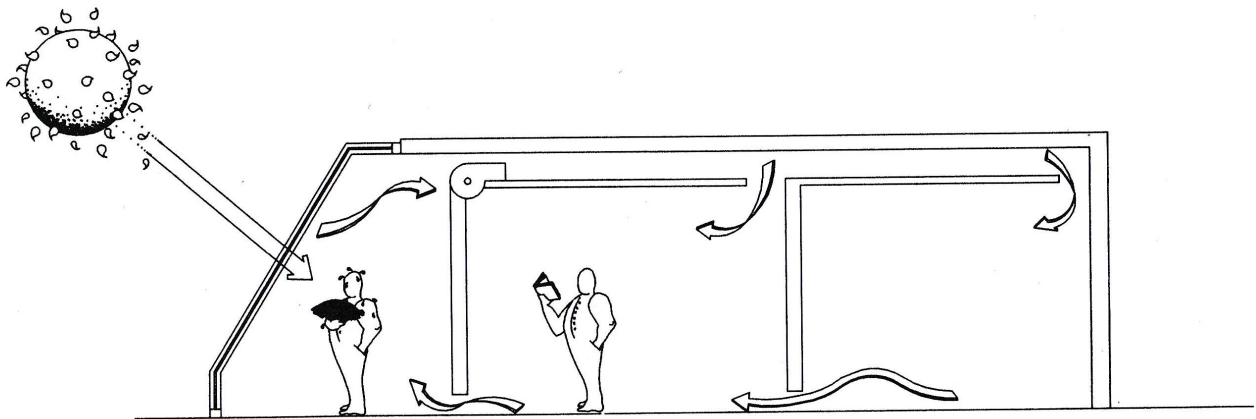
Con la aparición del vidrio plano en la época romana del siglo I, este material se comenzó a emplear como colector solar en invernaderos, a fin de multiplicar el número de cosechas al año y para poder cultivar plantas exóticas.

Sin embargo, el vidrio plano no se volvió a usar como colector solar hortofrutícola hasta el siglo XVI. Ya sea por la falta de material en una economía muchas veces de subsistencia, o por la prohibición eclesial que impedía cualquier intromisión humana en el crecimiento de las plantas (naturaleza), su uso fue decayendo. Tras la Reforma, liberados ya de la autoridad de la Iglesia Católica y la Inquisición, holandeses y flamencos comenzaron a usar los invernaderos.

En el siglo XVII comenzaron a estar de moda en Europa los “orangeries”, eran invernaderos usados para cultivar el naranjo, con amplias ventanas de cristal en el lado sur para permitir la mayor entrada de luz y captación solar hacia las plantas. **7.1**

Cada vez más había un mayor interés por conservar la energía en el interior de los invernaderos, por lo que aparecieron nuevos elementos de aislamiento como contraventanas, toldos y cortinas.

También hubo especial interés en el diseño adecuado de las ventanas en los invernaderos, que favorecían la ventilación e incrementaban el número de renovaciones de aire en el interior. Se afinaba también la inclinación del vidrio según la latitud del lugar, a fin de captar el mayor número de radiación solar en las épocas más frías.



7.4 Distribución mecánica del aire caliente desde el invernadero al resto de locales.

En el siglo XVIII el uso del invernadero pasó de la horticultura a la vivienda, primero como espacio que servía de aislamiento respecto al espacio exterior, después como habitación para algunos usos tales como juegos, descanso, lectura; incorporado ya en la propia vivienda en forma de estufa o salón con acristalamiento en la cubierta y/o en los muros laterales. **7.4**

En el siglo XIX la popularidad de las estufas fue tal, que ya no se prestaba atención a la correcta orientación. Se acristalaba la fachada en cualquier caso, aunque la orientación no fuese adecuada, y se recurría a sistemas de calefacción basados en el carbón o gas. Los invernaderos de las casas ya no se calentaban mediante los rayos solares procedentes del sur, sino que contaban con sistemas de calefacción artificial. Pasaron de ser un espacio ahorrador de energía a un espacio despilfarrador de combustible.

Un invernadero adosado a un muro de fachada orientada a Sur puede ser utilizado para calentar el interior de las viviendas en invierno; por el contrario, en los días de verano o cuando la temperatura en el interior es demasiado alta, el aire caliente se debe conducir hacia el exterior. La ventilación y sobrecalentamiento de dicho espacio es fundamental para conseguir un funcionamiento óptimo y un confort adecuado en el interior de la vivienda. **7.5 y 7.6**

Un invernadero mal orientado o diseñado puede convertirse en una fuente de calor innecesaria y por tanto poco confortable.



7.5 Invernadero adosado a fachada. Casa Latapie en Floirac-Burdeos, Francia. Lacaton&Vassal, 1991-93.



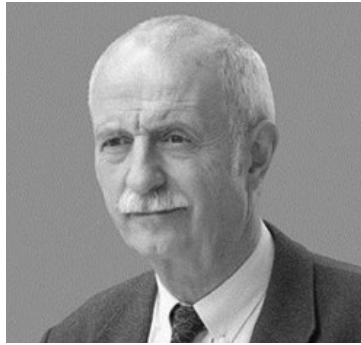
7.6 Interior de espacio de invernadero. Casa en Dordogne, Francia. Lacaton&Vassal, 1997.

08 Thomas **HERZOG**

Pieles Arquitectónicas Avanzadas



Thomas HERZOG



8.1 Thomas Herzog.

Herzog, Thomas

nació en Munich en 1941. Estudió arquitectura en la Universidad Técnica de Munich, donde estableció su propio estudio de arquitectura en 1971. De 1974 a 2006, Thomas Herzog fue profesor de universidad, en primer lugar, en Kassel, más adelante en Darmstadt y Munich. Desde 2003, ha estado ejerciendo como profesor visitante en la Escuela Politécnica Federal de Lausana (EPFL) y en la Universidad de Tsinghua en Beijing.

Thomas Herzog está considerado como uno de los fundadores de la Arquitectura Bioclimática ya que en 1996, en una conferencia en Berlín, promovió y fue el autor de “la Carta Europea para la Energía Solar en Arquitectura y Urbanismo”, donde participaron treinta ilustres arquitectos como Norman Foster¹⁸, Richard Rogers¹⁹ y Renzo Piano²⁰, entre otros.

En ella se resumen todas las cuestiones importantes que intervienen en la construcción sostenible: considerar las condiciones climáticas del lugar, el uso de materiales reciclados y el empleo de energías renovables en cada parte del proceso constructivo, en especial la energía solar.

Norman Foster en 1993, en la presentación de la Conferencia sobre Energía Solar en Arquitectura y Urbanismo afirmó: “*La arquitectura solar reúne dos de las más potentes fuentes de inspiración de la arquitectura: tradición y tecnología (...) La arquitectura solar debería constituir la verdadera arquitectura popular de nuestros días*”²¹.

La arquitectura de Thomas Herzog siempre ha estado muy relacionada con la energía del Sol en todos sus niveles y escalas. Para Herzog, los puntos de partida de su obra arquitectónica son la ubicación y el clima.

Otro elemento fundamental en sus obras es el cerramiento del edificio ya que su función consiste en mediar entre dos variables, la protección de las inclemencias del clima exterior y proporcionar el bienestar de sus ocupantes con un clima interior de confort. Thomas Herzog lo explicaba así en una entrevista: “*Pienso (...) en el ejemplo de un tulipán que se abre y se cierra todos los días, o una reacción como la que se puede observar cuando los organismos vivos cambian su comportamiento en relación a las condiciones climáticas locales*”²².

¹⁸ Norman Foster (Manchester, 1935), arquitecto británico cuya arquitectura se caracteriza por el “High-tech”, apoyada por la innovación, la tecnología y los materiales industrializados.

¹⁹ Richard Rogers (Floencia, 1933), arquitecto británico que durante su carrera profesional ha seguido una tendencia ligada a la “alta tecnología” y al concepto del edificio como máquina, relacionando arquitectura y medio ambiente, cultura y sociedad.

²⁰ Renzo Piano (Génova, 1937), arquitecto italiano sigue la línea de la “arquitectura sostenible” al buscar en sus edificios un importante ahorro energético, apoyada por una estructura innovadora y materiales de alta tecnología.

²¹ Norman Foster. “Preface. 3 rd European Conference on Architecture. Solar Energy in Architecture and Urban Planning”. Proceedings of an International Conference. Florence. Ed. 1993. Pág. III. Margarita De Luxán García de Diego. Prestigio, Arquitectura y Sostenibilidad. Pág 6. Madrid, 3/7/2007.

²² Thomas Herzog hablando con Nikolaus Kuhnert y Angelika Schnell. Energien gestalten. En Arch+126, 1995. D&A. Dialogue with the sun. Autumn 2013. Pág 12.

En cuanto a la “composición” para el diseño de los cerramientos de sus edificios, dos cosas son esenciales para Herzog: en primer lugar, el uso adecuado de los materiales en cada emplazamiento es algo primordial desde la antigua Grecia, además de que todos ellos deben encajar a la perfección en el aspecto general del edificio; y en segundo lugar, los sistemas técnicos en arquitectura deben ser visibles por los observadores y ocupantes con el fin de transmitir su función. *“Abogo (...) que la tecnología/los sistemas técnicos en arquitectura deberían ser mostrados, no ocultarlos para que la gente pueda entender los procesos involucrados y por lo tanto puedan ser persuadidos a pensar en el consumo de la energía del edificio, por ejemplo”*²³.

Básicamente la forma de su trabajo está muy en deuda con el principio del modernismo de “la forma sigue a la función”. Fue él quien revivió esta idea en la era de la ecología (Siglo XXI) mediante la búsqueda de nuevas soluciones en todos los niveles de la arquitectura, desde la planificación urbana a los detalles de fachadas. Sin embargo, él describe sus soluciones como “formas funcionales eficientes” e ilustra con esta frase lo que está impulsando como arquitecto y profesor retirado a sus 74 años: *“Reinventar el arte de construir con el fin de salvar el planeta”*²⁴.

*“¿Los arquitectos hoy en día todavía tienen el poder de ejercer su influencia social?”*²⁵. El mismo Herzog planteó esta pregunta sin respuesta en una entrevista en 2.009. Sin embargo él confía: *“Creo mucho en el poder del ejemplo. (...) Debemos utilizar nuestro conocimiento y competencia para obtener las ideas correctas y mostrar el camino a seguir hacia adelante con el éxito y con la ayuda de ejemplos bien diseñados. Entonces ya no podrá nadie decir que no puede hacerse”*²⁶.

A continuación se describen tres obras de Thomas Herzog: una vivienda unifamiliar en Regensburg (Alemania), dos viviendas unifamiliares adosadas en Pullach (Alemania) y un hostel para jóvenes en Windberg (Alemania). En todas se reflejan técnicas de diseño solares. Mediante el análisis de estos trabajos, el presente documento procura destacar la importancia que tienen todos los elementos en el diseño de cada edificio para lograr una arquitectura más eficiente: su forma geométrica, orientación, tipo de materiales usados, estructura, sistemas de calefacción y refrigeración, programa y organización de los espacios, etc.

23 Thomas Herzog en una entrevista de Aller Lasten Anfang. En xia intelligente architektur. 07-09/2012. D&A. Dialogue with the sun, pág 8. Autumn 2013.

24 D&A. Dialogue with the sun, pág 4. Autumn 2013.

25 Thomas Herzog hablando con Jana Revedin, 2009. D&A. Dialogue with the sun, pág 11. Autumn 2013.

26 Thomas Herzog hablando con Jana Revedin, 2009. D&A. Dialogue with the sun, pág 11. Autumn 2013.

REGENSBURG HOUSE

Thomas Herzog

1977-79

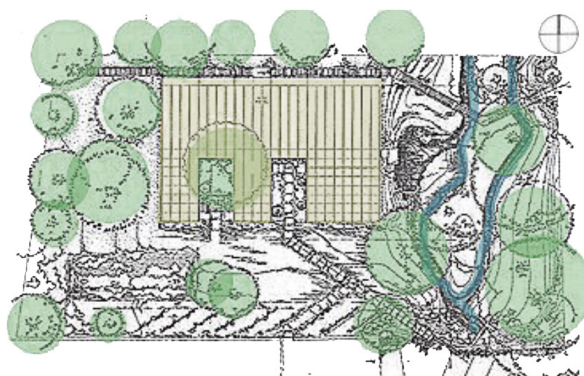


Situación: Ratisbona (Regensburg).

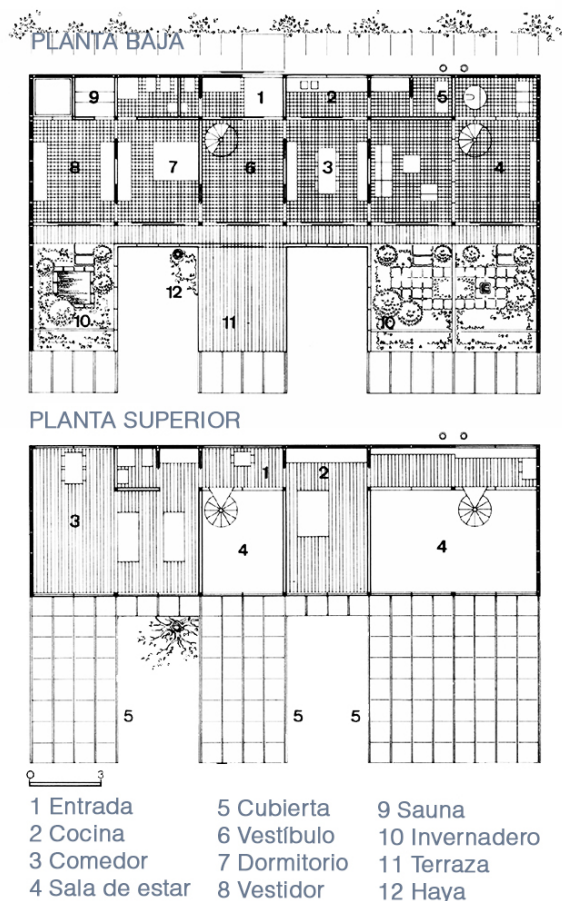
Es una ciudad situada en el centro-este del estado federado de Baviera en Alemania, en la confluencia de los ríos Danubio y Regen.

Clima: El verano es seco con fuertes tormentas ocasionales y el otoño e invierno es frío. En éstos meses, la nieve es escasa y la niebla (niebla alta) es bastante frecuente dando la sensación de estar nublado. Los meses más cálidos son de junio a agosto con medias de 16,2°C a 18°C y los meses más fríos son de diciembre a febrero con -0,9°C a -2,7°C de media.

8.2 Situación Ratisbona (Regensburg) en Alemania.



8.3 Plano de Emplazamiento Regensburg House.



8.4 Plantas Regensburg House.

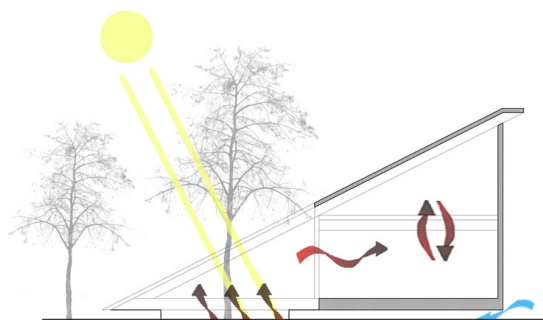
La residencia situada entre numerosos edificios de los años 50, se encuentra a dos metros por debajo del nivel de la calle. Su emplazamiento es distinguido por contener enormes hayas alrededor de la casa y un pequeño arroyo. 8.3

La vivienda tiene forma triangular en sección, con una cubierta inclinada hacia el Sur que baja hasta el suelo. En su zona de menor ángulo está acristalada y el espacio que encierra es denominado como “sunspace”. Éste sirve como captador de energía solar y transmisor térmico. 8.9 En la zona de mayor ángulo, la cubierta es de cinc y es en este espacio donde se sitúa la vivienda.

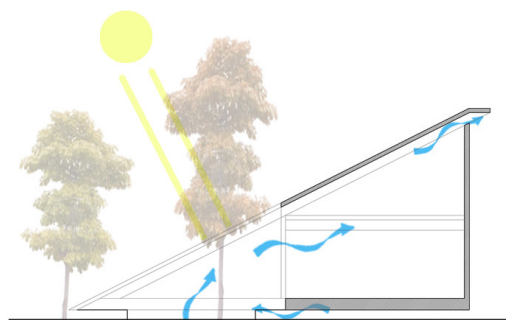
La casa formada por dos plantas se dispone en zonas paralelas: al sur, el acceso y los invernaderos donde se capta la energía solar; al norte, los espacios auxiliares e instalaciones de servicios; y en la zona central, los espacios vivideros y de continuo uso. Las zonas invernaderos, además de ser espacios captadores de energía solar, son terrazas exteriores protegidas del ambiente exterior frío. Son espacios intermedios termales, abiertos pero más cálidos que el exterior y sirven a su vez, como ampliaciones de las salas de estar interiores. Las estancias se abren hacia el sur (hacia los espacios de invernaderos) a través de grandes áreas vidriadas. 8.4

La casa Regensburg se asienta sobre una plataforma elevada ligeramente del terreno y sostenida sobre pilotes metálicos. El contacto directo con el suelo es mínimo, lo que permite mantener el modelo de drenaje existente del terreno. El diseño responde a su contexto inmediato ya que se tiene en cuenta la posición de las hayas existentes; incluso una de ellas se encuentra integrada en la zona de invernadero. Thomas Herzog cree que la arquitectura debe de ser neutra y que permita un correcto desarrollo de la naturaleza.

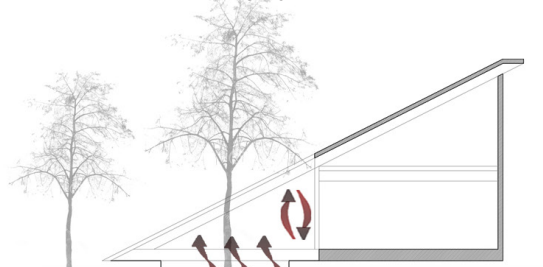
Las fachadas revestidas de madera de pino de Oregón hacen que la casa quede perfectamente integrada en el entorno. 8.10



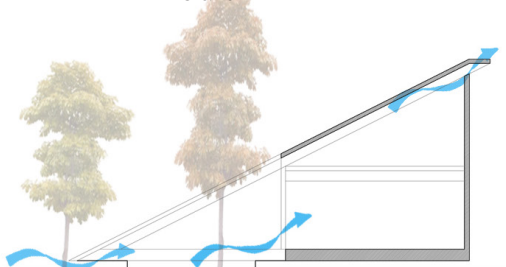
INVIERNO DIA **8.5** Esquema climático de funcionamiento en los días de Invierno.



VERANO DIA **8.7** Esquema climático de funcionamiento en los días de Verano.



INVIERNO NOCHE **8.6** Esquema climático de funcionamiento en las noches de Invierno.



VERANO NOCHE **8.8** Esquema climático de funcionamiento en las noches de Verano.

El pavimento es de madera en la zona de invernaderos y de piedra caliza natural en las zonas interiores. **8.11**

En invierno, durante el día, la radiación solar penetra a través de la cubierta inclinada transparente hasta las zonas de invernadero, donde el aire se calienta. La plataforma exterior sobre la que se asienta la casa (revestida de madera) transfiere el calor al terreno, compuesto por rocas naturales, que por su gran masa térmica mantienen el calor durante todo el día. En los espacios interiores, los rayos solares penetran en el interior gracias a los grandes ventanales que se abren hacia las zonas de invernadero. **8.5**

El pavimento de piedra de caliza natural de las zonas interiores ayuda a favorecer y mantener la calefacción radiante. Y las fachadas revestidas de madera de pino consiguen conservar el calor en el interior de la vivienda al tratarse de un material muy buen aislante térmico. **8.10**

Por la noche, la masa termal del terreno bajo la plataforma de madera irradia el calor absorbido durante el día y lo libera despacio; consiguiendo así una temperatura mayor al ambiente exterior en los espacios invernadero. **8.6**

El haya situada en la zona de invernadero, juega un papel muy importante durante los días calurosos de verano ya que proporciona sombra a la cubierta y protege a todos los espacios del calentamiento excesivo de los rayos solares. La plataforma sobre la que se asienta la casa se encuentra levantada del terreno, lo que permite la refrigeración bajo el edificio gracias a las corrientes de aire que se producen. **8.7**

Durante la noche, se pueden producir ventilaciones naturales cruzadas a través de los grandes ventanales del sur y por el alero de la cubierta. **8.8**



8.9 Cubierta inclinada acristalada Regensburg House, orientación Sur.



8.10 Fachada Este Regensburg House, revestida de madera de pino de Oregon.

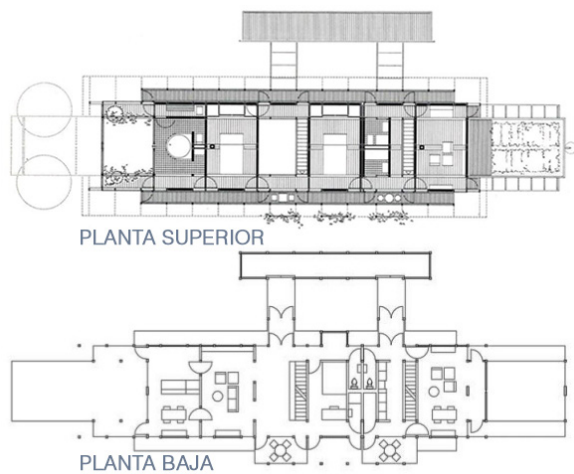


8.11 Espacio Invernadero Regensburg House. Plataforma exterior revestida de madera situada sobre el terreno compuesto por rocas.

TWO-FAMILY HOUSE

Thomas Herzog

1986-89



8.13 Plantas Two-Family House.

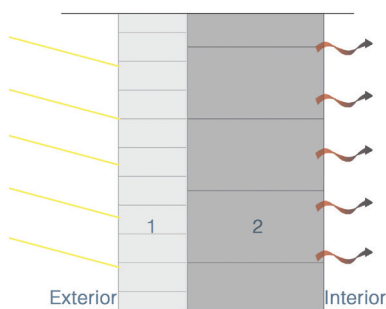
El edificio se sitúa en una gran pradera lindada al norte y al sur por líneas de altos árboles de hoja perenne. Esto permitió a Herzog colocar el edificio pegado a la línea de árboles del norte para protección de los vientos más fríos de invierno y abrirlo totalmente hacia el sur para una mayor captación solar.

Herzog toma de referencia una construcción vernácula del lugar para el diseño de este edificio. Se trata de un granero tradicional alpino formado por dos plantas y sótano, galerías peatonales alrededor de los espacios centrales de almacenaje y voladizos que sobresalen en sus cuatro lados para evitar la acumulación de nieve y humedad en el espacio central. La estructura del granero alpino está bien adaptada al clima frío y su construcción se realiza con madera autóctona. En base al esquema del granero, Herzog diseña las viviendas a partir del clima y de su contexto más inmediato. 8.17

El edificio alargado se sitúa en dirección este-oeste y alberga dos viviendas unifamiliares. La cubierta inclinada a dos aguas de metal corrugado cubre los espacios interiores de las viviendas. En los lados norte y sur se disponen voladizos vidriados que se apoyan sobre una pequeña subestructura de madera. Al oeste se sitúa un espacio invernadero y al este, la casa termina en un garaje abierto cubierto.

Las viviendas están formadas por dos plantas y sótano excavado bajo el espacio central de la casa. El edificio se construye con una crujía central ancha donde se sitúan las estancias de las viviendas y dos crujías laterales estrechas que son galerías exteriores de circulación. Cada planta está dividida transversalmente en seis espacios iguales, las estancias se abren hacia el sur y se cierran totalmente hacia el norte, donde se sitúan las zonas de almacenaje. 8.18

Toda la estructura del edificio es de madera laminada. El revestimiento exterior de la casa es típico de esquemas de calefacción pasivos: la pared norte es totalmente opaca y está construida con hormigón prefabricado con un aislamiento en su cara interior de 150 mm. Al sur la fachada está formada por vidrios dobles y muros trombé. Esta pared se diseña con el objetivo de captar la máxima radiación solar posible de manera directa. 8.19



1. Aislamiento translúcido 150 mm
3. Prefabricados de hormigón 300 mm.

8.14 Esquema funcionamiento Muro Trombé.

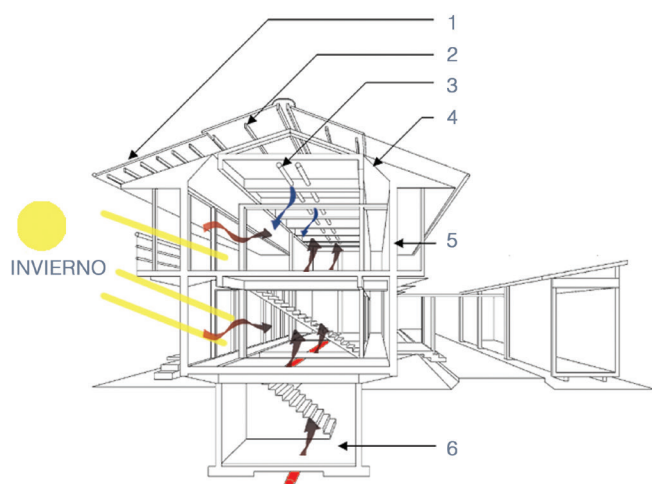


8.12 Situación Pullach en Alemania.

Situación: Pullach, en Alemania, es un suburbio al Sur de la ciudad de Munich. Situada a unos 65 kilómetros al norte de la frontera Austriaca y de los Alpes.

Clima: El clima es caracterizado como frío con precipitaciones y nevadas abundantes de Noviembre a Abril. Durante el invierno hay muy pocas horas de Sol y la temperatura es fría de unos $-12,5^{\circ}\text{C}$ de media. Los veranos son moderados con una temperatura media de $17,4^{\circ}\text{C}$.

En invierno, durante el día y con el sol bajo, los rayos solares penetran hasta el interior de las viviendas a través de la fachada sur hasta alcanzar sus paredes a norte, con lo que evita el problema de las asimetrías de temperaturas en invierno. Prácticamente toda la fachada es transparente, excepto cuatro crujías opacas que están construidas por muros trombés. Estos se constituyen de paneles prefabricados de hormigón pintados de negro con aislamiento térmico translúcido exterior. Los elementos translúcidos absorben la energía de los rayos solares durante el día, el calor se acumula en los elementos prefabricados de hormigón por su alto



1. Techo de metal corrugado
2. Vigas de madera
3. Conductos para renovación de aire

8.15 Esquema climático en Invierno.

nivel de masa termal y es transferido lentamente al interior de las viviendas durante la noche. 8.14

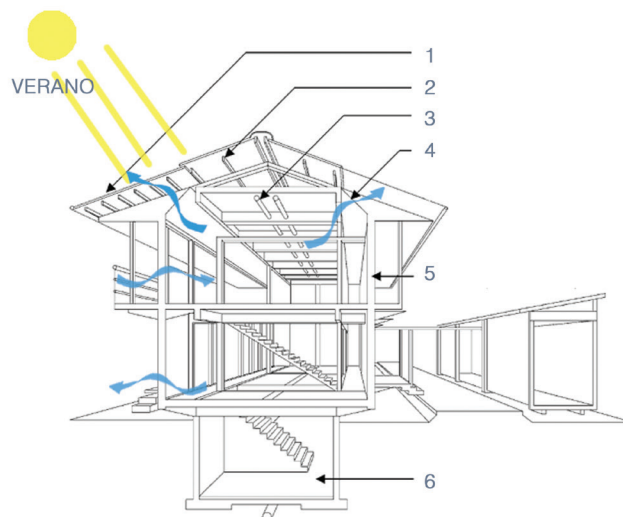
El aislamiento térmico translúcido fue una innovación tecnológica que Herzog ensayó en esta vivienda. El total de muros trombé solo ocupa 18m² en la fachada pero suministra un total del 10% de la demanda de calefacción anual. Los voladizos de vidrio de la cubierta permiten la iluminación natural de todos los espacios de la segunda planta, además de la captación de calor. 8.19

El sistema de calefacción de cada una de las viviendas está formado por una caldera convencional situada en el sótano y por radiadores que distribuyen el calor a todas las habitaciones. Además cada vivienda dispone de una estufa de leña en la sala de estar.

Mientras la casa está cerrada en invierno, la calidad del aire interior se mantiene por un intercambiador de calor aire-aire que absorbe el aire viciado del interior y lo mezcla con el aire entrante del exterior. Los conductos situados en el falso techo de la segunda planta conducen el aire desde el exterior hasta cada una de las habitaciones situadas en la segunda planta. Con esto se consigue que la calidad del aire en el interior mejore y que no entre el aire tan frío del exterior directamente a las viviendas. 8.15

En verano, el sol se encuentra alto y se produce sombra en la planta baja gracias a los balcones salientes. La planta primera se protege de los rayos solares a través de un toldo que cubre los voladizos acristalados de la cubierta.

La ventilación natural puede producirse a través de las numerosas puertas de cristal situadas en la fachada sur y en la zona de invernadero al oeste. El espacio de ático puede ser ventilado en ambas fachadas, norte y sur, a través de unas claraboyas inclinadas situadas en la parte superior del segundo piso. 8.16



4. Claraboya inclinada de vidrio doble
5. Pilares de madera laminada
6. Calefacción radiante

8.16 Esquema climático en Verano.



8.17 Granero tradicional alpino.



8.18 Fachada Este y Sur Two-Family House.



8.19 Fachada Sur Two-Family House, muros trombé y voladizos de vidrio.

GUEST BUILDING FOR THE YOUTH EDUCATIONAL CENTRE

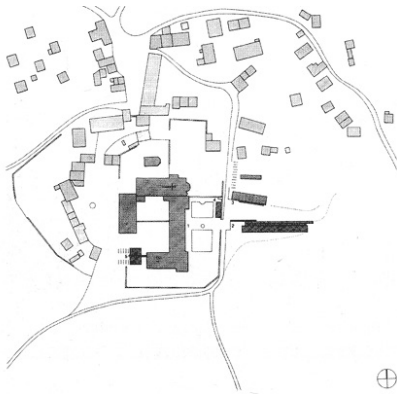
Thomas Herzog

1987-91

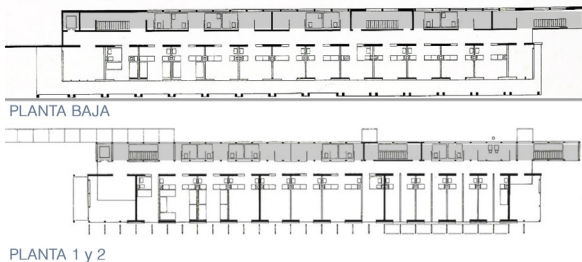


Situación: Windberg, en Alemania, es una ciudad rural situada en el distrito de Baviera.

Clima: El clima es templado con precipitaciones durante todo el año. En los meses de verano la temperatura media es de 17.7°C y el mes más frío tiene un promedio de temperatura de -2.5°C.



8.21 Emplazamiento, junto al monasterio de Windberg del S.XII.



8.22 Plantas. Estancias al Sur y zonas húmedas al Norte.



8.23 Fachada Norte con entradas acristaladas.



8.24 Fachada Sur compuesta por muros trombé y grandes ventanales.

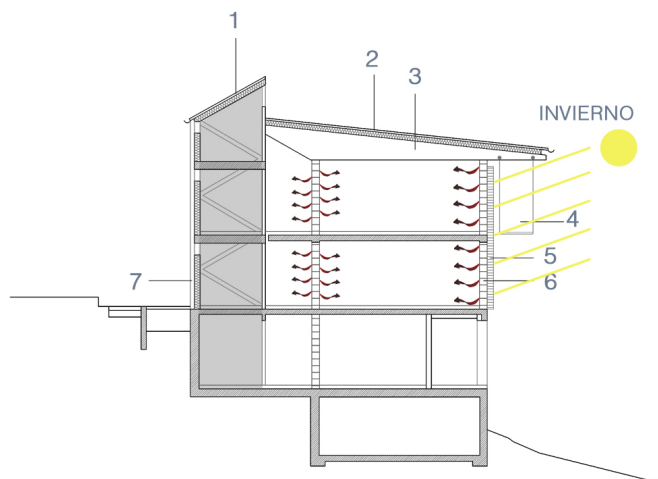
El edificio es un hostel para jóvenes con una capacidad de alojamiento de unos 100 visitantes que se sitúa junto al monasterio de Windberg del Siglo XII. Dispone de tres plantas, es alargado y está situado en dirección este-oeste. El diseño del edificio y su sistema energético está basado en un cuidadoso análisis del empleo de los espacios: las habitaciones que son usadas durante periodos largos de tiempo se encuentran separadas de aquéllas que se emplean durante cortos periodos. Se distinguen dos bloques diferenciados que se unen a través de un pasillo central. Todos los dormitorios y salas de estar se encuentran en el bloque sur, mientras que las entradas, aseos, áreas de almacenaje y las circulaciones verticales se ubican al norte. **8.22**

Ambos bloques son construidos por un esqueleto de estructura de madera con vigas visibles desde el interior. **8.30** La cubierta del lado sur es metálica y la del bloque norte es de aluminio corrugado.

La fachada sur formada por galerías exteriores, se divide alternativamente, en muros trombé y grandes ventanas con acristalamiento doble. La planta baja está formada por un pórtico de bloques de caliza de 30 cm lavados con una capa de cal. **8.24**

Las fachadas este y oeste son totalmente acristaladas y corresponden a los espacios de salas de estar y las circulaciones verticales. **8.27**

En los días de invierno, el calor solar se capta a través de la fachada sur. Los dormitorios, situados en esta orientación, se benefician de la radiación solar directa y son iluminados durante todo el día a través de las grandes ventanas. **8.31** En los dormitorios (usados durante pocas horas al día pero continuamente durante la noche con temperaturas relativamente bajas), se consigue modular la temperatura gracias a la fachada. La hoja exterior formada por aislamiento translúcido capta la energía solar y la hoja interior formada por bloques de caliza mantiene la temperatura por el alto nivel de masa termal que posee.



8.25 Funcionamiento climático en Verano.

1. Cubierta aluminio corrugado
2. Cubierta metálica
3. Viga de madera
4. Galería exterior
5. Revestimiento exterior aislante translúcido
6. Muro de bloques de caliza
7. Muro revestido de madera

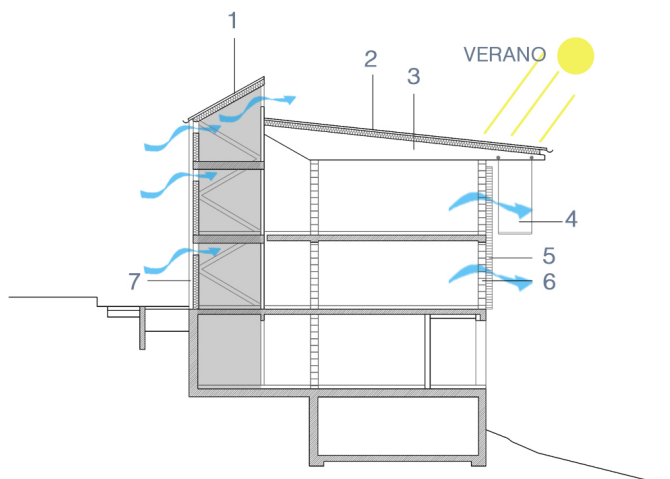
Por la tarde y por la noche cuando la temperatura exterior es más baja, las paredes compuestas por bloques de caliza irradian hacia el interior el calor acumulado durante el día. **8.26**

La fachada norte está modulada y es prácticamente opaca. Está construida con hormigón y revestida de madera en su cara exterior, con un aislamiento de lana de roca de 140 mm. Los pequeños huecos que aparecen en las zonas superiores de las fachadas son ventanas abatibles con cristales dobles, las cuales permiten la ventilación e iluminación natural de los espacios de aseos. Las entradas de acero y cristal, situadas en la zona norte, se diferencian en el exterior de las áreas principales revestidas de madera. **8.23**

El agua para la ducha u otros usos domésticos es calentada por medio de colectores tubulares situados en la zona sur de la cubierta y almacenada en seis depósitos situados en el ático. Cuando el calor de la energía solar no es suficiente, existen en el edificio dos calderas de gas que proporcionan el agua caliente sanitaria y distribuyen el calor a través de pequeños radiadores situados en la parte sur del edificio (dormitorios y salas de estar).

La parte norte está equipada por un sistema de calefacción por aire que funciona de forma rápida para proporcionar tanto calefacción como los cambios de aire necesarios en las zonas de duchas. Para minimizar las pérdidas de calor por ventilación se instala una unidad de recuperación de calor en el espacio de ático.

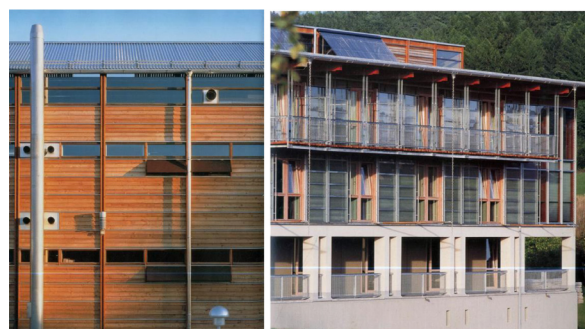
Durante el verano, los elementos como el voladizo de la cubierta, las galerías exteriores y el pórtico de la planta baja protegen las estancias orientadas hacia el sur de la excesiva ganancia solar. La fachada sur cuenta en toda su extensión con persianas exteriores que protegen del sol los grandes ventanales, lo que crea un cambio total en la percepción del edificio. Las fachadas este y oeste, donde se sitúan las salas de estar totalmente acristaladas quedan protegidas de la radiación solar de la misma manera que la fachada sur. **8.26**



8.26 Funcionamiento climático en Verano.



8.27 Fachada Este totalmente acristalada con persianas exteriores que protegen del Sol.



8.28 Fachada Norte de hormigón y revestida de madera.

8.29 Fachada Sur compuesta por muros trombé y grandes ventanales.



8.30 Interior pasillo.

8.31 Interior habitación.

09 Anne **LACATON** Jean-Philippe **VASSAL**

Edificios Invernadero



Anne LACATON

Jean-Philippe VASSAL



9.1 Jean-Philippe Vassal y Anne Lacaton.

Lacaton, Anne

nació en Saint Pardoux la Rivière, Francia, en 1955. Se graduó en la Escuela de Arquitectura de Burdeos en 1980. Ha sido profesora invitada en la Escuela Politécnica de Lausana (2004, 2006 y 2010-11), el Harvard GSD Studio Kenzo Tange de París (2010-11), la Universidad de Florida (2012), la Universidad de Buffalo-Nueva York (2013) y el Pabellón Neuflyze OBC del Palais de Tokyo en París (2013-14). Actualmente es profesora invitada en la Escuela de Arquitectura de Madrid desde 2007, e imparte clases en el GSD de Harvard.

Vassal, Jean-Philippe

nació en Casablanca, Marruecos, en 1954. Se graduó en la Escuela de Arquitectura de Burdeos en 1980. Trabajó como urbanista en Níger desde 1980 a 1985. Es catedrático de la UdK en Berlín desde 2012, y ha sido profesor invitado en la Escuela de Arquitectura de Burdeos (1992-99), la Escuela de Arquitectura de Versalles (2002-06), la Escuela de Arquitectura Peter Behrens de Dusseldorf (2005), la Escuela Politécnica Federal de Lausana (2010-11), la Universidad Técnica de Berlín (2007-10) y el Pabellón Neuflyze OBC del Palais de Tokyo en París (2013-14).

Anne Lacaton&Jean-Philippe Vassal fundaron su estudio en 1989, con sede en París. Jean-Philippe Vassal tras acabar la carrera trabajó en Níger como planificador urbanista desde 1980 hasta 1985. Las experiencias vividas por Jean-Philippe Vassal, impregnaron de gran interés a Anne Lacaton, que aunque no estuvo involucrada directamente en este trabajo, visitó el lugar muy a menudo. Esto conllevó a que África siempre estuviera presente en sus trabajos arquitectónicos. Les apasiona la habilidad de los africanos de construir con lo que se tiene, con lo esencial y la facilidad con la que consiguen relacionarse directamente con el lugar, a pesar de que existen condiciones climáticas extremas y cambiantes.

Un aspecto importante en su arquitectura es que no reside en partir de cero con cada proyecto sino que se debe intervenir en lo existente. Construir significa para ellos mejorar y revalorizar añadiendo, transformando, es decir, lo nuevo siempre surge de lo antiguo. No intentan imitar el lenguaje arquitectónico de los edificios antiguos, lo viejo y lo nuevo pueden diferenciarse claramente.

Todos sus proyectos se centran en el usuario y en alcanzar el máximo confort con el mínimo coste posible. Especialmente en la idea de ser muy respetuosos con lo existente, la relación del clima con el lugar y en cómo el habitante puede colonizar diferentes espacios dependiendo del nivel de protección, temperatura e iluminación.

Los “invernaderos habitados” son los espacios arquitectónicos de experimentación por excelencia para Lacaton&Vassal. *“El clima europeo es diferente y, en algunas épocas, no tan agradable. Para sentirse a gusto hay que adaptar climáticamente la casa. Y esta adaptación climática favorece fundamentalmente la arquitectura del invernadero (...) Una arquitectura de este tipo tiene más que ver con el vestido, todo lo contrario de lo que sucede con la arquitectura tradicional”*²⁷. Estas sencillas y económicas construcciones más relacionadas con el ámbito industrial o de la agricultura, son espacios que pueden ser pensados como organismos vivos, ya que poseen intercambios energéticos permanentes con su entorno. Esta arquitectura adaptada a las necesidades de la gente puede llegar a ser un espacio de confort.

En las obras de Lacaton&Vassal se distinguen “dos zonas climáticas”, una aislada termicamente y el invernadero, que es un “espacio extra” integrado en el volumen del edificio y que además, diluye el límite entre la arquitectura y su entorno, convirtiéndose en un espacio intermedio entre el interior y el exterior. Entre las dos zonas, unos sistemas sencillos de paso y abertura como paneles deslizantes, ofrecen la libertad de ir de un espacio a otro. El invernadero es un dispositivo con el que el usuario puede transformar el clima que le convenga, adaptándose a los cambios de estación. En invierno, el espacio invernadero puede captar el máximo de sol posible, conservar el calor y dirigirlo al interior a través de las aberturas intermedias. Por otro lado, en algunos momentos del año es imprescindible bloquear la radiación a través de elementos móviles que favorezcan el sombreado y la ventilación natural.

La creación de estos “jardines de invierno” supone la introducción de un volumen con entidad propia dentro de la vivienda sin usos preestablecidos.

Los invernaderos tienen condiciones climáticas variables y son ocupados de manera diferente según las estaciones u horas del día por unos habitantes que pueden dar respuestas flexibles a las condiciones de soleamiento, luz y temperatura que requieran. Lacaton&Vassal cuenta con el “usuario inteligente” como un elemento constructivo más integrado en el proyecto.

A diferencia de gran parte de los arquitectos contemporáneos, la forma para Lacaton&Vassal no es transcendental, “aparece por sí misma”, no es como una escultura que se deba modelar. Prefieren proyectar desde el interior al exterior basándose en programas que se extienden en el espacio.

La planta libre y la mezcla de actividades son características de sus proyectos. El programa y la estructura son independientes entre sí lo que ayuda a la transformación “libre” del espacio. A menudo trabajan en sus viviendas con el concepto de “loft”, es decir, experimentan con la ausencia de particiones. *“Un loft es tan grande que el espacio hace el papel de las particiones; puedes, por ejemplo, estar aquí y otra persona estar allí, lejos, y puede que no te encuentres nunca, o que decidas hacerlo en el centro del espacio. De algún modo no necesitas paredes porque el volumen tiene el mismo valor que las particiones”*²⁸.

La aparición sucesiva en sus proyectos de materiales económicos como los paneles ondulados de policarbonato y aluminio y los paneles de madera, no es para Lacaton&Vassal una cuestión de “ahorro”. Su objetivo fundamental en cada proyecto, es ajustarse al presupuesto existente y si consiguen ahorrar gracias a materiales y métodos constructivos de bajo coste es sólo para poder gastarlo en otra cosa. *“La economía es, ante todo, poder pagar lo que se desea (...) No partimos nunca de la idea de construir barato, sino que nos preguntamos cómo podemos obtener todo lo que queramos”*²⁹.

Un concepto muy destacado en la arquitectura de Lacaton&Vassal es su propia definición del “lujo” que para nada, está ligado al coste. Se entiende como la libertad del uso y movimiento, la calidad de vida y la gran cantidad de espacio y vistas. Este concepto se opone a cualquier minimización del espacio que tenga que ver con “la vivienda para un Existenzminimum” establecida en el II Congreso de los CIAM en 1929, tras la II Guerra Mundial con programas de construcción de viviendas sociales. Hasta hoy, ha sido aceptada la fórmula de “espacio mínimo es igual a bajo presupuesto”. Los arquitectos franceses consiguen, con el espacio extra formalizado como invernadero, construir viviendas más grandes a un precio mucho más reducido. Para Lacaton&Vassal una vivienda social se ha de definir por su precio y no por su tamaño.

A continuación se describirán tres proyectos de los arquitectos franceses. Los dos primeros proyectos que se describen son residenciales: viviendas sociales en Mulhouse (Francia) y la transformación de la torre Bois-le-prête en París. El último caso es un edificio público destinado a acoger colecciones de arte contemporáneo, el FRAC Nord-Pas de Calais.

28 Anne Lacaton. Placeres Cotidianos Una conversación con Anne Lacaton y Jean Philippe Vassal. Cristina Díaz Moreno & Efrén García Grinda. El croquis Lacaton&Vassal, pág. 12. Madrid 2015.

29 Anne Lacaton. Dos conversaciones con Patrice Goulet. Lacaton&Vassal. 2G Libros, pág. 130.

CIUDAD MANIFIESTO EN MULHOUSE

Thomas Herzog

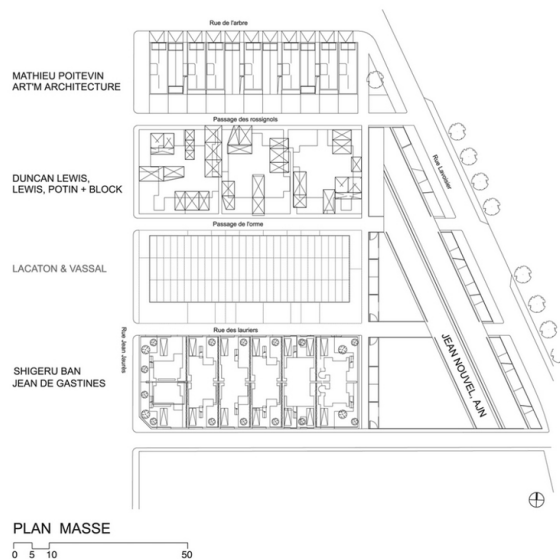
2001-05



Situación: **Mulhouse.** Ciudad situada al este de Francia junto a la frontera de Alemania y Suiza.

Clima: Cálido en verano y templado en invierno con precipitaciones durante todo el año. Durante nueve meses la temperatura oscila entre los 12°C y los 30°C. En los tres meses de invierno la temperatura oscila entre los 0°C y los 8°C.

9.2 Situación Mulhouse en Francia.



9.3 Emplazamiento.

La Ciudad Manifiesto fue el primer barrio de viviendas protegidas para trabajadores de Francia. Este conjunto residencial formado por 1.240 unidades fue construido en 1.853 en Mulhouse, (ciudad situada al este de Francia), por el ingeniero Émile Müller. Hacia finales del siglo XIX el crecimiento de la ciudad supuso la rápida integración del antiguo barrio obrero periférico al centro de la ciudad. El conjunto de viviendas adosadas rondaban unas superficies de unos 47 metros cuadrados construidos con jardines individuales. Las viviendas se fueron modificando pero muchas de ellas se encuentran deshabitadas por considerarse demasiado pequeñas.

En 2.001, se propuso la construcción de 61 viviendas como prolongación de la ciudad obrera de Mulhouse, realizadas por cinco equipos de arquitectos diferentes. **9.3**

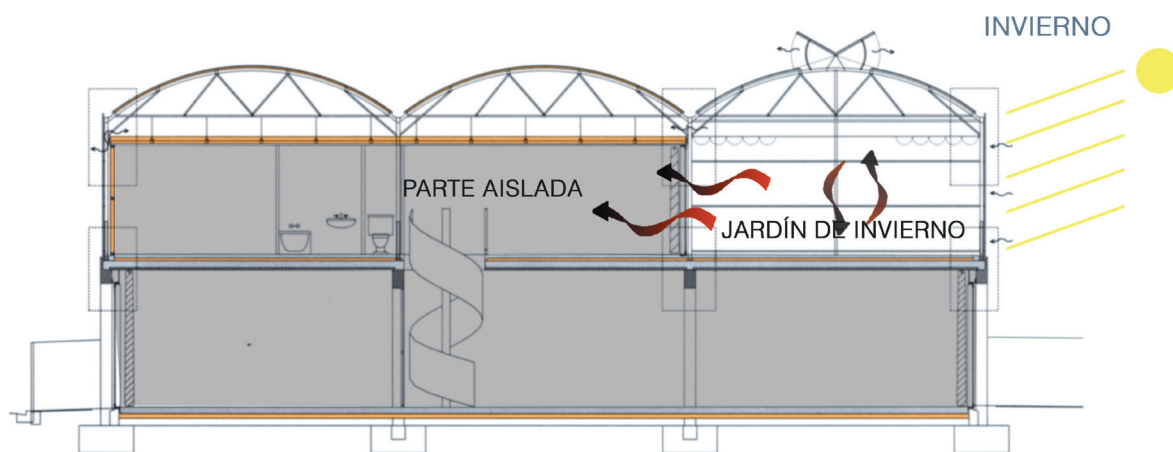


9.4 Periodo de contrucción del proyecto. Sistemas prefabricados. Cuatro pórticos longitudinales.

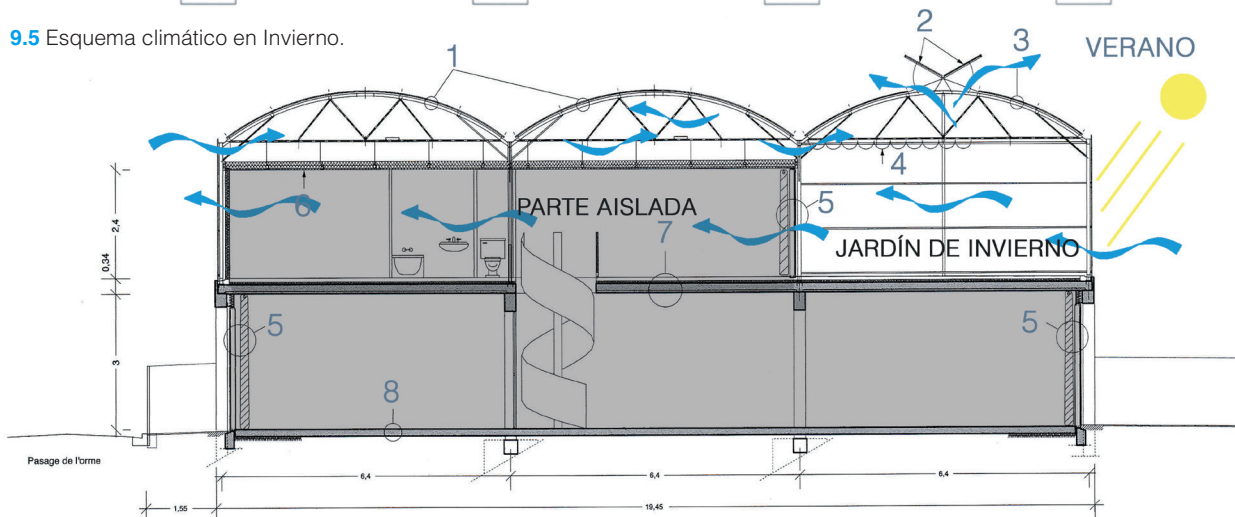
Cada vivienda dispone de dos plantas, sin embargo, ambas plantas no coinciden exactamente con su extensión. En unas, la superficie es mayor en planta alta, siendo más estrecha la planta baja; mientras que en otras, pasa lo contrario, la segunda posee una superficie menor en planta alta y mayor en planta baja.

Todas las viviendas se abren a dos fachadas y su distribución en planta se resuelve con sencillez, casi sin divisiones interiores con los elementos de servicio agrupados en un volumen central junto con la escalera. Todas tienen su acceso directamente desde la calle, garaje y jardín. Las salas de estar tienen de 5 a 7 metros de anchura y los dormitorios 3 metros. **9.9**

El proyecto se construye con sistemas prefabricados, con una estructura y envolvente sencillas y económicas. La planta baja construida con elementos prefabricados de hormigón está formada por cuatro pórticos longitudinales separados 6,40 metros con pilares de hormigón armado realizados in situ cada 7,50 metros y vigas prefabricadas. Sobre esta planta, se alzan tres largos invernaderos abovedados con estructura de acero. Dos de ellos se encuentran aislados térmicamente y pueden ser calefactados, mientras que el tercero hace las funciones de un invernadero propiamente dicho. **9.4**



9.5 Esquema climático en Invierno.



9.6 Esquema climático en Verano.

- | | |
|-------------------------------------|-------------------------------|
| 1. Policarbonato opaco | 5. Cortina térmica |
| 2. Compuerta ventilación automática | 6. Falso techo suspendido |
| 3. Policarbonato transparente | 7. Losa prefabricada hormigón |
| 4. Pantalla textil | 8. Losa de hormigón |

Sobre la base ya construida de la estructura de los espacios abovedados se fijan los bastidores que dan soporte al cerramiento de fachada. Tanto las fachadas como la cubierta de los espacios aislados térmicamente están formadas por paneles de policarbonato ondulado blanco opaco en el exterior y por paneles sandwich con aislamiento de lana de roca en el interior. El espacio de invernadero se cubre con paneles fijos y deslizantes de policarbonato ondulado transparente. Este espacio es toda una envolvente bioclimática de la que se benefician las viviendas. 9.7



9.7 Fachada oeste. Espacios abovedados aislados térmicamente y espacio invernadero.

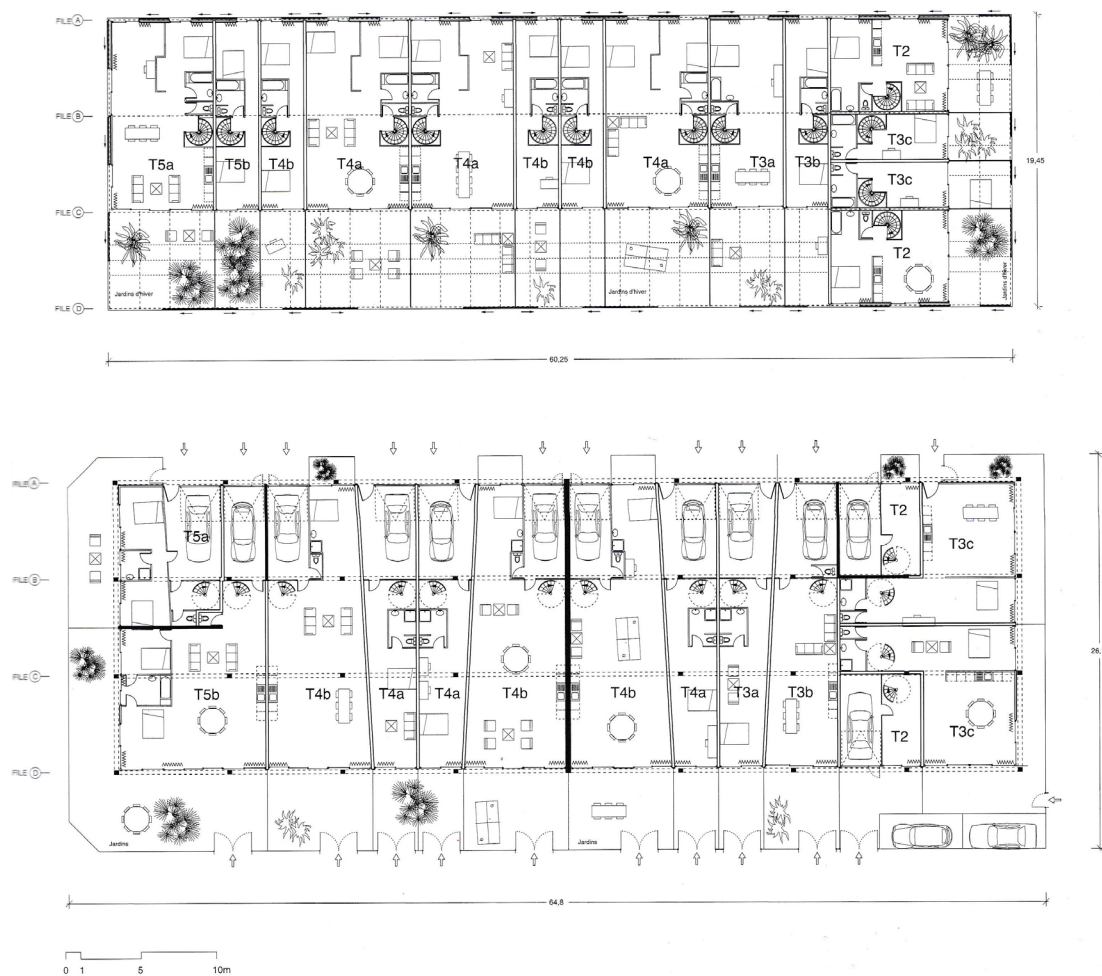
Con el sol de invierno, el invernadero totalmente cerrado y orientado a sur se convierte en una cámara captadora de calor que puede ser transmitido al interior de la casa abriendo los cerramientos deslizantes entre la sala de estar y el jardín de invierno, además esta estancia independiente se convierte en una prolongación del estar. 9.5

Durante el verano, los paneles de policarbonato transparente deslizantes permiten una apertura del 50% de la superficie de fachada y las lamas de ventilación de accionamiento automático colocadas en las cubiertas permiten regular el clima interior. En verano durante la noche se asegura la evacuación del calor y la circulación del aire en el espacio bajo cubierta. 9.6

Los dispositivos sencillos de control solar como los toldos horizontales y cortinas térmicas permiten proteger el interior del calor excesivo durante los días de verano. 9.8



9.8 Interior de un espacio invernadero con toldos horizontales y cortinas térmicas para protección solar en verano.

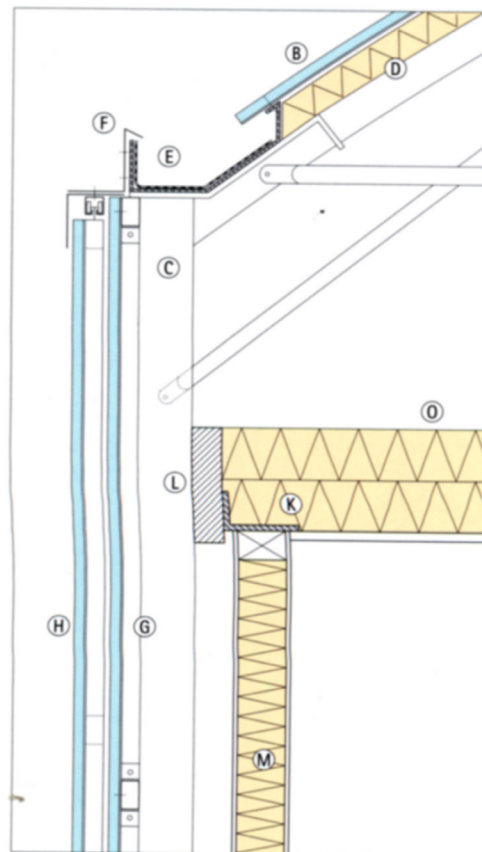


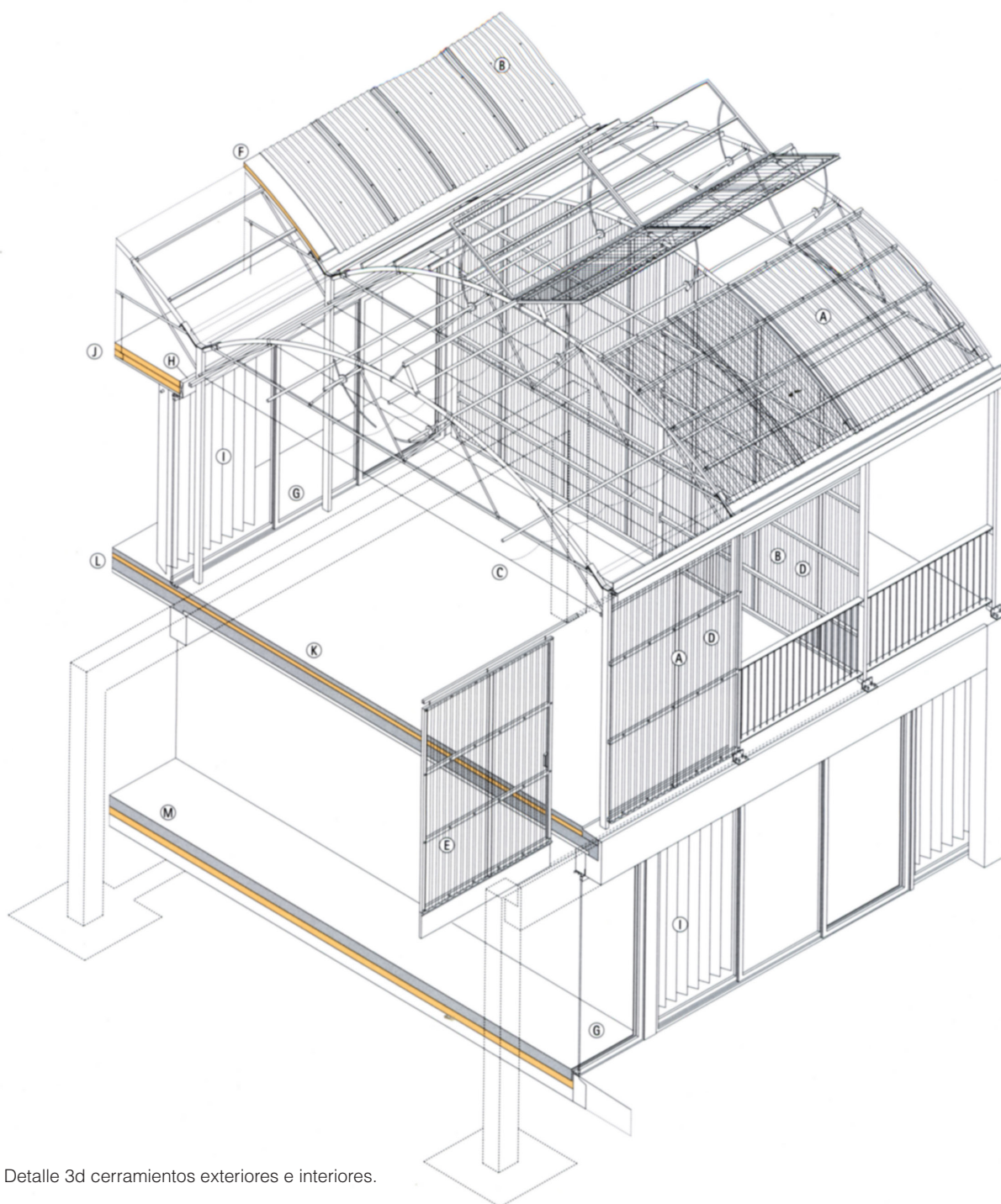
9.9 Plantas Ciudad Manifiesto en Mulhouse.

9.10 Detalle cerramiento zona aislada.

- B. Policarbonato ondulado blanco opaco.
- C. Pilar invernadero tubo acero 90.50.
- D. Lana de vidrio $e=60$ mm sobre lámina flexible de soporte fijada a las cerchas.
- E. Viga canalón de chapa de acero plegada, con impermeabilizante butiminoso.
- F. Angular de chapa de acero atornillado a la viga canalón, soporte del carril guía de los paneles deslizantes.
- G. Panel fijo.
- H. Panel deslizante.

- K. Angular de chapa de acero.
- L. Dintel corrido de madera 20x5 cm.
- M. Panel sándwich con aislamiento interior de lana de vidrio.
- O. Aislamiento de lana de roca $e=180$ mm sobre falso techo de placas de cartón-yeso resistentes al fuego, colgado de la estructura del invernadero.





9.11 Detalle 3d cerramientos exteriores e interiores.

A. Policarbonato ondulado transparente.
 B. Policarbonato ondulado opaco.
 C. Toldo textil de apertura manual.
 D. Panel fijo.
 E. Panel deslizante.
 F. Aislamiento de lana de vidrio $e=60$ mm.
 G. Carpintería deslizante de aluminio.

H. Dintel de madera 20×5 cm.
 I. Cortina aislante reflectante.
 J. Falso techo y lana de roca $e=180$ mm.
 K. Hormigón pulido sobre aislante térmico.
 L. Forjado sobre prelosa $15+5$ cm.
 M. Solera de hormigón $e=15$ cm sobre enchachado y aislamiento térmico.

TRANSFORMACIÓN DE LA TORRE BOIS-LE-PRÊTE

Anne Lacaton & Jean-Philippe Vassal, Frédéric Druot
2005-11



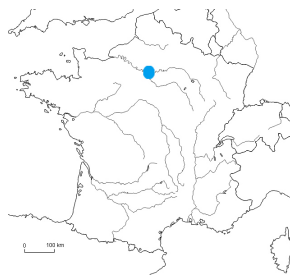
9.13 Emplazamiento de la Torre Bois-le-prête.



9.15 Torre Bois-le-prête con fachada renovada en 1.980.



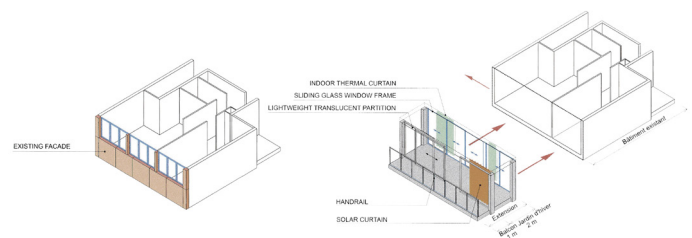
9.16 Propuesta de transformación de la Torre Bois-le-prête de Druot&Lacaton&Vassal.



9.12 Situación de París en Francia.

Situación: París, en un barrio al norte de la ciudad.

Clima: Veranos calurosos y sofocantes con temperaturas entre 15°C y 30° C. Los inviernos son fríos entre 0°C y 10°C. Las lluvias son frecuentes durante todo el año.



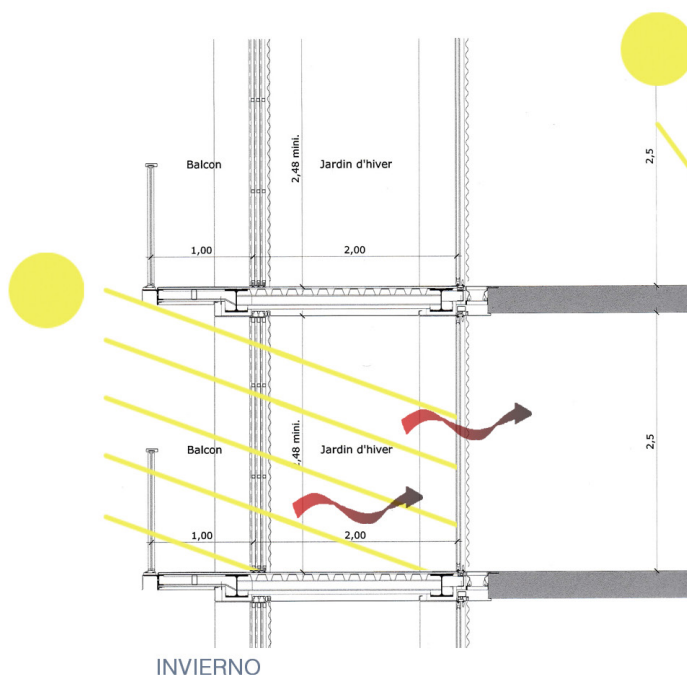
9.14 Fachada original y agregación del módulo del jardín de invierno como nueva fachada.

Construida en la década de 1.960 por Raymond López³⁰, la torre pertenece a un conjunto de viviendas de gran altura (50 metros). La edificación existente comprende 96 apartamentos de promoción social en alquiler y su sistema constructivo está constituido por forjados y pantallas de hormigón. La fachada original presentaba grandes superficies vidriadas pero en la década de 1.980, el edificio fue renovado y se instaló en su exterior un revestimiento aislante delante de las fachadas, lo que disminuyó en gran medida las vistas y la iluminación interior. 9.15

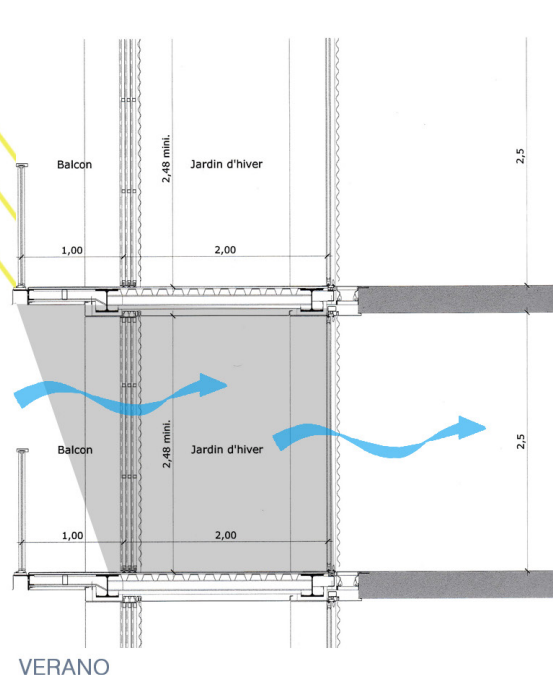
Debido a la “mala imagen” que dan estos barrios donde las altas torres se han convertido en un símbolo de miseria social, en el 2.005, el gobierno francés decidió poner en marcha un programa de renovación urbana basado en la demolición de cerca de 200.000 viviendas y su sustitución por otras nuevas. Anne Lacaton y Jean-Philippe Vassal junto con Frédéric Druot iniciaron una campaña defendiendo un procedimiento más respetuoso con la arquitectura residencial: transformar y revalorizar la torre existente en lugar de derribarla. 9.15

El objetivo del proyecto es devolver la luz y el aire a las viviendas y dotarlas de superficies habitables más generosas sin modificar la organización estructural existente. Para ello se añade un módulo prefabricado y ligero en todo el perímetro de la torre cuya estructura es independiente del edificio existente, por lo que no aumentan las cargas del mismo. La ampliación del edificio mediante un espacio estructuralmente autónomo minimiza las molestias que han de sufrir los habitantes e incluso es innecesario que desocupen las viviendas durante el transcurso de las obras. 9.19

30 Raymond López (Montrouge, 1904 - 1966), arquitecto y urbanista francés que trabajó como director del programa de planificación de París en el siglo XX.



9.17 Esquema de funcionamiento de Invierno.



9.18 Esquema de funcionamiento de Verano.

Los módulos de 7 x 3,3 metros son estructuras metálicas que incluyen suelo, techo, la doble fachada del jardín de invierno y un balcón de 1 metro. 9.14

Los jardines de invierno de 2 metros de profundidad se componen de ventanas correderas de suelo a techo que son las encargadas de cerrar la superficie calefactada de los apartamentos y el cerramiento exterior está formado por paneles móviles de polycarbonato transparente. 9.20

Esta “doble envolvente”, transparente y habitable de 3 metros de profundidad delante de los forjados originales, además de mejorar el aporte de luz y ampliar la superficie de las viviendas, funcionan como una piel térmica muy eficiente y minimiza los ruidos exteriores.

El sol más bajo durante el invierno accede y calienta el interior de la galería a través de la fachada de polycarbonato. El jardín de invierno durante el día puede transferir el calor hasta el interior de las viviendas cuando las puertas de la sala de estar que dan hacia estos espacios se abren. En ocasiones, esta aportación de calor natural puede reducir a la mitad los consumos energéticos de calefacción de las viviendas. 9.17

En verano, como el sol se encuentra más alto, el saliente de 1 metro del balcón protege del asoleo directo los cerramientos exteriores del jardín de invierno. Además para garantizar la sombra, estos espacios están dotados de cortinas de aislamiento térmico. Las divisiones y cerramientos del jardín de invierno se abren para asegurar la ventilación natural durante las noches de verano. Cada arrendatario puede gestionar su confort térmico. 9.18



8.19 Proceso de construcción de la transformación de la Torre Bois-le-Prêtre.

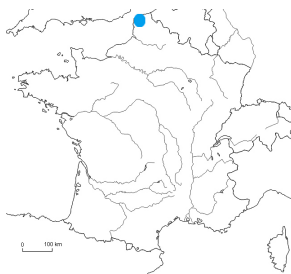


9.20 Vista interior de sala de estar y jardín de invierno.

FOND RÉGIONAL D'ART CONTEMPORAIN, NORD-PAS DE CALAIS

Anne Lacaton & Jean-Philippe Vassal, Frédéric Druot

2009-13



Situación: **Dunkerque.** Ciudad costera al norte de Francia, situada en la frontera con Bélgica.

Clima: En invierno la temperatura oscila alrededor de los 3°C. Los veranos son templados con una temperatura máxima de 17°C. Las precipitaciones son abundantes durante todo el año.

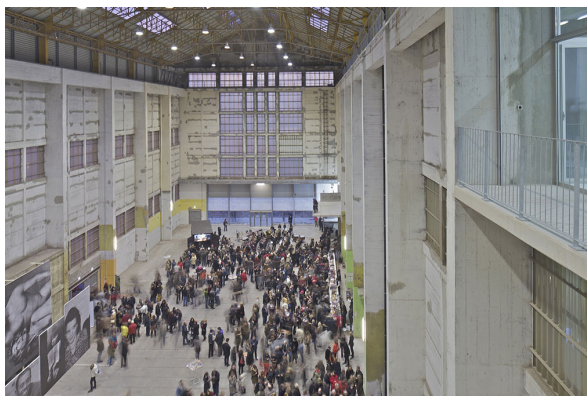
9.21 Situación de Dunkerque en Francia.



9.22 Antiguo almacén de barcos, AP2 en el puerto de Dunkerque.



9.23 AP2 con la yuxtaposición del nuevo edificio del FRAC.



9.24 Espacio interior del AP2, espacio no programado utilizado para exposiciones y eventos temporales.

Los FRAC son edificios situados en todas las regiones de Francia donde se acogen colecciones públicas de arte contemporáneo del país. Estas colecciones se conservan, se catalogan y se presentan al público mediante exposiciones propias o se prestan a galerías de arte y museos.

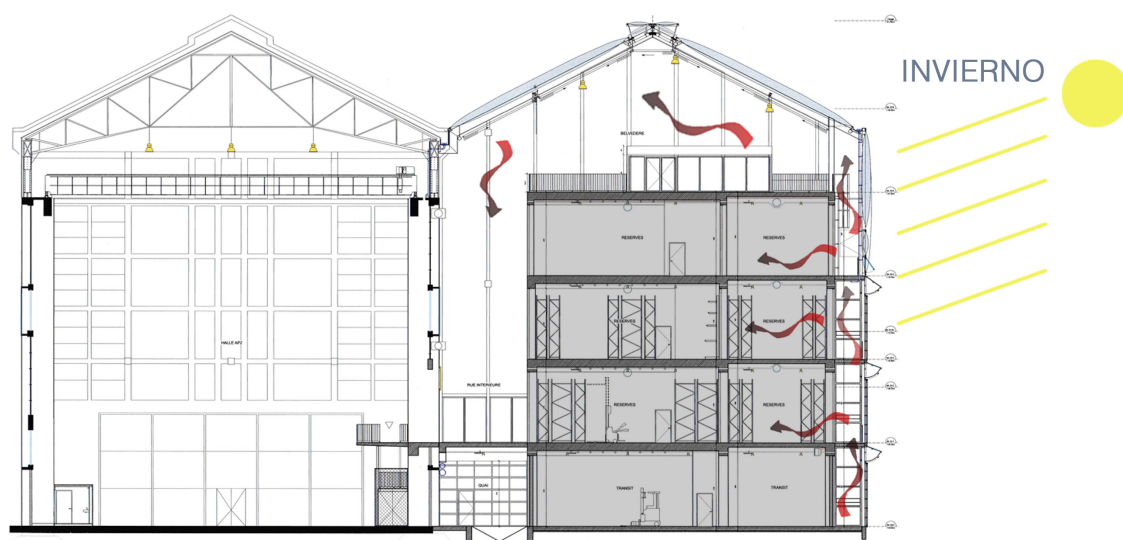
El FRAC de la región norte se sitúa en el puerto de Dunkerque, en un antiguo almacén de barcos, en la nave denominada AP2. Es el único edificio que se conserva del conjunto de astilleros navales del lugar ya que fueron destruidos poco después de su cierre en torno a 1988. **9.22**

El AP2 es un objeto singular con una presencia significativa en el barrio. Es un gran cascarón que encierra un volumen interno inmenso y completamente vacío. Lacaton&Vassal rápidamente llegaron a la conclusión de que su excepcional volumen interior no tenía que ser ocupado ni modificado. Decidieron mantenerlo tal como está, pues de encajar todo el programa del FRAC en el AP2 hubiera supuesto perder su esencia.

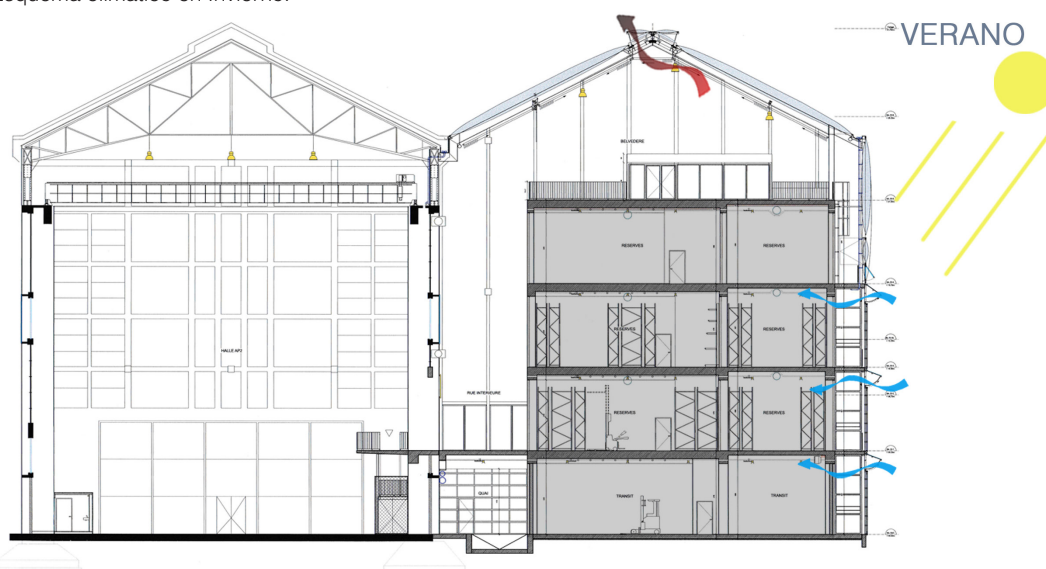
Se propone la construcción de un nuevo edificio para alojar todo el programa. La nueva estructura se adosa a la construcción existente y reproduce la silueta y dimensiones exactas del AP2. El taller naval se preserva tal como es, como un espacio “no programado” que puede ser utilizado como extensión del FRAC para exposiciones temporales monumentales o para albergar eventos culturales. **9.24**

El nuevo edificio se yuxtapone con respeto y delicadeza al existente, sin competir ni quitarle protagonismo. Además lo que se consigue con esto es ahorrar un sobre coste innecesario ya que la nueva estructura reinterpreta la construcción de la antigua desde un punto de vista actual, empleando materiales y técnicas contemporáneas, económicas y sencillas. **9.23**

El nuevo volumen compuesto por revestimientos plásticos alberga en su interior una gran estructura de hormigón formada por plataformas y espacios que recogen las necesidades del programa. Una pasarela peatonal proyectada a lo largo de la fachada conecta ambos edificios y se convierte en una calle cubierta entre la nave y la fachada interna del FRAC. La transparencia de la piel permite visualizar en segundo plano el antiguo taller naval y se concibe como una inmensa envolvente bioclimática.



9.25 Esquema climático en Invierno.



9.26 Esquema climático en Verano.

El nuevo edificio formado por una piel exterior de policarbonato transparente encierra en su interior un volumen cerrado que se encuentra aislado termicamente. 9.27

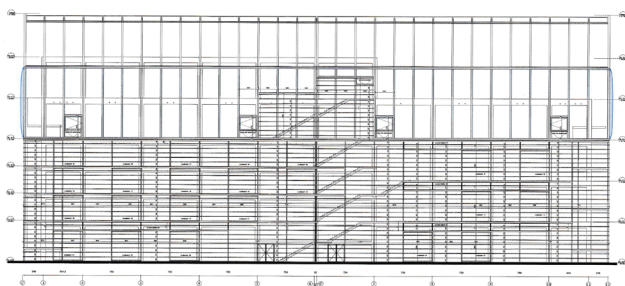
El espacio intermedio que queda entre el volumen interior y el cerramiento, es aprovechado para disponer las circulaciones del edificio: escaleras, ascensores, pasillos y balcones.

Durante el invierno, la piel exterior de policarbonato transparente capta los rayos solares y calienta estos espacios intermedios no calefactados. A través de las diferentes aberturas dispuestas en el perímetro del volumen interior, el calor es transferido a todos los espacios del edificio. 9.25

Durante el verano, la ventilación natural se produce a través de los diferentes paneles móviles de la fachada y de la cubierta. Ésta última cuenta con toldos móviles que protegen el interior de los rayos solares. Además todo el edificio está compuesto por un sistema de refrigeración de aire que recorre toda la cubierta y la parte superior de la fachada. 9.26

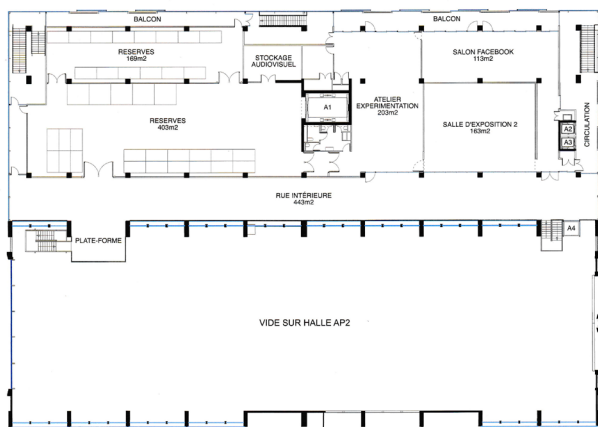


9.27 Espacio interior del AP2, espacio no programado utilizado para exposiciones y eventos temporales.

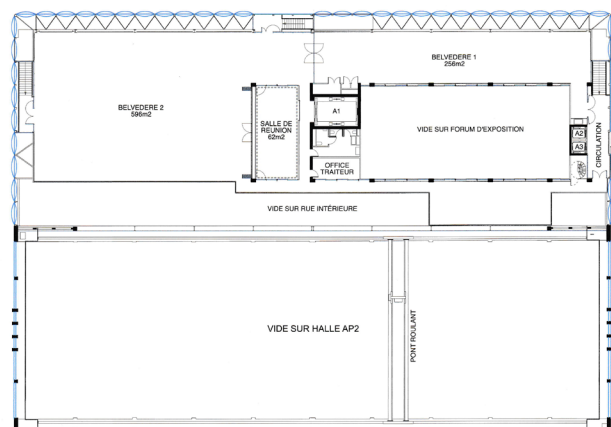


Alzado Norte / North elevation

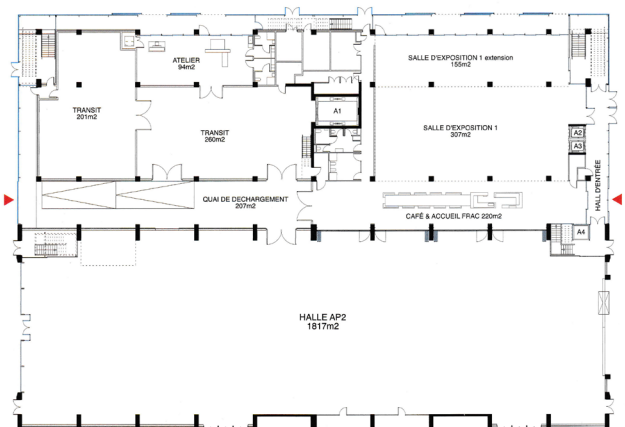
9.28 Alzado Norte FRAC.



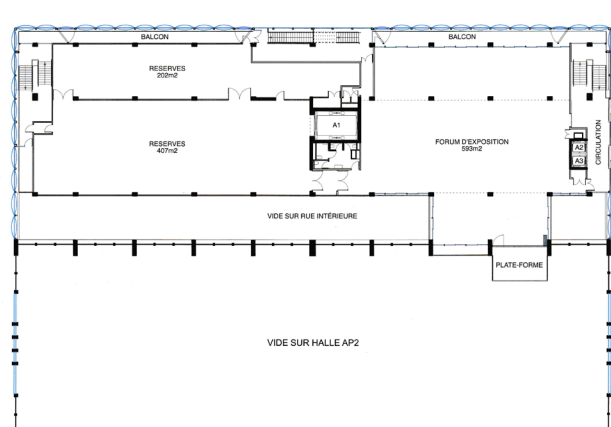
Planta primera. Nivel +5.25 / First floor plan. Level +5.25



Planta quinta. Nivel +21.00 / Fifth floor plan. Level +21.00

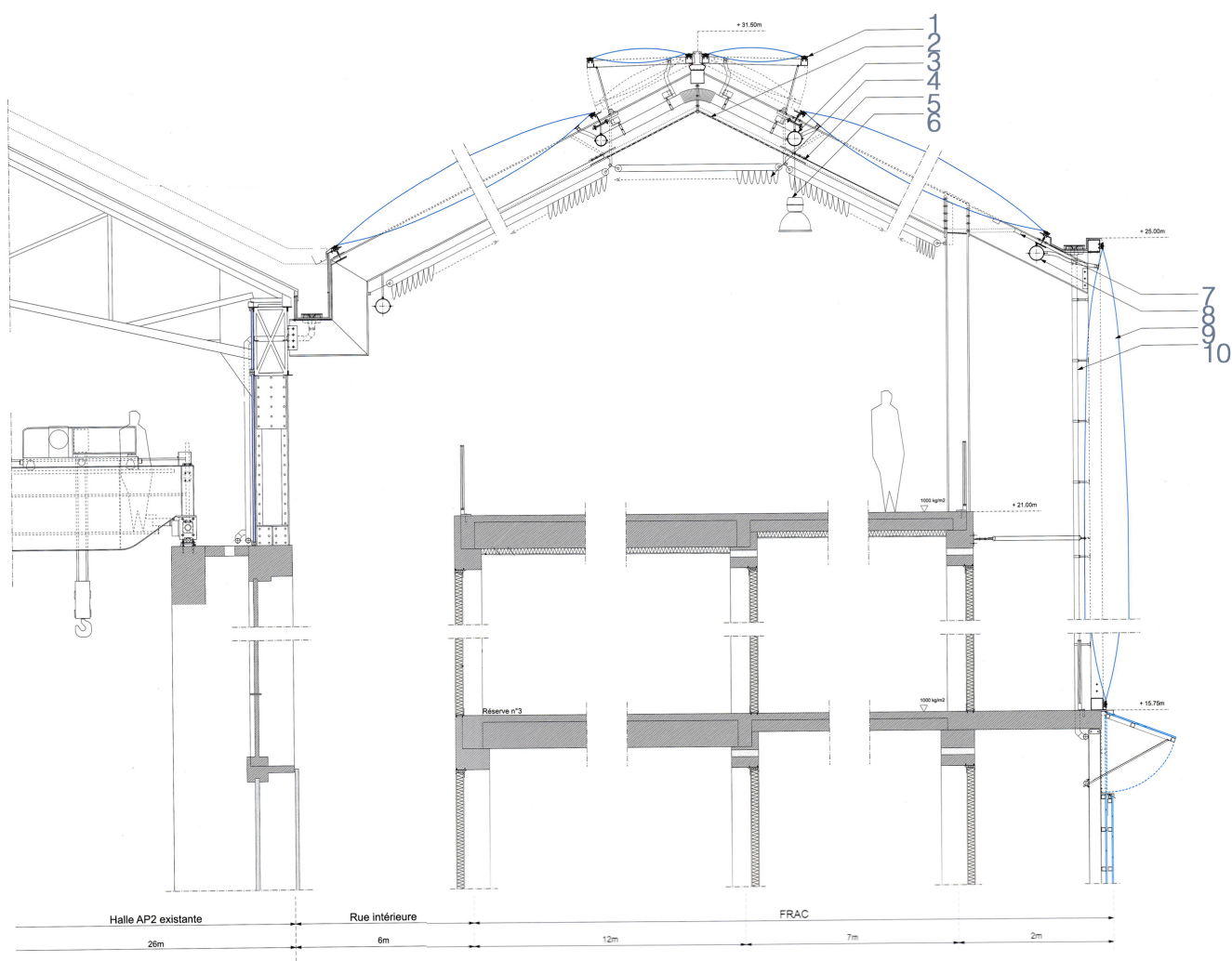


Planta baja. Nivel +0.00 / Ground floor plan. Level +0.00



Planta cuarta. Nivel +15.75 / Fourth floor plan. Level +15.75

9.29 Plantas FRAC.



1. Compuerta de ventilación natural
2. Membrana antivapor
3. Red de distribución de aire en cubierta
4. Persiana
5. Conductos eléctricos
6. Alumbrado
7. Conductos eléctrico
8. Red de distribución de aire en fachada
9. Panel doble policarbonato transparente
10. Red de aguas pluviales

9.30 Detalle Constructivo FRAC.

10 Josep **BUNYESC**

Arquitectura Solar Pasiva





10.1 Josep Bunyesc.

Bunyesc, Josep

nació en Lérida, España. Arquitecto por la Universidad Politécnica de Cataluña UPC, en la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona ETSAB el 2003. Estudió un Master en Arquitectura Sostenible en la Escuela Politécnica de Lausana, Bélgica, en el 2004-05. Doctor en arquitectura sostenible y economía de energía y el habitado en zonas de montaña por la UPC ETSAB de Barcelona en mayo 2013, doctorado europeo con colaboración con EPFL Laboratoire de énergie Solaire LESO 2005-13. Arquitecto independiente desde 2003.

Josep Bunyesc construyó en 2.009 su propia vivienda que posee un nulo o muy bajo consumo energético. Su casa fue clave para poner a prueba “El less is more (menos es más) energético” que el arquitecto aprendió en Bélgica en la Escuela Politécnica de Lausana, donde cursó en 2.004-05 un Máster en Arquitectura Sostenible. Bunyesc piensa en la vivienda como una fuente de energía, una energía que en España no se puede comercializar pero sí consumir. Su propia casa acumula más energía de la que necesita y el combustible sobrante le sirve a la familia Bunyesc para cargar su coche eléctrico o sus bicicletas.

Este primer proyecto, situado en las afueras de la ciudad de Lérida, está considerado como la primera vivienda pasiva española. En ella se consigue mantener el calor en invierno y el frío en verano y por lo tanto, reducir el consumo energético, que es diez veces menor al de un piso o casa convencional. Desde entonces, Bunyesc se ha dedicado plenamente a llevar a cabo proyectos basados en la eficiencia, para él cada edificio se ha convertido en un nuevo “invento”. Sus trabajos apuestan por una construcción de bajo coste que se basan en la mezcla entre el sentido común de la arquitectura tradicional y la eficiencia de la nuevas tecnologías.

Gracias al diseño y materiales utilizados en cada uno de sus proyectos consigue lograr una temperatura de confort interior y evitar un consumo energético importante. Su manera de construir es novedosa en España y está basada en los modelos de construcción del centro de Europa. Utiliza paneles prefabricados de madera del lugar para generar la estructura, la piel y la tabiquería de las viviendas. Estos paneles prefabricados se realizan en taller previamente y se montan en obra con gran facilidad y rapidez, con una duración de montaje muy inferior a la construcción de las casas convencionales.

La Unión Europea exigirá a partir de 2.018 que los edificios públicos se construyan con un consumo energético casi nulo y en 2.020 sucederá lo mismo con las viviendas. La poca energía que se consuma, alrededor de un 10%, deberá proceder de fuentes renovables. En los últimos años en Europa se han levantado numerosos inmuebles pasivos y existe una gran preocupación por conseguir que los edificios tengan un consumo energético “casi nulo”.

“En España no es pasivo ni el 1% de lo que se construye, de las 4.000 viviendas realizadas en Cataluña en el 2.015, solo 20 eran pasivas. Y en 2.010, de las 20.000 edificadas, solo 2 fueron proyectadas para tener un consumo energético nulo”³¹. Josep Bunyesc insiste en la puesta al día con el resto de Europa: “En las universidades ya se tendría que hablar casi solo de esto. Será el marco normativo de la profesión cuando salgan a trabajar los estudiantes de hoy”³².

En 2.012, la plataforma Construction21 España³³, proyecto que tiene como objetivo promocionar los edificios con soluciones reales de arquitectura sostenible, publicó en El Mundo un mapa donde se pueden ver las viviendas más sostenibles en España. En la clasificación publicada, de las ocho primeras viviendas, tres han sido proyectadas por el estudio Bunyesc.

El arquitecto considera que, actualmente, las casas pasivas en España no están muy extendidas. Las viviendas hoy en día se compran por su estética y no por su relación con la energía. Además los materiales en este tipo de construcciones son caros, lo que no ayuda a que las casas pasivas se desarrollen habitualmente en España. Sin embargo, Bunyesc asegura que la economía puede compensarse utilizando el menor tiempo posible en la ejecución de las obras y que este tipo de casas son el futuro “por la necesidad” de la gente de ahorrar dinero en la factura de electricidad y energía.

A continuación, se explicará, la propia vivienda de Josep Bunyesc, que como se ha comentado anteriormente se ha convertido en la “referencia” en la que se basan sus trabajos. Cabe mencionar, que el último edificio que se describirá: la obra de reconstrucción de Josep Bunyesc que tuvo lugar en Pessonada, en una masía en la falda de los Pirineos, es la que ha llevado a la investigación de diferentes proyectos con “paredes que captan el sol” y que han sido descritos con anterioridad en el presente trabajo. Es la obra que describe la periodista e historiadora Anatxu Zabalbeascoa en su artículo “Paredes que captan el Sol” publicado en el Blog de Cultura de El País el 23 de noviembre de 2.015. **ANEXO I**

31 Josep Bunyesc. El arquitecto Josep Bunyesc reformula la idea de habitabilidad para la conquista de luz natural. Anatxu Zabalbeascoa. 27-02-2016.

32 Josep Bunyesc. El arquitecto Josep Bunyesc reformula la idea de habitabilidad para la conquista de luz natural. Anatxu Zabalbeascoa. 27-02-2016.

33 Plataforma Construction21 España: iniciativa española cuyo principal objetivo es impulsar la edificación sostenible para alcanzar los objetivos europeos de eficiencia energética y reducción de las emisiones de CO2.

CASA BUNYESC

Josep Bunyesc

2009



10.3 Fachada Sur Casa Bunyesc con placas solares mixtas.



10.4 Proceso de construcción de la casa con paneles prefabricados realizados.



10.5 Montaje elementos prefabricados con aislante de lana de oveja natural.

La cubierta está formada por los mismos elementos que la fachada con un acabado exterior de chapa ventilada ligeramente inclinada. En el caso de los forjados intermedios la estructura se monta con paneles de madera y se añaden en obra unos conectores para formar un forjado mixto de madera y hormigón con una capa de compresión que hace más rígido el conjunto. Además los forjados aportan una cierta inercia térmica ya que por ellos transcurre el suelo radiante. **10.9**

Este sistema constructivo permite una ejecución rápida de manera que desde la limpieza del solar hasta la ocupación de la vivienda por sus habitantes sólo pasaron 5 meses. La construcción en seco permite un gran ahorro de consumo de agua en todo el proceso constructivo y la prefabricación de los elementos reduce los residuos en obra ya que no existen restos de material. El sistema constructivo basado en el uso de la madera y lana de oveja como aislamiento, materiales de origen orgánico, permite que la construcción sea renovable al 100%. Toda la vivienda podría ser desmontada, de manera que se podrían reutilizar los paneles enteros o por partes. Esta reversibilidad del sistema se suma a la posibilidad de reutilizar la madera como elemento estructural en otra construcción o usarla como materia prima para producir energía de biomasa. **10.4**

Bunyesc es un arquitecto de hechos, y durante dos años viviendo en la casa anotó mes a mes el consumo energético de su propia residencia donde pudo comprobar que, efectivamente, conseguía ahorrar un 90% al año en el consumo de calefacción. Normalmente en Lérida en una casa convencional, la calefacción es necesaria durante 6 meses, con un gasto anual de 2.000 a 3.600 € al año. La casa pasiva Bunyesc solo requiere el uso de la calefacción (suelo radiante) durante 3 meses y el gasto anual es de únicamente 600 € al año.

El arquitecto ha conseguido que su propia vivienda sea capaz de mantener el calor en invierno y el frío en verano y por lo tanto, consumir diez veces menos que un piso o casa convencional. Gracias a su diseño funciona como una casa pasiva y puede lograr en su interior temperaturas confortables sin incurrir en un consumo energético importante.



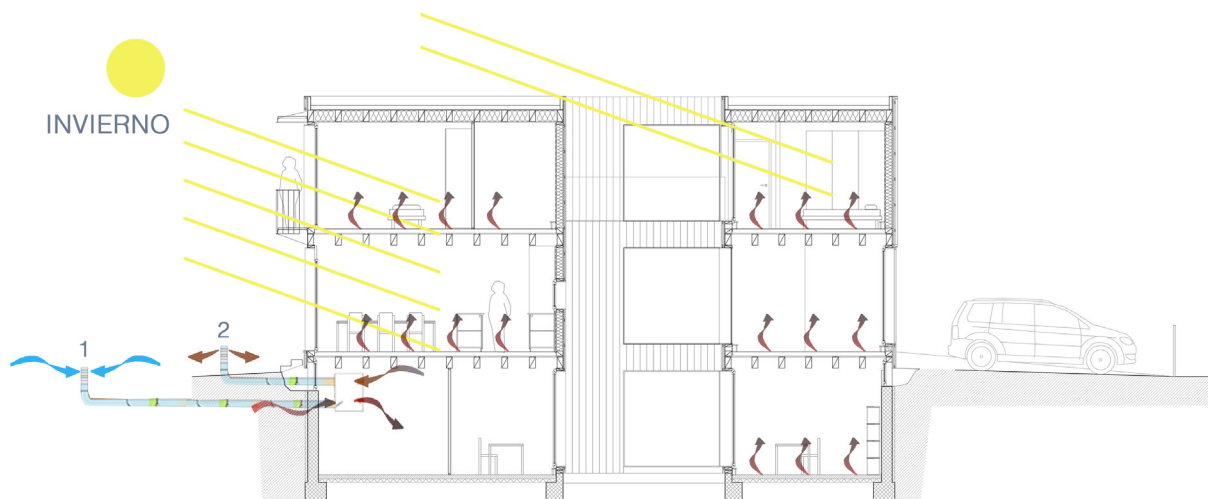
Situación: Lérida, España.

Clima: Los inviernos son húmedos y muy fríos y los veranos cálidos. Puedan registrarse temperaturas de algunos grados centígrados bajo cero en invierno y de hasta 40 °C en verano. El promedio de precipitación anual es bastante escaso.

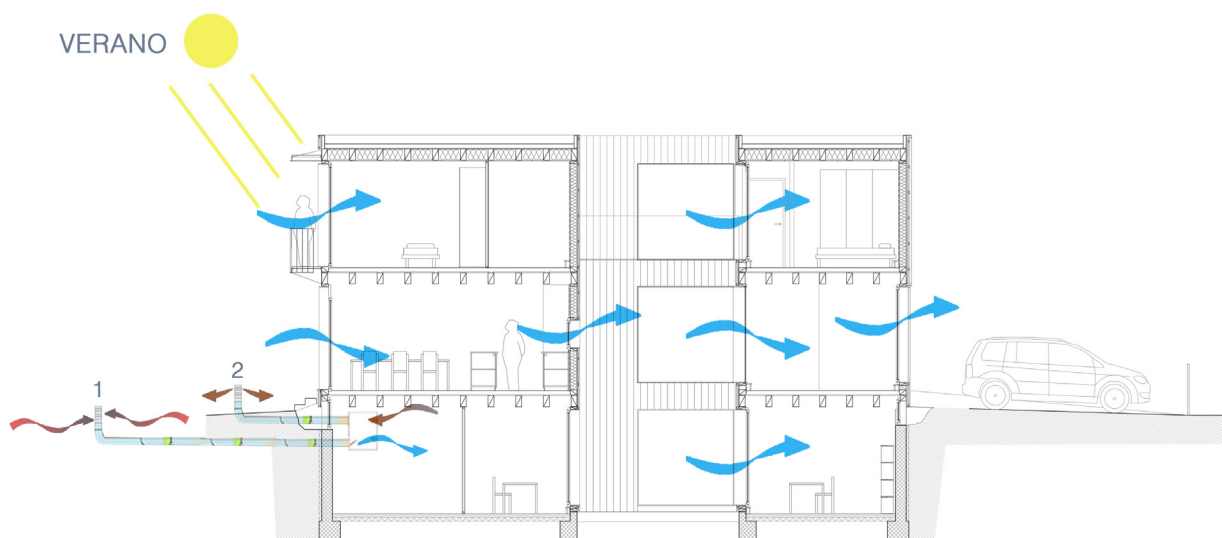
10.2 Situación de Lérida en España.

La vivienda del propio arquitecto Josep Bunyesc fue construida en las afueras de la ciudad de Lérida y es la primera vivienda certificada como casa pasiva en España. La vivienda unifamiliar compuesta por 3 plantas de 70 m² se abre al máximo hacia el Sur con la intención de captar la energía solar para distribuirla en todo el edificio durante el invierno, y a la vez, favorecer la ventilación cruzada durante el verano mediante la construcción de un patio central que además, garantiza la iluminación natural de la planta sótano donde se sitúa el estudio Bunyesc. **10.8**

La obra se construye a partir de un sistema constructivo innovador: los elementos autoportantes de la estructura son prefabricados de madera que se unen en seco. Los pilares separados entre sí unos 65 cm se encuentran arriostrados en la cara interior por unos tableros de OSB (Virutas Orientadas) lisos. El intersticio de la estructura de 16 cm se llena de un aislante térmico novedoso, lana de oveja natural. Otro tablero exterior cierra este panel sandwich estructural formado por placas de fibras de madera compacta de 22 mm relativamente aislante que minimiza el puente térmico que pueda tener el entramado de madera. El OSB encolado de la cara interior actúa como barrera de vapor y la fachada ventilada al exterior ayuda a evacuar la posible humedad. **10.5**



10.6 Funcionamiento climático en Invierno.



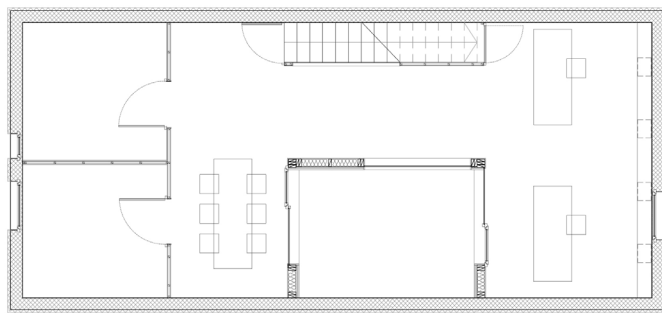
10.7 Funcionamiento climático en Verano.

En invierno con el sol más bajo durante el día, los grandes ventanales situados en la fachada Sur permiten que los rayos solares incidan hasta el fondo de las estancias, lo mismo ocurre con el patio. La energía solar calienta el suelo interior de la casa y este calor se irradia durante todo el día en el interior de la vivienda. Los paneles de madera y el considerable grueso de aislante de las fachadas y de la cubierta, actúan impidiendo la salida del calor, evitando así que el frío penetre desde el exterior al interior en las noches más frías de invierno. Además la casa Bunyesc cuenta con un sistema de “pozo canadiense” que se aprovecha de la inercia térmica del terreno. A una determinada profundidad, alrededor de los dos metros, la temperatura permanece constante a lo largo del año, y además dicha temperatura se corresponde con la temperatura media del lugar. El pozo canadiense consiste en una serie de tubos por los que circula aire del exterior y que están colocados a la profundidad deseada, entre el aire que circula y la tierra que lo rodea se produce un intercambio de calor. El aire atemperado por los pozos canadienses se conecta con el sistema de ventilación mecánica de la vivienda, que garantiza la renovación del aire del interior. 10.6

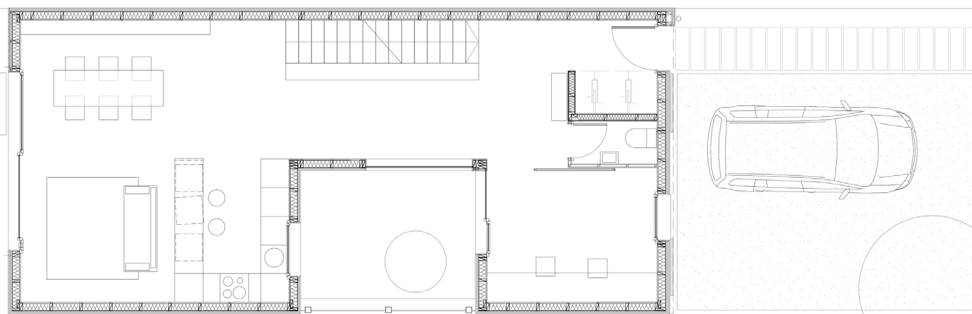
En Invierno, la temperatura a dos metros de profundidad es mayor que la temperatura en la superficie, por lo tanto, al circular aire frío, por los tubos, la tierra cede calor y calienta el aire que llega a la casa.

En verano, el pozo canadiense funciona de forma contraria. La temperatura del aire es mayor que la temperatura media (a dos metros de profundidad), por lo que al circular el aire por los tubos, cederá calor y llegará a la casa con varios grados menos, refrigerando entonces los ambientes. La ventilación cruzada es importante para refrigerar la casa, se produce en todas las estancias a través de las aberturas del patio y de las fachadas. Para el confort de verano, la fachada y la cubierta ventilada más el considerable grueso de aislante de lana de oveja permite que el calor no entre al interior. Además las superficies acristaladas formadas por vidrios bajo emisivos, disponen de elementos de protección solar fijos o móviles. 10.7

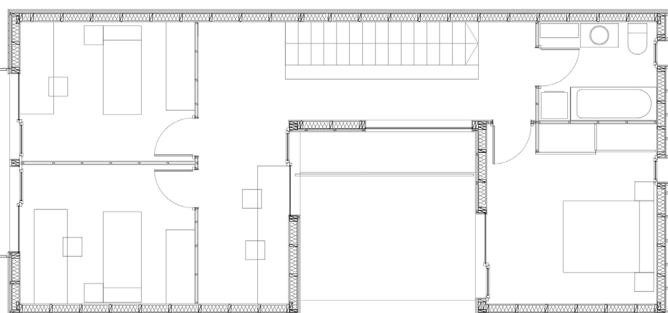
Las placas solares mixtas integradas en la fachada sur ocupan un total de 12 m² y producen la electricidad, el ACS y la calefacción de la casa. Cuando el día está nublado, las placas solares recurren a la energía que han acumulado para compensar la pérdida de calor. 10.3



PLANTA SÓTANO, BASEMENT

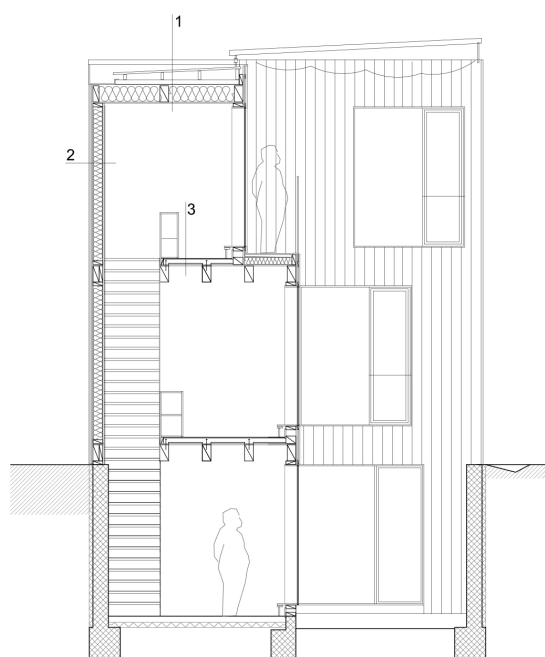


PLANTA BAJA, GROUND FLOOR



PLANTA PRIMERA, FIRST FLOOR

10.8 Plantas casa Bunyesc.

SECCIÓN TRANSVERSAL
CROSS SECTION

1. CUBIERTA
Chapa lacada blanca
Doble rastrel de ventilación
Panel transpirable
Aislamiento de lana de oveja 26 cm
Estructura de madera
Panel OSB visto interior

2. FACHADA
Chapa lacada ondulada o madera alerce
Doble rastrel de ventilación
Panel transpirable
Aislamiento de lana de oveja 16 cm
Estructura de madera
Panel OSB visto interior

3. FORJADO INTERIOR
Linoleum
Chapa compresión hormigón
Suelo radiante
OSB visto por debajo
Estructura de vigas de madera maciza

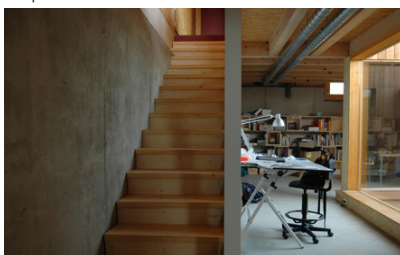
10.9 Sección casa Bunyesc.



10.10 Fachada sur con placas solares mixtas.

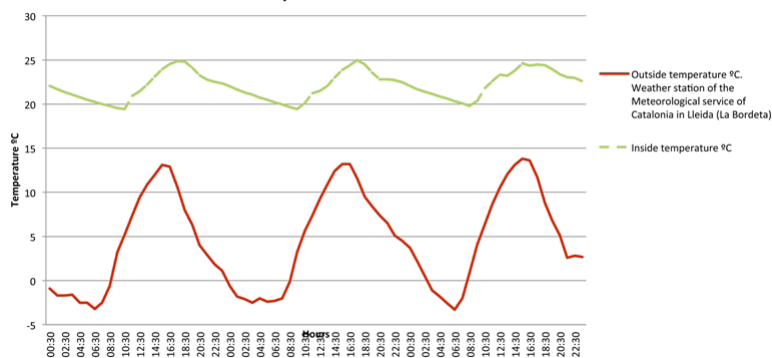


10.11 Ventanas con elementos de protección solar.



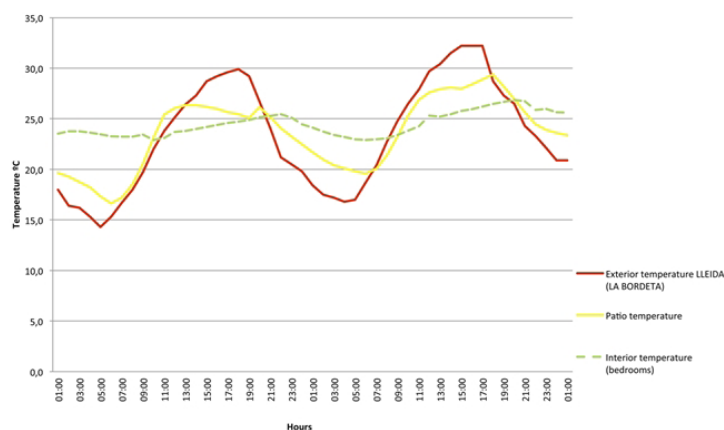
10.12 Planta sótano. Estudio Bunyesc.

Evolución de la temperatura del 18 al 20 Febrero 2013
Típico día soleado en invierno



10.13 Evolución de la temperatura típico día soleado en Invierno.

Evolución de la temperatura del 19 al 21 Junio 2013



10.14 Evolución de la temperatura típico día soleado en Verano.

La gráfica **10.13** muestra las temperaturas registradas en exterior y en el interior de la casa Bunyesc en un día soleado invernal. En el ambiente exterior, las temperaturas oscilan entre los -3°C y los 13°C . La temperatura registrada en el interior de la vivienda, sin hacer uso de la calefacción radiante, alcanza temperaturas de confort durante el día y la noche y varía entre los 20°C y los 25°C , alcanzando las mayores temperaturas cuando las del exterior aumentan y viceversa.

En la gráfica **10.14** se muestran las temperaturas registradas en un día de verano tanto en Lérida, como en la casa Bunyesc. En un día de verano, 2 de Julio de 2010, la temperatura en Lérida alcanza los 35°C sobre las 2 p.m y desciende a unos 18°C entre las 4 a.m y las 5 a.m. La temperatura registrada en el patio de la casa es mucho menor durante el día y mayor durante la noche, en comparación con el clima en Lérida. Las temperaturas en el patio oscilan entre los 22°C y los 30°C . En la vivienda durante todo el día se mantiene una temperatura de confort: la temperatura registrada en una habitación de la vivienda situada en la primera planta varía entre los 24°C y los 27°C durante todo el día. La temperatura en el estudio, situado en la planta sótano de la vivienda, es más fresca que la anterior, prácticamente constante, alcanzando los 24°C durante todo el día.

Con los resultados obtenidos y el análisis de las gráficas podemos afirmar que la casa Bunyesc únicamente utilizando los recursos naturales, es capaz de mantener en su interior temperaturas de confort para los usuarios durante las épocas frías de invierno y calurosas en verano.

Se alcanzan temperaturas de confort durante el día y la noche de un típico día soleado de invierno y lo mismo ocurre en los días de verano, las temperaturas en el interior son de confort aunque efectivamente, sean mayores que en invierno. Podemos afirmar que el espacio más agradable de la casa en verano, es decir, el espacio más fresco, es la planta sótano donde se sitúa el estudio Bunyesc. Allí se consigue mantener la temperatura constante durante el día y la noche porque la tierra que rodea el espacio atempera el clima del interior.

REHABILITACIÓN DE VIVIENDA EN PESSONADA

Josep Bunyesc

2014



Situación: Pessonada. Situado en la provincia de Lérida, es un pueblo situado en los Pirineos Catalanes.

Clima: El clima es templado y cálido, Hay precipitaciones durante todo el año.

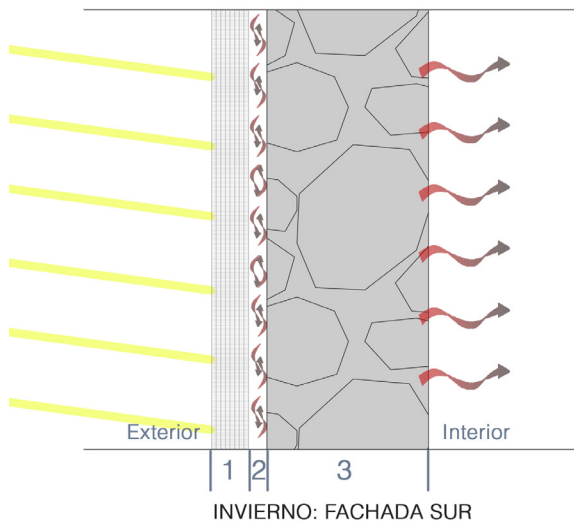
10.15 Situación Pessonada en España.



10.16 Funcionamiento climático Fachada Sur en invierno.



10.17 Fachada sur antes de la transformación.



1. Ocho capas policarbonato translúcido
2. Cámara de aire
3. Muro de piedra natural existente

10.18 Funcionamiento climático Fachada Sur en invierno.



10.18 Fachada sur tras la rehabilitación, revestida de ocho capas de policarbonato.



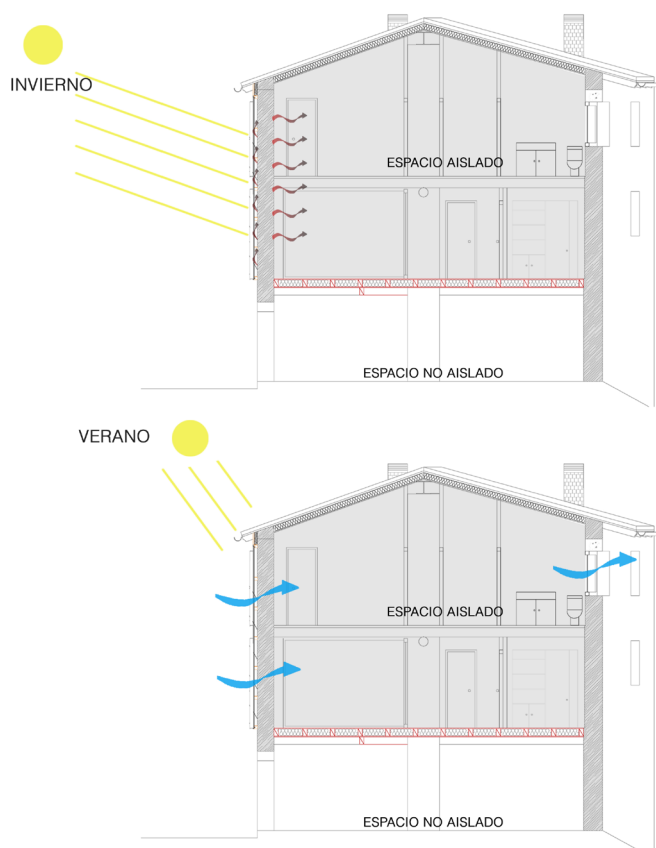
10.19 Interior vivienda.

La Rehabilitación de una vivienda en Pessonada realizada por Josep Bunyesc, es el proyecto que la periodista Anatxu Zabalbeascoa describe en su artículo "Paredes que Captan el Sol" publicado en el Blog de Cultura de El País el 23 de Noviembre de 2015 [Anexo I](#). Este proyecto tan interesante e innovador llevó a la investigación de las diferentes obras que se analizan en el presente TFG.

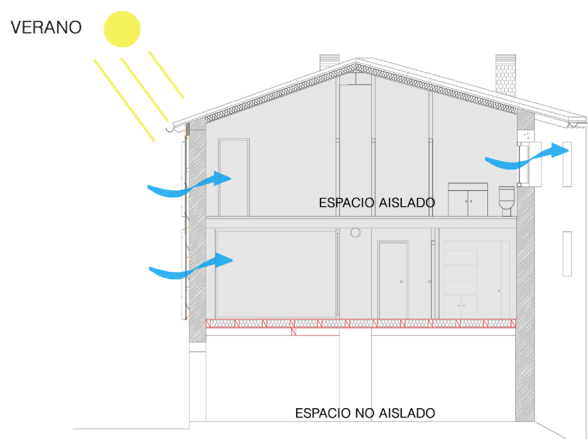
El edificio original fue construido en 1.900 en Pessonada, pueblo situado en los Pirineos Catalanes, era una antigua pensión construida con muros de piedra. La familia dueña del inmueble quería reformar la envejecida construcción en una vivienda más actual y renovada. Con la tarea de modificar esta estructura en ruinas, Josep Bunyesc vio la oportunidad en esta casa para convertirla en un modelo de eficiencia energética. [10.17](#)

Las ventanas orientadas a Sur no podían ampliarse para captar más luz solar por el riesgo de debilitar la estructura. Lo que hace Josep Bunyesc es revestir la pared de piedra con ocho capas de policarbonato, con un total de aproximadamente 8 cm de espesor. Lo que se consigue es un aislamiento perimetral que a la vez es un captador de energía solar. Su funcionamiento es parecido al del muro trombé: [10.18](#)

10.20 Esquema climático en Invierno.

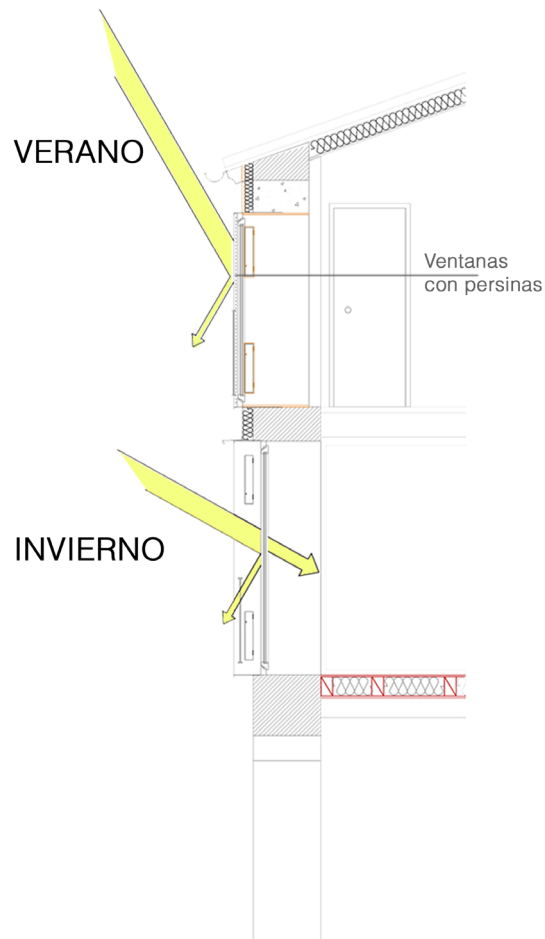


10.21 Esquema climático en Verano.



En invierno, el sol es casi perpendicular a la fachada y las diferentes capas de policarbonato permiten un paso casi total de los rayos solares hasta la pared existente. Este muro de piedra de 35 cm de grosor se pinta de negro para aumentar la captación de calor. En el pequeño espacio de aire existente entre el policarbonato y el muro de piedra se produce un efecto invernadero. El calor almacenado por el muro sólido se transfiere lentamente hacia el interior del edificio, donde se consigue mantener una temperatura de confort aun cuando las temperaturas nocturnas descienden por debajo de los 0°C. Además toda la vivienda se aisló con algodón reciclado en las restantes fachadas, lo que favorece la retención del calor en invierno. La casa dispone de una estufa de biomasa en el caso de que el porcentaje de días soleados disminuyera en la zona. **10.20**

Con el sol alto de verano, el muro de policarbonato no se calienta excesivamente por la inclinación de los rayos. El aislante de algodón natural dispuesto en las fachadas de la casa evita que el calor entre el interior de la misma. Un sistema de persianas ligero, ventilado y desmontable puede utilizarse en verano para proteger los espacios acristalados del sol. **10.21**



SECCIÓN POR VENTANA

10.22 Ventana con persianas en verano que protegen del Sol. Captación solar del Sol a través de la ventana en Invierno.



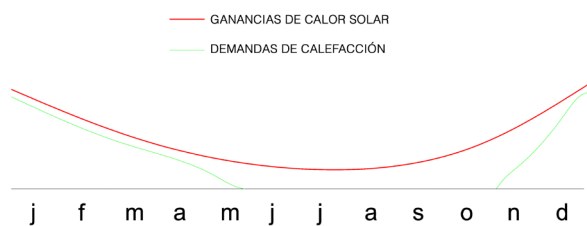
10.23 Policarbonato y muro existente pintado de negro.



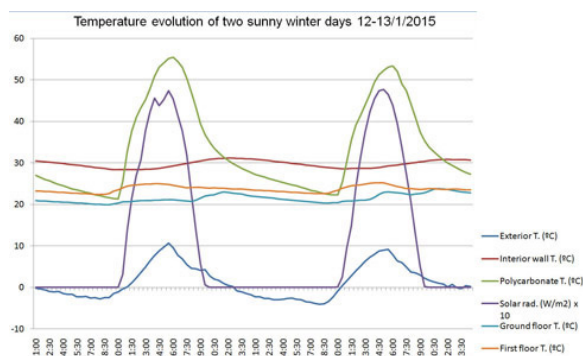
10.24 Fachada Este.



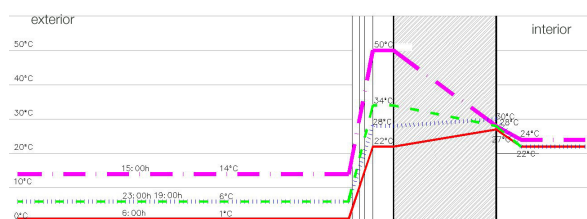
10.25 Fachada Sur.



10.26 Ganancias de calor solar y Demandas calefacción.



10.27 Temperatura de la vivienda en invierno.



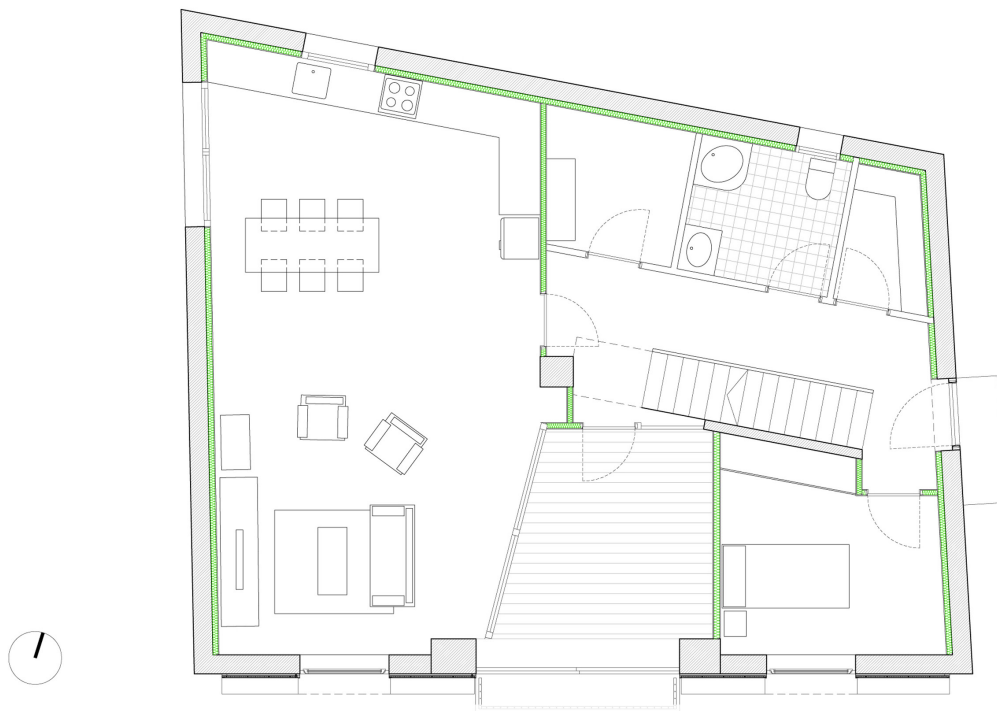
10.28 Temperatura en la fachada Sur en invierno.

En la gráfica **10.26** se observa que la curva de ganancias de calor solar producidas por la fachada sur es mayor que la demanda de calefacción. La vivienda de Pessonada es capaz de alcanzar la temperatura de confort en los meses más fríos de manera autosuficiente.

La gráfica **10.27** recoge el estudio de temperaturas de la casa durante dos días soleados de invierno, el 12 y el 13 de Enero de 2015. Con temperaturas que oscilan entre los -4°C y 10°C en el ambiente exterior; el muro sur, en el interior, alcanza en todo momento una temperatura de confort que oscila entre los 26°C y 31°C, incluso durante la noche. Hay que destacar que el muro registra sus mayores temperaturas en el interior a medianoche, 12 a.m, y sus menores a mediodía, 12 p.m. Por lo tanto, la temperatura en las estancias situadas en la primera planta siempre es de confort y oscila entre los 22°C y 23°C. La temperatura exterior del muro siempre se sitúa por encima de los 20°C y el polycarbonato alcanza temperaturas de 54°C en el momento de mayor radiación de Sol que se registra, a las 4 p.m. La planta baja que no se encuentra aislada térmicamente alcanza temperaturas alrededor de los 20°C y los 22°C.

En la gráfica **10.28** se observa que aunque la temperatura exterior varíe en un día desde -1°C a las 6 a.m, a 14°C a las 3 p.m, la temperatura que alcanza el muro en su cara interior oscila entre los 27°C a las 6 a.m y los 30°C a las 3 p.m. Por lo tanto en el interior la temperatura siempre es de confort, entre los 22°C-24°C. El aire interior encerrado entre las capas de polycarbonato y el muro de piedra existente, registra temperaturas de 50°C a las 3 p.m y 22°C a las 6 a.m. El aire mantiene temperaturas altas incluso durante la noche.

Las gráficas demuestran que el muro translúcido de polycarbonato captador de energía, inventado por el arquitecto Josep Bunyesc, es capaz de mantener una temperatura de confort en el interior de la vivienda en los días soleados y fríos de invierno, sin hacer uso de un sistema adicional de calefacción.



PLANTA PRIMERA



PLANTA SEGUNDA

 Aislante de algodón reciclado

11 Conclusiones

La reducción del consumo energético en las construcciones nuevas y existentes del siglo XXI se ha convertido en todo un reto para los arquitectos. Parece que hoy en día se está tomando conciencia en crear edificios donde se consiga un mínimo consumo energético. E incluso, como se afirma al principio de este TFG, en los últimos años, galardones tan importantes en este sector como el premio Pritzker reconoce como virtud los proyectos comprometidos con la sostenibilidad.

Sin embargo, este reto para muchos arquitectos contemporáneos se ha convertido en un método de demostrar los logros tecnológicos más innovadores y los sistemas constructivos más complejos. Lo que a menudo se traduce en la búsqueda de una “arquitectura objeto”, basada en la importancia de la originalidad, la gran escala, el impacto visual y la provocación con formas abstractas. Este tipo de edificios etiquetados como “sostenibles” porque consiguen atenuar al máximo el consumo energético, se enfrentan en ocasiones a elevados costes de construcción y mantenimiento. Coincido con la opinión de Fernández-Galiano, que como bien dice en su artículo ¡Es la economía, ecologistas!, queda lejos de ser considerada una arquitectura realmente sostenible.

Los avances tecnológicos nos han hecho olvidar que la arquitectura ha estado siempre ligada al clima. Como hemos podido ver, tradicionalmente la humanidad aprendió a vivir en colaboración con su entorno, a mantener y aprovechar los recursos naturales cercanos para conseguir un confort adecuado en los hogares. El sol era la fuente de calor más importante en Grecia y en Roma hace más de 2.500 años, por lo que se aprovechaba hasta el último rayo en invierno para calentar el interior de las casas y se conseguía bloquear la radiación en algunos momentos del año.

La aparición de todo tipo de combustibles no renovables favorecieron que las instalaciones, como el sistema de calefacción y de refrigeración de los edificios, se convirtieran en una parte esencial para el diseño de la arquitectura del Siglo anterior y del presente.

El confort interior dependía (y depende en muchas construcciones existentes) de cálculos que se basan en los días más fríos de invierno y más calurosos en verano. Estos extremos son los que determinan la arquitectura y la conducen, muchas veces, al sobreaislamiento, sobreprotección y sobredimensionado de las instalaciones. Esto provoca que el consumo energético sea muy elevado y que las instalaciones de los edificios sean las principales fuentes de emanación de gases de invernadero a la atmósfera de nuestro planeta.

Hace casi 40 años que Thomas Herzog se interesó por el aprovechamiento de la energía solar en sus edificios. Tras estudiar sus primeros trabajos, hemos sido conscientes de la importancia de entender cualquier construcción como un organismo termodinámico. Para lograr un alto rendimiento energético de forma pasiva en los edificios, hay que tener en cuenta muchos parámetros: la adecuada orientación geográfica, el ángulo de incidencia de la luz solar, la correcta circulación natural del aire, los materiales y su composición, e incluso, la forma de distribuir los espacios interiores por sus horas de uso. Así, Thomas Herzog consigue un confort interior en sus edificios con una arquitectura innovadora y elegante, respetuosa con el lugar y con una adecuada escala para sus usuarios.

El estudio Lacaton&Vassal está muy lejos de esa arquitectura contemporánea “artificial”, compleja y de impacto visual de la que se hablaba anteriormente. Su arquitectura es diferente, busca encontrar relaciones con lo existente, rehabilitar.

Con la transformación tan sorprendente de la torre de Bois-le-Prête, simplemente partiendo de la situación original y prolongando el edificio con galerías exteriores no calefactadas, se consigue una mejora del confort en el interior de las viviendas, dotarlas de superficies habitables más generosas y todo esto con las mínimas molestias a sus habitantes. Es un ejemplo fundamental para la rehabilitación de bloques de edificios existentes, con el que se consigue reducir costes notablemente e impactos medioambientales en la construcción.

La experimentación que llevan a cabo con los “invernaderos habitados”, poseen un gran interés, ya no solo desde el punto de vista climático como hemos visto en el trabajo. Estos “jardines de invierno” son espacios dinámicos donde el usuario es libre para decidir de qué manera va a usar el espacio, para moverse en él (entrar, salir, abrir y cerrar) y para manejar su propio clima. Confiar en la “inteligencia del habitante” (como se refiere Lacaton&Vassal en muchas ocasiones) para manejar el confort interior de las viviendas es algo esencial para la arquitectura residencial.

En los trabajos estudiados de Josep Bunyesc, el arquitecto consigue gracias al estudio adecuado de la orientación, los materiales y el diseño, que sus viviendas sean capaces de mantener el calor en invierno y el frío en verano sin ningún tipo de calefacción.

El muro trombé que “inventa” Josep Bunyesc para la captación solar en la Rehabilitación de la vivienda en Pessonada, compuesto por la pared existente de piedra, pintada de color negro y revestida en su exterior por ocho capas de policarbonato, es muy similar conceptualmente al muro que utiliza Thomas Herzog 30 años antes en sus construcciones. Ambas soluciones funcionan de la misma forma y son soluciones muy innovadoras en el momento.

El arquitecto Thomas Herzog desarrolló hace 30 años un sistema aislante muy eficaz e innovador: “El aislamiento térmico translúcido”, es un panel compuesto de fibras de vidrio. Colocado como revestimiento de una pared opaca es capaz de captar y transmitir los rayos solares a la misma.

El policarbonato posee unas propiedades extraordinarias que el panel de fibras de vidrio no tiene. Este termoplástico es un material muy moldeable, ligero e irrompible. Como hemos podido comprobar en la Rehabilitación de la vivienda en Pessonada de Josep Bunyesc, el policarbonato es capaz de aportar el calor necesario al interior de la vivienda sin hacer uso de la calefacción en invierno, e incluso, no se calienta en exceso en verano gracias a la inclinación de los rayos solares.

Josep Bunyesc es un arquitecto que experimenta con nuevos materiales, además del uso del policarbonato, utiliza aislantes innovadores y naturales como la lana de oveja o el algodón natural con los que consigue aislar perfectamente sus viviendas.

Tras analizar todos los casos estudio que se describen en el presente trabajo, entiendo la “arquitectura sostenible” como un tipo de arquitectura que además de conseguir reducir al máximo los costes energéticos, es respetuosa con el lugar, está pensada para el usuario y su confort, compuesta por espacios agradables y dinámicos, donde los habitantes son libres para manejar su propio clima en el interior de sus hogares.

12 Bibliografía

García-Germán, Javier (ed.). 2010. De lo mecánico a lo termodinámico: por una definición energética de la arquitectura y del territorio. Barcelona : Gustavo Gili, D.L.

Fernández-Galiano, Luis. 2006, Artículo ¡Es la economía, ecologistas! publicado en la revista ArquitecturaViva105.

Caballero, Marta. 2012. Fernández Galiano, el arquitecto de las palabras. El Cultural.es

Fernández-Galiano, Luis. 2015, Artículo La energía importa publicado en la revista ArquitecturaViva178.

De Luxán García de Diego, Margarita. 2007. Prestigio, Arquitectura y Sostenibilidad. Madrid.

Naredo, José Manuel. 2002. Instrumentos para paliar la insostenibilidad de los sistemas urbanos. Madrid.

Rubio Gutiérrez, Harmida. Reseña Ciudades para un pequeño planeta de Richard Rogers.

Vázquez Espí, Mariano. 1995. Una brevísima historia de la arquitectura solar. Lima (Perú).

López Hernández, Juan Carlos. Pérez-Parra Jerónimo. Evolución de las estructuras de invernadero.

Neila González, Francisco Javier. 2004. Arquitectura bioclimática en un entorno sostenible. Madrid: Munilla-Lería.

Nik Eteghad, Ali. Uson Guardiola, Ezequiel. Hosseini Raviz, Seyed Reza. Armesto Aira, Antonio. 2014. Re-visiting performance-based design in pursuance of passive techniques manifested in Thomas Herzog's Architecture. Architecture, City and Environment.

Goulding, John R. Lewis, Owen. 1997. Bioclimatic Architecture. Energy Research Group, University College Dublin.

D&A. 2013. Dialogue with the sun. Thomas Herzog-research and architect. Issue 20.

Bachman, Leonard R. 2003. Integrated Buildings the systems basis of architecture. New Jersey: John Wiley & Sons.

El Croquis. 2015. Lacaton&Vassal 1993-2015. Madrid: El croquis Editorial.

2GLibrosBooks. 2006. Lacaton & Vassal. Barcelona : Gustavo Gili.

Lacaton, Anne. January 2011. 2G N.60 Lacaton Vassal: Obra reciente / Recent Work. Madrid: Editorial Gustavo Gili.

Lacaton, Anne. Vassal, Jean-Philippe. Texto La libertad estructural, condición del milagro.

Ábalos, Iñaki. Texto Una cartografía imaginaria.

Karine Dana. Texto A propósito de Lacaton&Vassal: una tentativa de voz en off.

Druot, Frédéric. 2007. PLUS: la vivienda colectiva / Frédéric Druot, Anne Lacaton, Jean Philippe Vassal. Barcelona: Editorial Gustavo Gili.

Tectónica 19 Plásticos.

Josep Bunyesc.

Rodríguez Bosch, Marta. 19-Mayo-2015. 2020: Consumo casi nulo. Monográfico Especial La vanguardia.

Zabalbeascoa, Anatxu. 25/03/2015. ¿En qué radica la inteligencia de una ciudad?. Madrid: El País.

Zabalbeascoa, Anatxu. 04/12/2014. Casa que genera más de lo que consume. ¿Qué hacer con lo que sobra?. Madrid: El País.

Revista Arketipo. 2011. Casa Passiva de Josep Bunyesc. Milano (Italia).

Lijarcio, Albert. 10/05/2012. La certificación de eficiencia energética de los edificios, oportunidad para reactivar la construcción. La Vanguardia.

Reportaje TV Quèquicom. 18/01/2012. La llana: un aïllant que va molt beee!

Zabalbeascoa, Anatxu. 31/01/2011. Lo sostenible no necesita etiquetas. Madrid: El País.

Zabalbeascoa, Anatxu. 27/02/2016. El desafío de vivir del sol. Madrid: El País.

Zabalbeascoa, Anatxu. 23/11/2015. Paredes que captan el sol. Madrid: El País.

García, Marina. 12/09/2014. Un mapa donde ver las viviendas más sostenibles. El mundo.

Dwell and Zachary Edelson. Guess which humble material made this 100 year old building super energy efficient. www.dwell.com

Sustainable building challenge. 2011. 16 Edificios España. Helsinki.

Webgrafía

<http://www.thomasherzogarchitekten.de>

<http://lacatonvassal.com/>

<http://www.bunyesc.com>

<http://passivhausprojekte.de>

<http://bunyesc.blogspot.com.es/>

<http://www.construction21.org>

13 Créditos de las ilustraciones

04 ARQUITECTURA Y SOSTENIBILIDAD

- 4.1 Neila González, Francisco Javier. 2004. Arquitectura bioclimática en un entorno sostenible. Madrid: Munilla-Lería. Pág.36.
- 4.2 Neila González, Francisco Javier. 2004. Arquitectura bioclimática en un entorno sostenible. Madrid: Munilla-Lería. Pág.28.
- 4.3 Neila González, Francisco Javier. 2004. Arquitectura bioclimática en un entorno sostenible. Madrid: Munilla-Lería. Pág.29.

05 ARQUITECTURA SOLAR

- 5.1 Neila González, Francisco Javier. 2004. Arquitectura bioclimática en un entorno sostenible. Madrid: Munilla-Lería. Pág.262.
- 5.2 Idem.
- 5.3 Idem.
- 5.4 Idem.

06 HISTORIA DE LA ARQUITECTURA SOLAR

- 6.1 Márquez, Lucía. 2013. La casa griego. Oikia. lacasagriega.blogspot.com
- 6.2 Idem.
- 6.3 Smith Scarlet. 2012. El Urbanismo de Grecia. lasabiduriadegrecia.blogspot.com
- 6.4 Navarro, Jose María. 2012. El urbanismo griego. jmnavarron.blogspot.com
- 6.5 Castillo Alcántara Gonzalo. 2014. La casa romana. casafortunaumutic.blogspot.com
- 6.6 Vázquez Espí, Mariano. 1995. Una brevísima historia de la arquitectura solar. Lima (Perú).
- 6.7 Lascorz, Juan R. 2007.
- 6.8 Diseño y Arquitectura. Apartamentos Lake Shore Drive (1948; Mies Van der Rohe; Chicago). www.disenoyarquitectura.net

07 EVOLUCIÓN DE LOS INVERNADEROS

- 7.1 López Hernández, Juan Carlos. Pérez-Parra Jerónimo. Evolución de las estructuras de invernadero.
- 7.2 Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. Madrid. www.etsia.upm.es
- 7.3 www.invernadero-tecnoacero.com
- 7.4 Neila González, Francisco Javier. 2004. Arquitectura bioclimática en un entorno sostenible. Madrid: Munilla-Lería. Pág.271
- 7.5 El Croquis. 2015. Lacaton&Vassal 1993-2015. Madrid: El croquis Editorial. Pág.50.
- 7.6 El Croquis. 2015. Lacaton&Vassal 1993-2015. Madrid: El croquis Editorial. Pág.63.

08 THOMAS HERZOG, Pielas Arquitectónicas Avanzadas

- 8.1 <http://www.archilovers.com>

Regensburg House, Regensburg, Alemania, 1977-79.

- 8.2 Propia
- 8.3 Nik Eteghad, Ali. Uson Guardiola, Ezequiel. Hosseini Raviz, Seyed Reza. Armesto Aira, Antonio. 2014. Re-visiting performance-based design in pursuance of passive techniques manifested in Thomas Herzog's Architecture. Architecture, City and Environment. Pág.51.
- 8.4 Idem.
- 8.5 Propia.
- 8.6 Idem.
- 8.7 Idem.
- 8.8 Idem.
- 8.9 Nik Eteghad, Ali. Uson Guardiola, Ezequiel. Hosseini Raviz, Seyed Reza. Armesto Aira, Antonio. 2014. Re-visiting performance-based design in pursuance of passive techniques manifested in Thomas Herzog's Architecture. Architecture, City and Environment. Pág.52.

8.10 Nik Eteghad, Ali. Uson Guardiola, Ezequiel. Hosseini Raviz, Seyed Reza. Armesto Aira, Antonio. 2014. Re-visiting performance-based design in pursuance of passive techniques manifested in Thomas Herzog's Architecture. *Architecture, City and Environment*. Pág.51.

8.11 Nik Eteghad, Ali. Uson Guardiola, Ezequiel. Hosseini Raviz, Seyed Reza. Armesto Aira, Antonio. 2014. Re-visiting performance-based design in pursuance of passive techniques manifested in Thomas Herzog's Architecture. *Architecture, City and Environment*. Pág.53.

Two-family House, Pullach, Alemania, 1986-89

8.12 Propia.

8.13 Bachman, Leonard R. 2003. *Integrated Buildings the systems basis of architecture*. New Jersey: John Wiley & Sons. Pág.338.

8.14 Propia.

8.15 Idem.

8.16 Idem.

8.17 Bachman, Leonard R. 2003. *Integrated Buildings the systems basis of architecture*. New Jersey: John Wiley & Sons. Pág.335.

8.18 D&A. 2013. Dialogue with the sun. Thomas Herzog-research and architect. Issue 20. Pág.5.

8.19 <http://www.thomasherzogarchitekten.de>

Guest Building for the Youth Educational Centre, Windberg, Alemania, 1987-91.

8.20 Propia.

8.21 <http://www.thomasherzogarchitekten.de>

8.22 Nik Eteghad, Ali. Uson Guardiola, Ezequiel. Hosseini Raviz, Seyed Reza. Armesto Aira, Antonio. 2014. Re-visiting performance-based design in pursuance of passive techniques manifested in Thomas Herzog's Architecture. *Architecture, City and Environment*. Pág.53.

8.23 Nik Eteghad, Ali. Uson Guardiola, Ezequiel. Hosseini Raviz, Seyed Reza. Armesto Aira, Antonio. 2014. Re-visiting performance-based design in pursuance of passive techniques manifested in Thomas Herzog's Architecture. *Architecture, City and Environment*. Pág.63.

8.24 <http://www.db-bauzeitung.de>

8.25 Propia.

8.26 Idem.

8.27 <http://www.thomasherzogarchitekten.de>

8.28 Nik Eteghad, Ali. Uson Guardiola, Ezequiel. Hosseini Raviz, Seyed Reza. Armesto Aira, Antonio. 2014. Re-visiting performance-based design in pursuance of passive techniques manifested in Thomas Herzog's Architecture. *Architecture, City and Environment*. Pág.65.

8.28 Idem

8.30 <http://www.db-bauzeitung.de>

8.31 Idem.

09 LACATON&VASSAL, Edificios invernadero

9.1 <http://arquitecturaysociedad.org>

Ciudad Manifiesto, Mulhouse, Francia, 2001-05.

9.2 Propia.

9.3 El Croquis. 2015. Lacaton&Vassal 1993-2015. Madrid: El croquis Editorial. Pág.94.

9.4 Idem.

9.5 Propia.

9.6 Idem.

9.7 *Tectónica 19 Plásticos*. Pág.83.

9.8 *Tectónica 19 Plásticos*. Pág.75.

9.9 2GLibrosBooks. 2006. Lacaton & Vassal. Barcelona : Gustavo Gili. Pág. 49.

9.10 *Tectónica 19 Plásticos*. Pág.82.

9.11 *Tectónica 19 Plásticos*. Pág.81.

Tranformación de la Torre Bois-Le-Prêtre, París, Francia, 2005-11.

9.12 Propia.

9.13 Druot, Frédéric. 2007. PLUS: la vivienda colectiva / Frédéric Druot, Anne Lacaton, Jean Philippe Vassal. Barcelona:

Editorial Gustavo Gili. Pág.58.

9.14 El Croquis. 2015. Lacaton&Vassal 1993-2015. Madrid: El croquis Editorial. Pág.230.

9.15 Druot, Frédéric. 2007. PLUS: la vivienda colectiva / Frédéric Druot, Anne Lacaton, Jean Philippe Vassal. Barcelona: Editorial Gustavo Gili. Pág.240.

9.16 Druot, Frédéric. 2007. PLUS: la vivienda colectiva / Frédéric Druot, Anne Lacaton, Jean Philippe Vassal. Barcelona: Editorial Gustavo Gili. Pág.241.

9.17 Propia.

9.18 Idem.

9.19 <http://lacatonvassal.com/>

9.20 Idem.

Frac Nord-Pas de Calais, Dunquerque, Francia, 2009-13.

9.21 Propia.

9.22 <http://lacatonvassal.com/>

9.23 <http://lacatonvassal.com/>

9.24 Idem.

9.25 Propia.

9.26 Propia.

9.27 El Croquis. 2015. Lacaton&Vassal 1993-2015. Madrid: El croquis Editorial. Pág.291.

9.28 El Croquis. 2015. Lacaton&Vassal 1993-2015. Madrid: El croquis Editorial. Pág.284.

9.29 El Croquis. 2015. Lacaton&Vassal 1993-2015. Madrid: El croquis Editorial. Pág.282 y 284.

9.30 El Croquis. 2015. Lacaton&Vassal 1993-2015. Madrid: El croquis Editorial. Pág.290.

10 JOSEP BUNYESC, Arquitectura Solar Pasiva

10.1 <http://www.bunyesc.com>

Casa Bunyesc, Lleida, España, 2009.

10.2 Propia.

10.3 <http://plataforma-pep.s3.amazonaws.com>.

10.4 <http://www.bunyesc.com>

10.5 Idem.

10.6 Propia.

10.7 Idem.

10.8 Sustainable building challenge. 2011. 16 Edificios España. Helsinki. Pág.41.

10.9 Sustainable building challenge. 2011. 16 Edificios España. Helsinki. Pág.40.

10.10 <http://www.lavueltaisol.es>

10.11 <http://www.lavueltaisol.es>

10.12 <http://www.bunyesc.com>

10.13 Idem.

10.14 Idem.

Rehabilitación de vivienda en Pessonada, España, 2014.

10.15 Propia.

10.16 <http://www.bunyesc.com>

10.17 <http://bunyesc.blogspot.com.es/>

10.18 Idem.

10.19 Idem.

10.20 Propia.

10.21 Idem.

10.22 Josep Bunyesc.

10.23 <http://bunyesc.blogspot.com.es/>

10.24 <http://www.bunyesc.com>

10.25 <http://noticias.arq.com.mx>

10.26 Josep Bunyesc.

10.27 Idem.

10.28 Idem.

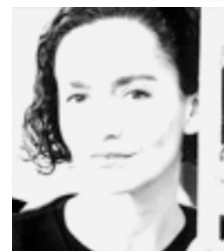
10.29 Idem.

14 Anexo I

EL PAÍS 

BLOGS CULTURA 

DEL TIRADOR a la ciudad



PAREDES QUE CAPTAN EL SOL

Anatxu Zabalbeascoa

23 de noviembre de 2015

FOTO: Stella Rotger



El primer proyecto del arquitecto Josep Bunyesc fue un clásico -su propia casa- que, sin embargo, resultó ser un reto extraordinario. El ilerdense levantó a las afueras de su ciudad la primera casa pasiva española, esto es, la primera vivienda con nulo o muy bajo consumo energético. Había aprendido a construirlas en Bélgica, donde estudió. Desde entonces, cada uno de sus proyectos ha sido un reto, o un invento, de los que este blog ha procurado ir dando cuenta. De remodelar un refugio de montaña – buscando idéntico bajo consumo- a almacenar el sobrante de la energía acumulada en los paneles solares de su casa para utilizarlo como combustible para su coche.

El último de estos proyectos-inventos es un muro transparente capaz de captar energía solar. Un material que además de aislar y acumular energía no interrumpe la llegada de la luz. Bunyesc lo empujó en la rehabilitación de esta vivienda en la falda de los Pirineos. Y, atención porque esto también es una novedad, no ha informado de los resultados hasta haber comprobado durante un año, cuatro estaciones, cómo reaccionaba el muro captador transparente. Hechas las pruebas con el frío y el calor, estos 12 meses certifican que el invento ha sido un éxito. Así funciona:

El muro captador sustituyó la fachada sur de una antigua vivienda que estaba deteriorada y en la que era imposible agrandar los huecos para permitir una mayor entrada de luz y sol y para reducir de esta manera el consumo energético. Además de instalar el nuevo muro translúcido (paneles de ocho capas de policarbonato), toda la vivienda se aisló con algodón reciclado.

El resultado fue que la temperatura en el interior de la vivienda nunca descendió por debajo de los 20 grados a pesar de que en el exterior la media invernal estuviera entre los 4 y los 10 grados. En todo el invierno los



dueños no hicieron uso de la estufa nueva que habían comprado. Hoy la han puesto a la venta, junto a los edredones que han entendido que jamás necesitarán.

“No se lo podían creer ni ellos ni la madre de la propietaria, que no entendía de dónde salía el calor”, explica el arquitecto. No es fácil entenderlo, son los paneles de policarbonato los que lo captan y lo transmiten al muro de 35 centímetros de grosor. De esta manera, la hora más cálida se posterga a cuando el sol ya no está: las 11 de la noche, cuenta Bunyesc.

Una estufa de biomasa funcionaría en caso de que un invierno cambiara el clima y el porcentaje de días soleados disminuyera en la zona. No fue el caso el pasado invierno. Pero, ¿qué sucedió en verano? ¿Se asaron de calor con un muro ideado para captarlo? Con el sol alto, el muro de policarbonato no se calienta. Y en la casa no hace calor porque el aislante funciona igual frente al frío que frente al calor. Un sistema de persianas ligero, ventilado y desmontable puede utilizarse en algún momento cuando el verano va dejando paso al otoño. No hace falta nada más.

Bunyesc está muy agradecido a los propietarios de esta casa porque no tenía claro si lograría controlar completamente las altas temperaturas del verano. Por eso previó varias opciones de protección solar, pero los propietarios aceptaron que no las aplicara hasta comprobar el grado de calor. El verano pasado fue muy caluroso en toda España. Los propietarios de la casa con paredes que captan el sol ideada por Bunyesc no acusaron esas altas temperaturas. Y el arquitecto no tuvo que aplicar ninguno de los sistemas planificados. Ni los propietarios gastaron dinero en lo que no necesitaban.

Precio por metro cuadrado de la rehabilitación según arquitecto: 700 euros.



