



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

La energía como estrategia de proyecto en la
arquitectura española contemporánea

Autor/es

María Unceta Pajares

Director/es

Jaime Magén Pardo

Escuela de Ingeniería y Arquitectura (EINA)
2015

LA ENERGÍA COMO ESTRATEGIA DE PROYECTO
EN LA ARQUITECTURA ESPAÑOLA CONTEMPORÁNEA



RESUMEN

El papel de la energía en la arquitectura ha sido significativo en la evolución y caracterización de la misma hasta la actualidad. El control de la energía térmica hace de la arquitectura un espacio confortable; el tratamiento de la energía lumínica compone y diferencia los espacios; y, al fin y al cabo, la energía artificial es la que hace funcionar las actividades diarias en el mundo contemporáneo.

La mentalidad actual sobre los recursos obliga a priorizar la energía natural frente a las fuentes de energía artificial. Es la función energética del patio la que acaba por configurar la vivienda en las primeras civilizaciones mediterráneas, donde es prioritaria la protección del calor. Por otro lado, distinta composición y carácter tendrán las viviendas medievales cuando su situación más septentrional les obliga a protegerse del frío. Una vez resuelto el problema térmico sus edificios priorizarán la búsqueda de luz, de forma que el desarrollo del vidrio llevará a los individuos hasta su uso indiscriminado durante el apogeo del Estilo Internacional. Sin embargo, un nuevo proceso llevará a la crítica de ésta universalización en favor de la atención a las enseñanzas regionales y a la lógica constructiva que se pretende respaldar en este trabajo.

Así como en Europa la mentalidad general se muestra más comprometida con respecto al uso racional de la energía, España se encuentra en proceso de adaptación. Se pretende contribuir a impulsar la difusión de dicho concepto mediante la exposición de una serie de proyectos, clasificados en función de las estrategias que se han llevado a cabo para conseguir optimizar su consumo energético. El carácter evolutivo del concepto de la energía conlleva elaborar un trabajo que no puede explicarse de forma directa, sino que precisa hacer un recorrido a través de las habilidades de las que hemos aprendido, y que han ido abriendo camino a la elaboración de las estrategias energéticas cada vez más comprometidas con el medio en la actualidad.

ABSTRACT

The role of energy in architecture has been significant in the development and characterization of it until today. Thermal energy control makes of the architecture a comfortable space; lighting energy treatment organizes and distinguishes spaces; and, after all, artificial energy is the one that allows us to accomplish our daily activities in the contemporary world.

The current thinking of resources requires prioritizing natural energy versus artificial sources. Actually, it is the energetic function of the patio which eventually determines housing in the early Mediterranean civilizations, where the protection against too much heating is the priority. On the other hand, medieval houses would have different character and composition when its septentrional situation forces them to protect themselves from the cold. Once the thermal problem is solved, they would prioritize the search for lighting, therefore the development of glass will lead individuals to its indiscriminate use during the peak of International Style. Nevertheless, a new process will lead to the criticism of this globalization in favor of the return to regional lessons and the logical construction that this essay aims to support.

While Europe seems to be more committed to the rational use of energy, Spain is still in adaptation process. The purpose of this work is to contribute to the promotion of this concept by exposing a number of projects, which are classified according to the strategies that have been carried out for adjusting their energy consumption. The evolutionary character of the concept of energy heads to the development of a research that can not be explained directly, but which needs to look through the abilities we have learned that have been paving the way to the elaboration of more and more committed to the environment energetic strategies today.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN

- 10 Presentación
- 12 Conceptos
- 16 Contexto
- 17 Contexto social
- 18 Contexto físico

UNA RESPUESTA AL LUGAR Y AL CLIMA

- 21 Confort y habitabilidad

ESTRATEGIAS BÁSICAS

- 23 Recursos de la arquitectura popular.
Evolución del uso de la energía y la arquitectura.
- 25 Arquitectura popular española.

ESTRATEGIAS DE LA MODERNIDAD

- 27 La modernidad en Europa.
La Ciudad Refugio y el muro cortina.
Arquitectura y adaptación al clima en la obra de Le Corbusier.
- 30 El movimiento moderno en España.
La celosía de Coderch.
La luz y el prefabricado de hormigón de Miguel Fisac.

ESTRATEGIAS CONTEMPORÁNEAS

- 32 El edificio de bajo consumo.
Casa 1014. H Arquitectes.
- 38 Estándar Passive House.
Casa pasiva Magda. Josep Bunyesc.
- 44 Rehabilitación.
Casa MZ. Calderón-Folch Sarsanedas.
- 50 Termodinámica.
Centro de Ocio de Azuqueca de Henares. Ábalos + Sentkiewicz
- 56 La geotermia como energía natural.
Centro de investigación. H Arquitectes.

REFLEXIONES FINALES

- 63 Conclusiones
- 64 ¿Por qué no hablamos de *sostenibilidad*?

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 66 Bibliografía

PRESENTACIÓN

Esta investigación tiene por objeto exponer el papel que desempeña la energía en la arquitectura, un concepto que ha estado presente a lo largo de la historia, y que, tras pasar a un segundo plano, actualmente vuelve a tener un carácter decisivo. Se trata de un estudio orientado a conocer e investigar sobre aspectos técnicos y estéticos de integración de la energía en la arquitectura que se habían descuidado, y, afortunadamente, se están recuperando en los últimos años.

La crisis económica lleva a los arquitectos a plantearse más detenidamente cada detalle, en lugar de actuar con la indiscriminación que tuvo lugar en la década previa a este periodo. El hecho de proyectar con medios limitados tiene como ventaja la reinterpretación de las técnicas constructivas y el uso de materiales que encontramos en la tradición local, ofreciéndonos la oportunidad de implicarnos más con la comunidad para la que trabajamos y de hacer de la necesidad la virtud.

El correcto aprovechamiento de la energía es primordial, pero no debemos olvidar que lleva consigo una buena integración de ésta en los propios edificios, en la forma urbana y el entorno. Por ésta razón debemos responder mediante el diseño a los planteamientos y necesidades energéticas de la actualidad.

CONCEPTOS

¿Por qué hablar de energía?

Nos encontramos en una situación de la historia de la arquitectura que exige un nuevo planteamiento de su forma de proyectar debido a la toma de conciencia del carácter limitado de los recursos de los que disponemos para realizar nuestra actividad.

¿Por qué es importante en el sector de la edificación?

Los arquitectos y los agentes que intervienen en la construcción somos responsables de una actividad que consume más de un 40%¹ de los recursos energéticos y naturales del planeta.

¿Por qué sobre la arquitectura española?

El estudio se acota a la arquitectura en España con el fin de exponer qué criterios energéticos debemos aplicar o tener en cuenta en nuestro ámbito de trabajo nacional. Otros países demuestran mayor avance en la materia, pero sus modelos no son directamente aplicables en el que vivimos debido a diferencias climáticas, sociales y arquitectónicas. Se pretende dar a conocer “modelos autóctonos”.

¿Cómo interviene e influye la energía en la arquitectura?

La energía está presente de forma explícita en los sistemas artificiales de iluminación y climatización, pero éstos se incorporan para completar y cubrir las deficiencias de los sistemas pasivos y de energías naturales. Cada sistema supone un consumo energético y unas emisiones de dióxido de carbono que debemos tener en cuenta. El flujo de energía que se introduce, se genera, se almacena y se pierde en los edificios es la materia sobre la que se va a reflexionar.

Para la correcta comprensión de este estudio se deben tener claros unos conceptos determinantes en la materia. En primer lugar, el objeto de estudio: ¿Qué es la energía?

La **energía** es la capacidad de los cuerpos para realizar un trabajo y producir cambios en ellos mismos o en otros cuerpos, es decir, la capacidad de hacer funcionar los elementos. En la práctica arquitectónica va a estar presente en todos los procesos de acondicionamiento del ambiente interior, desde la regulación del confort higrotérmico hasta los sistemas que requieren su consumo para funcionar. En esta aproximación al uso de la energía en la arquitectura nos centraremos en los tipos más relevantes, que serán la energía térmica, la energía solar y la energía geotérmica.

¹ Dato obtenido en *El pequeño manual del proyecto sostenible*, Françoise-Hélène Jourda. Gustavo Gili, 2012.

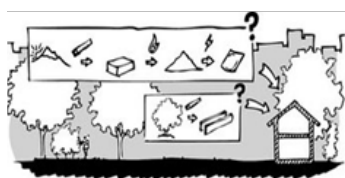
La **energía térmica** o calorífica es la manifestación de energía en forma de calor, cuyas formas de transmisión son mediante convección, conducción y radiación. Es preciso el riguroso conocimiento del modo en que se transmite con el fin de controlar su distribución e intensidad en los edificios para conseguir el ambiente deseado.



F1. Aprovechamiento de la energía solar.

La **energía solar** es aquella obtenida a partir de la radiación electromagnética procedente del sol que podemos aprovechar para producir calor y electricidad, dando lugar a la energía fototérmica y la energía fotovoltaica. Resulta muy útil para el calentamiento del agua y la obtención de electricidad de forma natural, lo cual conlleva una reducción del consumo energético.

La **energía geotérmica** es aquella que utiliza la temperatura interna de la Tierra, que aumenta con la profundidad, para producir energía en forma de calor o electricidad. En aquellos proyectos donde es factible contribuye en la producción de energía de forma natural.



F2. Energía embebida en los materiales.

Es importante considerar además la llamada **energía embebida** o energía gris, que es aquella empleada en los procesos de fabricación y transporte de los productos, que a veces no consideramos a la hora de la correcta elección de sistemas constructivos. Para tener un control sobre los materiales nos basamos en el análisis del ciclo de vida, que aporta la información sobre este tipo de consumo energético.

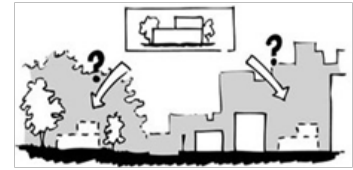
Una vez tenemos definidas las formas en las que se nos presenta la energía en los edificios debemos saber cómo controlar su uso y distribución. Para ello existen los conceptos de demanda y consumo energético. La **demand energética** es aquella necesaria para mantener en el interior de un edificio las condiciones de confort requeridas por el individuo, mientras que el **consumo energético** es el gasto que realmente se produce. La primera depende fundamentalmente del contexto físico y las características del proyecto, y por otro lado, el consumo además depende del usuario y su comportamiento; son conceptos interdependientes que deben estudiarse de forma conjunta.

Por último, entendiendo que este trabajo pueda relacionarse con la ecología, se expone el concepto. El diccionario de la Real Academia Española define la palabra como “*ciencia que estudia las relaciones de los seres vivos entre sí y con su entorno*” o “*parte de la sociología que estudia la relación entre los grupos humanos y su ambiente, tanto físico como social*”. El término proviene de la palabra griega *Ökologie*, resultado de la raíz *oikos*, que significa casa, y *logía*, sufijo que indica estudio. Por lo tanto, podemos definir *ecología* como “estudio de los hogares de los individuos”, entendiendo que no se trata de un concepto únicamente medioambiental ajeno a la arquitectura, sino del propio estudio de la misma, como hogar de los seres humanos, y de su relación con el entorno.

El contexto es la realidad en la que se inscribe el proyecto, que supone el conjunto de condiciones impuestas por el medio físico, sea natural o artificial, y el conjunto de factores humanos no físicos, es decir, todas aquellas características susceptibles de influir en el desarrollo del proyecto. El lugar es de donde obtenemos la energía para iluminar y hacer habitables nuestros proyectos, por lo tanto, es el primer factor determinante del proceso y deben analizarse correctamente los condicionantes y las interacciones previamente a la toma de decisiones.

El hecho que en ocasiones no se tiene suficientemente en cuenta, y se pretende exponer en este trabajo, es que la arquitectura afecta a la configuración del medio físico y viceversa, ya que pocos aspectos le son indiferentes. Debemos entender el lugar como un medio compuesto, interrelacionado y organizado en el que se integra la arquitectura, considerando que en ocasiones las variables que no se consideren en el momento oportuno pueden afectar al éxito de la propuesta.

Por lo tanto, antes de proceder a explicar el papel de la energía en el proyecto debemos comprender su lugar, porque cada respuesta es única y se corresponde con un contexto físico y humano concreto.



F3. Importancia de la elección del correcto emplazamiento.

Contexto social

El modelo de crecimiento que ha seguido la sociedad hasta entrado el siglo XVIII, se ha caracterizado por llevar un *metabolismo circular*¹, es decir, el ciclo que seguían los recursos energéticos para convertirse en productos, acababa con una serie de residuos que volvían a formar parte de la naturaleza en forma de recursos. De esta forma no se agotaban las fuentes ni se acumulaban los residuos, debido a que un sistema circular constituye un sistema estable. Sin embargo, la revolución industrial supone un cambio del sistema productivo, convirtiendo la producción en un modelo lineal que hace un mal uso de los recursos y que en definitiva, es un sistema inestable. Este sistema ha ido desestabilizándose más durante los años, hasta que la primera voz de alarma obliga a la sociedad a replantearse su forma de vida y a intentar recuperar un esquema circular mediante un mejor uso de los recursos disponibles.

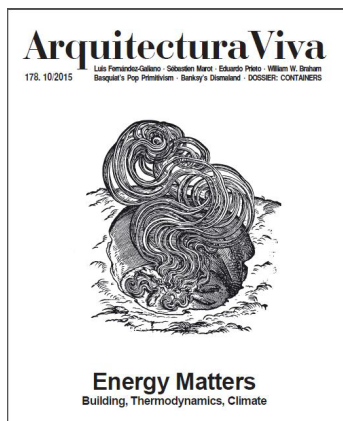
Podríamos decir que la primera llamada gubernamental que trascendió a la opinión pública fue la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo, que tuvo lugar en 1992 en Río de Janeiro. Esta reciente concienciación tiene sus antecedentes en el Informe Brundtland (1987) y su posterior desarrollo de normativa relativa a la eficiencia energética a partir de los años 90, que llega a España en el año 2006 con la actualización del Código Técnico de la Edificación (CTE) y se ampliará en 2013 con un Documento Básico sobre el ahorro de energía.



F4. Esquemas ilustrativos del metabolismo circular y el metabolismo

¹ Society's metabolism: the intellectual history of materials flow analysis. Marina Fisher-Kowalski. 1998.

¿Hacia dónde vamos?



F5. Portada de la revista *Arquitectura Viva* 178. Año 2015. Número dedicado únicamente al papel de la energía en la actualidad.

En el año 2008, debido a la insuficiente efectividad de la normativa vigente, los Estados miembros de la Unión Europea aprueban el objetivo 20-20-20. Se trata del compromiso para conseguir reducir las emisiones de gases efecto invernadero en un 20%, el ahorro de un 20% del consumo de la energía mediante una mayor eficiencia energética y la promoción del uso de energías renovables hasta el 20%.

En la actualidad existe el conocimiento suficiente para construir edificios de bajo consumo energético y de bajo impacto en el medio natural. Si pretendemos llegar a los objetivos marcados, bien sea por necesidad o por implicación propia, debemos seguir recorriendo el largo camino de la investigación para continuar ofreciendo nuevas ideas, técnicas constructivas y materiales que permitan seguir haciendo arquitectura de calidad a la vez que equilibramos la energía que necesitan nuestros proyectos.

Contexto físico

Gestión de la energía exterior

Se ha expuesto anteriormente como el conocimiento del contexto geográfico es decisivo a la hora de proyectar aprovechando la energía del entorno. Es evidente en la arquitectura de Coderch cómo cambia la estrategia de utilizar la protección solar y los tejados tendidos, eco de la arquitectura mediterránea, para realizar grandes e inclinados aleros y utilizar técnicas de captación solar en la Casa Olano en Santander. Resulta evidente la importancia de conocer las características del entorno para elaborar una respuesta coherente, por lo tanto, se va a realizar un análisis de las características climáticas del ámbito de estudio.

Dentro de los factores que intervienen en caracterizar un clima determinado, la temperatura es, de forma general, el más representativo. Distinguimos de forma esquemática entre climas cálidos, templados y fríos, caracterizando el clima de la península ibérica dentro de los climas templados a pesar de sus fuertes contrastes geográficos. Paradójicamente, es la arquitectura de estos climas aquella que más factores ha de tener en cuenta, por lo que podríamos definirla como la más compleja. Debemos protegernos del frío, pero también del calor, que pueden darse de forma húmeda o seca, además de las diferencias en las estaciones intermedias. El problema de este tipo de clima, que no es mayor que el de los climas fríos y los climas cálidos, es la variabilidad que presentan a pesar de no tener la misma dureza, por lo que proyectos que se integren en este clima deben



F6. Casa Olano en Comillas. J. A. Coderch. 1957.

estar preparados para grandes saltos térmicos e incluso producidos en cortos periodos de tiempo. De este modo es evidente la importancia de los sistemas de control de energía flexibles, es decir, las técnicas que permitan cambiar la situación ambiental en función de las condiciones climáticas cambiantes. Por eso, los sistemas de protección de la energía solar móviles, las aberturas practicables y los espacios intermedios de carácter interior-exterior pueden controlar la entrada de la energía térmica en los edificios.

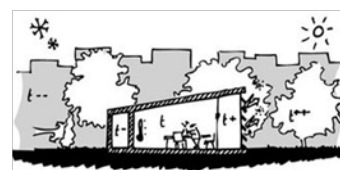
Gestión de la energía interior

“El interior aparece como talón de Aquiles de la modernidad, aquello que hubo que rendir para sobrevivir en un mundo mecanicista y cambiante que trastocaba los saberes disciplinares tradicionales a favor de una tecnificación de los sistemas materiales y del ambiente (...).”¹

Iñaki Ábalos pretende defender la implicación de la energía exterior en un interior, y la función del modelado interior en el exterior a la vez que ésta varía según las regiones climáticas y su energía exterior. El movimiento moderno llevó a los arquitectos a rendirse ante los sistemas añadidos antes del diseño integral de los espacios, debido a una universalización de técnicas indiferentes a la caracterización del exterior y el interior del proyecto. Una vez hemos esquematizado como se distribuye y funciona la energía exterior en la estrategia proyectual, hemos de conocer las consecuencias que ello conlleva en los interiores de la arquitectura. Por consiguiente, se trata de un proceso de análisis que debe comenzar por la caracterización del lugar en función de los parámetros energéticos y debe trasladarse al interior a través de métodos diferenciados.

El interior interpretado desde esa hipótesis puede funcionar como fuente o sumidero. Si volvemos a la caracterización de la energía exterior podemos hablar de los climas fríos o los climas templados con fuerte variabilidad que atienden a unas necesidades estacionales, mientras que un interior en una región cálida se verá determinado por unas necesidades diarias. De este modo, en una región fría, o en una templada en su estación de bajas temperaturas, el hogar se convierte en el centro de la vivienda como fuente de ganancias de calor y de iluminación. Por el contrario, en las regiones cálidas y en la estación de altas temperaturas en aquellas templadas, el interior es un sumidero de ganancias, dónde la ventilación y la protección solar perimetral las hacen desaparecer.

En la materialización de esta serie de conceptos es donde debe estar presente la práctica arquitectónica en el contexto de la problemática actual.



F7. Interrelación de la energía interior y exterior

¹ Iñaki Ábalos. *Interior: Fuentes y Sumideros*. AV Monografías 169, 2014.

UNA RESPUESTA AL LUGAR Y AL CLIMA

Confort y habitabilidad

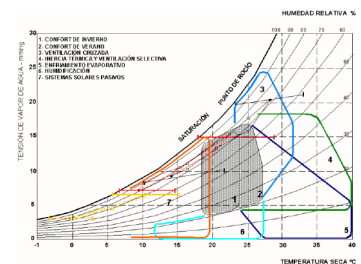
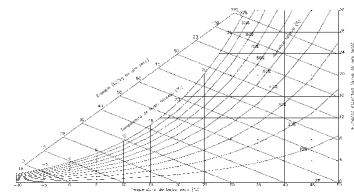
La arquitectura surge de la necesidad, por un lado de cubrir unas necesidades de programa y proyecto, y por otro, de cumplir las expectativas de satisfacción de eficacia y confort de los usuarios. Sin embargo, el orden de estos dos factores ha sido dispar a lo largo de la historia, como veremos a lo largo de la evolución del factor energético en la arquitectura.

El hombre, inmerso en un particular entorno, establece una relación de intercambios de energía cuando el cuerpo humano tiende a mantener, frente a un entorno variable, unas condiciones interiores estables. Debemos conocer cómo se producen estos intercambios para optimizar el diseño del ambiente arquitectónico. Estudiaremos posteriormente cómo Le Corbusier en los años cincuenta ya investigó con las variables relativas al confort humano, que son, la temperatura y velocidad del aire, la humedad y la temperatura radiante. Para un efectivo acondicionamiento ambiental es prioritario el análisis del ambiente en relación a su efecto en la arquitectura para poder comenzar a plantear las estrategias adecuadas. En este trabajo se va a hacer una exposición de técnicas que permiten controlar estos efectos, porque, al fin y al cabo, la arquitectura es el cobijo del ser humano frente al exterior.

Se pretende recuperar una forma más lógica de proyectar, con ciertos criterios aplicados desde el anteproyecto o el croquis, presentando una actitud integradora de la arquitectura y la gestión de la energía mediante una visión global. Se trata de estrategias de proyecto que se basan en la distribución y el manejo de la energía, con el objetivo de aumentar el confort y mejorar la habitabilidad con el máximo aprovechamiento de los recursos evitando un mal uso de ellos, de forma que se reduzcan el coste energético y los residuos de construcción y mantenimiento, y aumente la durabilidad de los edificios. Sin embargo, no se trata de soluciones concretas, sino de formas de abordar el proyecto para conseguir resultados de calidad arquitectónica global y ambientalmente óptimos.

El estudio parte de la arquitectura privada, considerando la vivienda como reflejo de la forma de ser de una población y de las relaciones entre sus habitantes. Cabe citar a Vicente Lampérez y Romea, cuando dice: *“la arquitectura privada ofrece la extraña dualidad de ser variable socialmente y permanente geográficamente.”*

¹ No obstante, estudiaremos cómo estas estrategias son igualmente aplicables a proyectos públicos menos acotados, de la misma forma que ha ido aprendiendo la arquitectura pública de la arquitectura popular durante su evolución y viceversa.



F8. Carta psicrométrica. Relaciona los parámetros de temperatura y humedad para obtener la *zona de confort*, es decir, la zona en las condiciones de temperatura y humedad requieren el mínimo gasto de energía al cuerpo para ajustarse al ambiente. El resto de zonas exigen un control de la energía para llegar al estado de confort, y se distinguen según la forma en la que llegan.

¹ Vicente Lampérez y Romea. *Arquitectura civil española*, tomo I. Madrid. 1922.

ESTRATEGIAS BÁSICAS

Recursos de la arquitectura popular

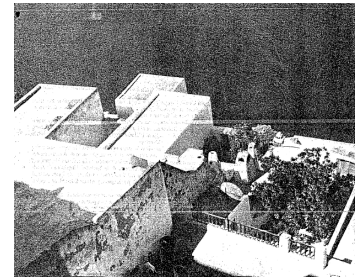
La energía como estrategia de hacer arquitectura está presente en toda su historia, cuando no se tenía ni siquiera sospecha de que la actividad antropogénica sobre el entorno pudiera desestabilizarlo. Este concepto está presente en la base de la arquitectura; desde la más esencial a los grandes maestros. Para elaborar estrategias de aprovechamiento de energía y recursos naturales debemos remontarnos a la práctica constructiva que únicamente contaba con ello, la esencial *arquitectura sin arquitectos*¹.

“La arquitectura vernácula no sigue los ciclos de moda. Es casi inmutable, inmejorable, dado que sirve su propósito a la perfección.” Rudofsky fue uno de los primeros en reclamar la importancia de la arquitectura popular. Más que a construir, el arquitecto se dedicó a investigar el modo en que las diferentes culturas construyen sus espacios habitables, para defenderse del clima y adaptar el ambiente para conseguir el confort necesario para vivir. Frente a los edificios de acero y cristal de la modernidad, defendió los valores de la casa patio de Andalucía, la cual generaba un microclima beneficioso, reposo, silencio e intimidad.

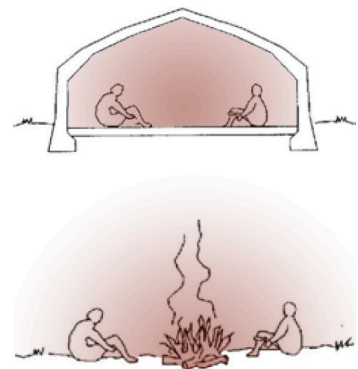
Evolución del uso de la energía y la arquitectura

Reyner Banham² explicó cómo la humanidad busca solución al duro ambiente exterior mediante dos tipos de estrategias. En primer lugar utiliza técnicas de carácter constructivo, como la cueva, refugio de los primeros individuos donde la temperatura interior tiende a mantenerse estable. Posteriormente, surgen las técnicas energéticas con el fin de completar el refugio físico con el dominio del fuego.

Cuando los métodos de protección del ambiente evolucionan surgen las primeras civilizaciones mediterráneas. Las ciudades mesopotámicas y egipcias muestran como el clima cálido extremo se combate a través de muros de adobe de grandes espesores y con aberturas mínimas, con el objetivo de evitar ganancias energéticas no deseadas pero asegurando la posibilidad de tener ventilación cruzada. Se trata de edificios cerrados al exterior y abiertos a un patio interior que aprovechan la máxima inercia térmica y el frescor de la noche. A diferencia de éstas, las civilizaciones cretense y griega cuentan con un clima benigno con mayor humedad, donde una arquitectura más extrovertida busca airearse con un carácter urbano. Sus pórticos exteriores permiten a sus habitantes moverse por la ciudad protegidos de la radiación directa en verano y del viento en invierno.



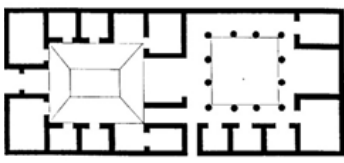
F9. Casa típica mediterránea. Bernard Rudofsky. *Arquitectura sin arquitectos*, 1973.



F10. Técnicas de carácter constructivo y técnicas de carácter energético. Definidas por Reyner Banham.

¹ Bernard Rudofsky. *Arquitectura sin arquitectos*. 1973.

² Reyner Banham. *The Architecture of the well-tempered environment*. 1984.

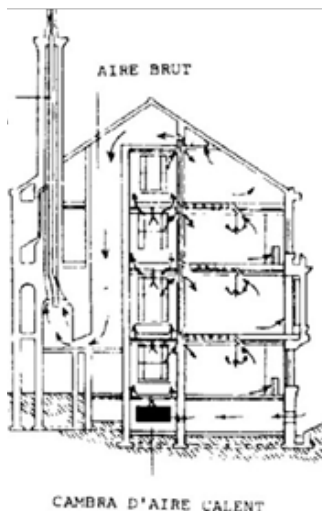


F11. Planta tipo de vivienda patio romana con impluvium y peristilo.

Por aquel entonces, Hipócrates ya hablaba de cómo la *polis* ideal debía buscar el sur con sus viviendas, de modo que el ambiente doméstico capta energía solar con una proporción mayor de huecos y mediante terrazas.

Con características similares a la cultura griega se presenta Roma, con las primeras grandes y densas aglomeraciones urbanas. Comienzan a aparecer sorprendentes técnicas en sus grandes obras públicas, como son los ingeniosos conductos empotrados en los paramentos para la conducción del calor de brasas a través de las diversas salas, que podríamos considerar un antecedente del sistema de calefacción. En cuanto a la vivienda en Roma, por un lado existe la casa atrio, cuyo patio como en toda vivienda mediterránea cumple las funciones de disipación de calor, creación de sombras y de acumulación de aire fresco durante la noche. Por otro lado aparecen las construcciones de varias plantas, definidas por la densidad y la vida pública. Es entonces cuando la especulación relega a un segundo plano el cuidado por los factores ambientales que habían protegido a los individuos hasta entonces y que continuará durante la Edad Media.

Los cambios políticos y sociales desplazan el crecimiento de Europa hacia el norte, de modo que la producción de calor y el aislamiento del frío se convierten en factores determinantes. Un problema importante en zonas situadas al norte es la búsqueda de la luz, que llevará al aligeramiento de la estructura en los edificios públicos. En el caso de la vivienda medieval, los cerramientos se realizan de obra, con materiales que se ajustan a una estructura de madera buscando la hermeticidad y aun con reducidas aberturas. El clima interior estaba poco controlado y necesitaban el fuego, el cual situado en la gran estancia principal organizaba la vivienda. Es en el s. XV cuando se da un paso hacia el confort térmico con la aparición de la chimenea, que higieniza las viviendas a la vez mantiene el calor en su interior. Una vez más, como precedente de la calefacción, las “glorias” castellanas suponían un sistema distribución de calor por conductos a través del pavimento.



F12. Octagon house, estudio de la ventilación. John Hayward.

Hasta este momento, la cuestión térmica tenía mayor relevancia que la búsqueda de luz natural, dando lugar a edificios oscuros. Hay que esperar hasta el s.XIV cuando se generaliza el uso del vidrio en las ventanas y el interior se transforma en un espacio luminoso. Esta situación continúa a través del Renacimiento y del Barroco, cuando crece la vida urbana frente a la rural. Esta época se caracteriza por la búsqueda de luz y la vida pública, donde las construcciones representativas son la edificación entre medianeras con grandes ventanas que se aprovechaban de la medianería y el carbón para mantener su temperatura.

En el s.XIX, el inicio de la revolución industrial trae consigo el comienzo de la destrucción del medio natural. Proliferan las fábricas y las densas extensiones suburbanas, caracterizadas por pésimas condiciones higiénicas. Afortunadamente,

una nueva mentalidad conseguirá establecer los primeros niveles mínimos de confort en los edificios. Un ejemplo es la vivienda *Octagon house*¹ de John Hayward, donde estudia la ventilación de las habitaciones de la casa y su extracción del aire viciado. Este concepto lo estudiará posteriormente Saenz de Oiza en *Los Apuntes de Salubridad e Higiene*. Es entonces cuando se descubre el sistema de transporte de energía calorífica a través del agua y el alumbrado artificial eléctrico, por lo que el consumo de energía aumentará en gran medida a partir de este periodo.

La evolución de la civilización de este modo se entiende como búsqueda continua de la solución a los agentes atmosféricos del lugar en que se inserta.

Arquitectura popular española

Siguiendo la teoría de Rudofsky, se analiza brevemente qué construcciones humildes se han utilizado en el caso de la España rural, las cuales se servían del ingenio para conseguir su propósito. Dada la variedad geográfica, y por lo tanto, tipológica que se da en el país, lo sintetizamos en las dos regiones como recoge en sus estudios L. Torres Balbás²; el núcleo central, con un clima extremo y seco, y la periferia de las orillas, por un lado del Mediterráneo, con un clima más suave y más caluroso de forma general o por otro el Atlántico, más lluvioso.

La cubierta es la parte esencial del cobijo del individuo, el elemento más afectado por el factor climatológico. De esta forma aparecen las *pallazas* primitivas, las cuales se distinguen por su cubierta cónica muy inclinada para repartir el calor del hogar, y su planta circular que protege de los fuertes vientos reinantes. Por otro lado está la *barraca valenciana*, en un clima benigno y seco, cuya cubierta también inclinada sólo atiende a lluvias pronunciadas esporádicas, y en cuanto a la época calurosa dicen se completa con una higuera que aporta sombra. Las casa del interior de la meseta de tapial o mampostería se benefician de la inercia termica dejando pequeños huecos para la permeabilidad al aire. En cuanto al clima benigno de la costa, podemos relacionar la *masía catalana* en su variante de las zonas costeras o la *casa mediterránea* con la casa rural romano-mediterránea que comentábamos con anterioridad, donde son posibles las terrazas, y los pórticos y galerías protegen del sol y aprovechan los vientos. Por último, cabe mencionar la estrategia de las *cuevas habitadas* de Andalucía, las cuales buscan la temperatura estable del terreno para protegerse de las inclemencias y de la incidencia del sol.

Queda expuesto así el hecho de que cuanto más elemental es una forma de cobijo, más dependerá de su medio físico, y cómo esta gama de variantes tipológicas populares es en gran parte resultado de la gran variabilidad geográfica.



F13. Palloza del Cebrero en Lugo.



F14. Barraca de la huerta valenciana.



F15. Cuevas de Guadix en Granada.

¹ Vivienda publicada en *Health and Comfort in house building*. J. James Drysdale, J.W. Hayward. 1872.

² *La vivienda popular en España*. Leopoldo Torres Balbás. 1933.

ESTRATEGIAS DE LA MODERNIDAD

La modernidad en Europa

Una vez incorporadas las técnicas de climatización e iluminación, los cerramientos pueden ser estructuras ligeras vidriadas, debido a la posibilidad de separación de la estructura y la piel del edificio. En consecuencia, las técnicas energéticas son elementos que aceptan los profesionales como añadidos a la arquitectura.

El nuevo empirismo nórdico aparece en los años cuarenta mostrando una posición de respeto al lugar, al clima, la topografía y los materiales, interrelacionada con la recuperación de la tradición que el estilo internacional rechazaba. Supone una reacción al rígido formalismo del Movimiento Moderno, reafirmando la metodología empírica integradora en el ambiente y basada en cada situación concreta, no de forma universal, que defiende la adaptabilidad del edificio a materiales, texturas, colores y tradiciones del lugar.

A diferencia de él, el Estilo Internacional había universalizado una serie de criterios ante cualquier usuario y contexto, promulgando una arquitectura en serie desvinculada del lugar. Además prolifera el uso del muro cortina, el cual tiene muy mal funcionamiento ambiental pero el bajo coste de los combustibles fósiles hace su uso preferible a las técnicas naturales. Todo ello lleva a la aparición de nuevas cargas ambientales que precisan mayores exigencias de confort. En definitiva, se superponen instalaciones de control ambiental a una arquitectura que se ha planteado sin pensar en las mismas.

La Ciudad Refugio y el muro cortina

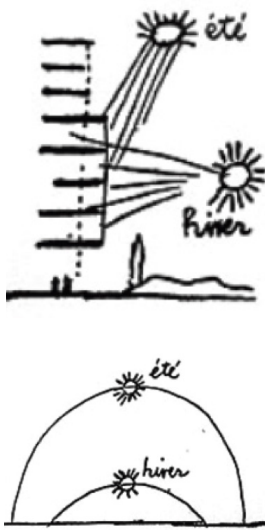
El proyecto de Le Corbusier en París muestra cómo la organización de una obra de construcción no tolera la improvisación de sus arquitectos en el campo del acondicionamiento ambiental. En sus primeros momentos, con la intención de buscar la luminosidad, la fachada de cristal de mil metros cuadrados estaba conformada por un vidrio simple sin aberturas orientado prácticamente a sur. Desde su inauguración en 1933, surgió la problemática de las enormes ganancias térmicas que se producían.

El proyecto debía incluir las funciones de alojamiento, preparación y distribución de comida y de talleres, que fueron orientados de forma que pretendía ser beneficiosa para los usuarios sin hogar, detrás de la fachada de vidrio orientada al sur. La ausencia de refrigeración en verano y la imposibilidad de abrir el acristalamiento fijo complicaron su funcionalidad energética. La fachada



F16. Fachada sur. 1933.

F17. Restauración. 1952 y 1975.

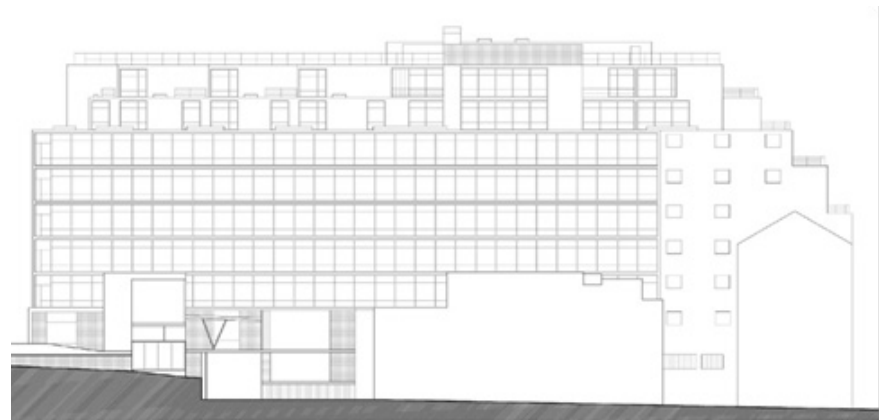


F18. Croquis del principio del brise-soleil en L'Unité d'Habitation en Marsella. Le Corbusier.

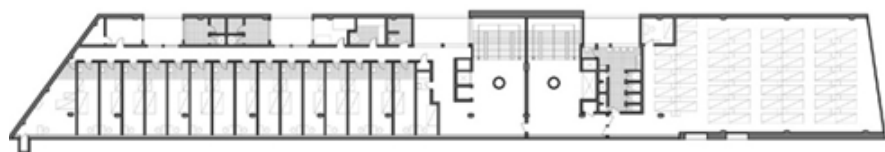
sur tiene un control térmico complejo, y aunque el proyecto inicial incluía aire acondicionado finalmente quedó excluido. Por otro lado, la calefacción que debía suplir las pérdidas energéticas que se producirían en invierno, se planteó cuando el edificio está prácticamente terminado. Por aquel entonces, el arquitecto sostenía que las aperturas de vidrio distorsionaban su obra, de modo que intentó poner en práctica dos conceptos teóricos de acondicionamiento: la *respiration exacte* y el *muro neutralizante*. El primer sistema consistía en una ventilación mecánica controlada. El segundo se basaba en la colocación de un radiador entre los dos marcos de una ventana doble donde se producía la condensación. Esta técnica debía funcionar tanto de aire acondicionado como de calefacción, pero desafortunadamente, el comprensible escaso conocimiento sobre climatización y la complejidad de las técnicas no hicieron posible su correcto funcionamiento.

El resultado de todo ello fue una necesaria restauración en el año 1952, y otra posterior en 1975. La fachada original tuvo que ser sustituida por ventanas practicables, con sistema de climatización y con la incorporación del *brise-soleil*, que solucionaba el problema de las excesivas ganancias térmicas.

A pesar de los contratiempos, esta obra supuso para el arquitecto una oportunidad más para involucrarse en el estudio del control ambiental, -evidente en las Unidades de Habitación del autor entre otras obras- que dio lugar al uso del *brise-soleil* en sus proyectos como forma de protección solar.



F19. Fachada Sur del proyecto original



Planta de habitaciones en el proyecto original

Arquitectura y adaptación al clima en la obra de Le Corbusier

Pasados los años treinta, las soluciones de la arquitectura vernácula que descubrió en sus viajes a Sudamérica y Argel y la temporal incapacidad técnica de resolver los problemas anteriores, le llevan a iniciar una investigación sobre la adaptación de su propia visión de la arquitectura al entorno. El arquitecto suizo comienza a volver la mirada a la cultura y el clima para establecer vínculos con el lugar, recuperando las enseñanzas de la construcción tradicional sin perder el papel renovador de la modernidad. En su obra de los años sesenta se muestra un conocimiento mayor del aprovechamiento de la energía en el proyecto. Sus conocimientos del control de la energía solar se materializan en la Torre de las Sombras, concebida para apoyar su teoría de que “*es posible controlar el sol en los cuatro puntos cardinales de un edificio, y es posible jugar con él incluso en un país tórrido y obtener bajas temperaturas*”. La trayectoria solar expone la variabilidad de sombras que arrojan las fachadas con brise-soleils a lo largo de cada día del año.

Este estudio se completará con cálculos gráficos que le servirán para abordar el proyecto de la *Asociación de los Hilanderos* en Ahmedabad. El encargo de participar en el planeamiento de la ciudad de Chandigarh lleva a Charles Jeanneret a descubrir la India durante su periodo de adaptación al entorno. No obstante, es significativa la desolidarización del esquema estructural Dom-ino realizado in situ y los brise-soleils prefabricados que evita ganancias y pérdidas energéticas por transmisión.

El clima seco estepario y cálido, con periodo de monzones, precisa atender distintos factores climatológicos. Por lo tanto, además de la protección de la energía solar, utilizó el control de la ventilación y la humedad para obtener el confort interior con recursos climáticos pasivos. Por consiguiente, dejó atrás el sistema de *respiration exacte* para confiar en una configuración abierta con el uso del *aerateur*, que garantizaba la ventilación cruzada y la disipación de calor a la vez que se protegía de la radiación directa. Por otro lado, el uso de muros de ladrillo macizo generaba una inercia térmica que amortiguaba la fluctuación de la energía térmica exterior. Por último, la incorporación del estanque y las jardineras colaboraban en el enfriamiento evaporativo, proceso que utilizaba la energía térmica del ambiente dando lugar a una disipación de calor, a la vez que regulaba la humedad y participaba en el aislamiento del edificio.

Este proyecto le sirve para poner en práctica las diferentes propuestas de brise-soleil en función del análisis de sombras y los niveles de energía lumínica interiores, calculados para los requisitos climáticos determinados.



F20. Torre de las Sombras. Le Corbusier. 1965.

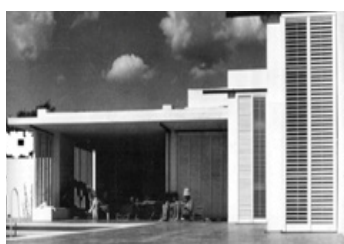


F21. Edificio de la Asociación de los Hilanderos. Le Corbusier. 1956.

El movimiento moderno en España

En España las nuevas ideas se manifiestan de forma tardía, y vendrán representadas por los arquitectos del GATEPAC que pretenden volver su atención a la arquitectura tradicional regional. Muchos son los arquitectos que con sus investigaciones publicadas demuestran la atención a la arquitectura popular, como son Carlos Flores, Leopoldo Torres Balbás o Fernando García Mercadal, cuya obra de reopilación pretende conservar las enseñanzas de la región.

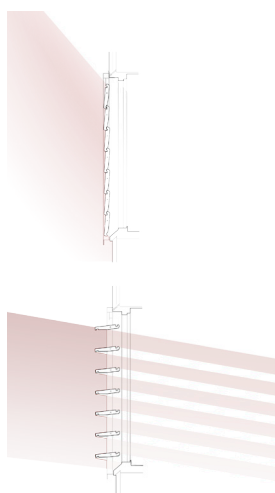
La celosía de Coderch



F22. Casa Uriach. J. A. Coderch. 1961.



F23. Edificio de viviendas en la Barceloneta. J. A. Coderch. 1955.



F24. Funcionamiento de las persianas de librillo.

El sistema de preservación de la intimidad y del control del clima, presente en gran parte de la obra de Coderch, lo aprendimos de la arquitectura popular y sigue siendo un mecanismo utilizado en la actualidad. Su obra se podría caracterizar dentro del movimiento moderno de esculturas cubistas, sin embargo, su respeto y atención al lugar lo inscriben en la tradición de arquitectura mediterránea.

Es recurrente el énfasis en preservar la privacidad del individuo a la vez que su relación con el entorno, lo cual le llevó a la elaboración de las fachadas de doble piel de protección solar, retranqueos y patios abiertos, que le permitían el control de la energía en sus viviendas. El sistema constructivo de persianas de librillo y lamas contribuye a formar el carácter del edificio a la vez que difumina la radiación solar directa del contexto natural en los proyectos unifamiliares de las casas Garriga Nogués, Dionisi o Entrecanales. La misma técnica utilizada en el contexto urbano del Conjunto de Viviendas de La Barceloneta, que busca la orientación sur de forma oblicua en la fachada. La protección de los cerramientos vidriados contribuye a disminuir la radiación directa al espacio interior, evitando un sobrecalentamiento en verano, con la posibilidad de orientarse para conseguir una captación máxima en invierno. También aparece el concepto tradicional del patio como elemento de control higrotérmico, de iluminación y de protección a los vientos en la Casa Gili o en el complejo de Les Forques. La adaptación al lugar en su obra es muy evidente en la casa Olano en Comillas, Santander, donde el clima obliga a buscar la energía lumínica y térmica a través de cerramientos vidriados sin protección solar y una geometría compacta que ayuda a estabilizar térmicamente el interior. Sus grandes aleros responden a unas condiciones ambientales a la vez que a la adaptación de la tradición del lugar mediante su forma y materialidad.

Como dicen Octavio Mestre y Anne Coste¹ *“Coderch nos enseñó a utilizar la luz y la sombra”* y *“su apuesta fue ecoenergética antes de que tuviéramos conocimiento de ese concepto”*. La celosía aúna su efectividad ambiental con el diseño, *“tendremos que volver a compatibilizar ecología y sensualidad de la arquitectura”*.

¹ Presentación del libro *Llambí: fachadas en celosía*. 2014.

La luz y el prefabricado de hormigón de Miguel Fisac

"Esencialmente el problema arquitectónico consiste en construir bellamente un recinto protegido, dentro del cual el hombre pueda alojarse y estar defendido contra la naturaleza hostil."¹ Podemos decir que desde este punto de vista Fisac defiende la arquitectura como cobijo del hombre frente a una simple composición de piezas, cuyo punto de partida es protegerse del frío, del calor y de la lluvia.

Siguiendo esa idea, en sus principios crea arquitectura contemporánea con los elementos constructivos aprendidos de la funcional tradición popular. De la misma forma, el mérito de Fernández del Amo está en extraer de la arquitectura tradicional las técnicas que buscan inspiración en la arquitectura anónima y que se basa en la relación con el paisaje natural. El poblado dirigido Vegaviana que se somete a la personalidad del emplazamiento y su tradición vernácula. Renunciando a la abstracción propia de la modernidad, del desprecio por el lugar y su entorno, Fisac combina en sus obras de muros portantes enjalbegados de cal y cubiertas de teja la racionalidad constructiva con la tradición manchega, la cual se intuye afin a sus condiciones externas.

Sin embargo, de sus creaciones más interesantes destacamos el diseño de los elementos prefabricados, que aportan el carácter al edificio a la vez que controlan la luminosidad y la energía térmica en el interior. La necesaria protección frente al sol del oeste en el Paseo de la Castellana de Madrid, lleva al arquitecto a utilizar dicho sistema en el proyecto del Edificio IBM. El encargo se realiza en un determinado solar donde un proyecto se estaba empezando a edificar con un muro continuo cortina, cuya funcionalidad era discutible debido a las indeseadas ganancias térmicas que suponía. Después de tantear distintas soluciones de brise-soleil horizontales, encontró la solución en un elemento prefabricado de hormigón vertical a modo de celosía con el objetivo de evitar la radiación directa, elemento que utilizará también para elaborar la cubierta del Centro de Estudios Hidrográficos.

Se había estudiado muy bien el funcionamiento energético de estos elementos. En primer lugar, el sistema de elementos huecos permitía desolidarizar el cerramiento mediante la cámara interior e incluso la colocación del aislamiento, lo cual contribuía a conformar una barrera frente a la transmisión de energía térmica. En segundo lugar, el ritmo contrapeado de los elementos permite pequeñas aberturas vidriadas perpendiculares a la fachada que no reciben radiación directa y cumplen los requisitos de iluminación interior.

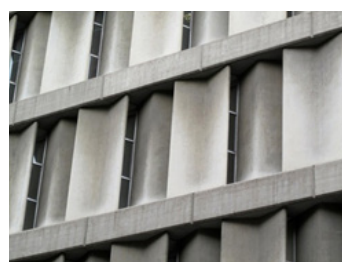
Finalmente, es evidente que el resultado de la obra del arquitecto habla de un sistema surgido de una necesidad energética que acaba por utilizarse para contribuir a conformar el carácter del proyecto.



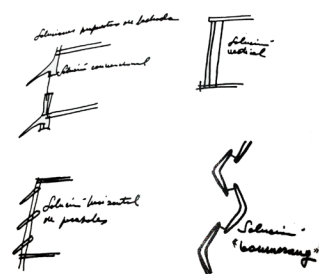
F25. Poblado de Vegaviana. Jose Luis Fernández del Amo. 1954.



F26. Centro de estudios hidrográficos. Miguel Fisac. 1960.



F27. Edificio IBM. Miguel Fisac. 1969.



F28. Investigaciones sobre la protección solar de fachada más adecuada. Miguel Fisac.

¹ Miguel Fisac. *La arquitectura popular española y su valor ante la del futuro*. Ateneo Madrid. 1952.

ESTRATEGIAS CONTEMPORÁNEAS

1. EL EDIFICIO DE BAJO CONSUMO

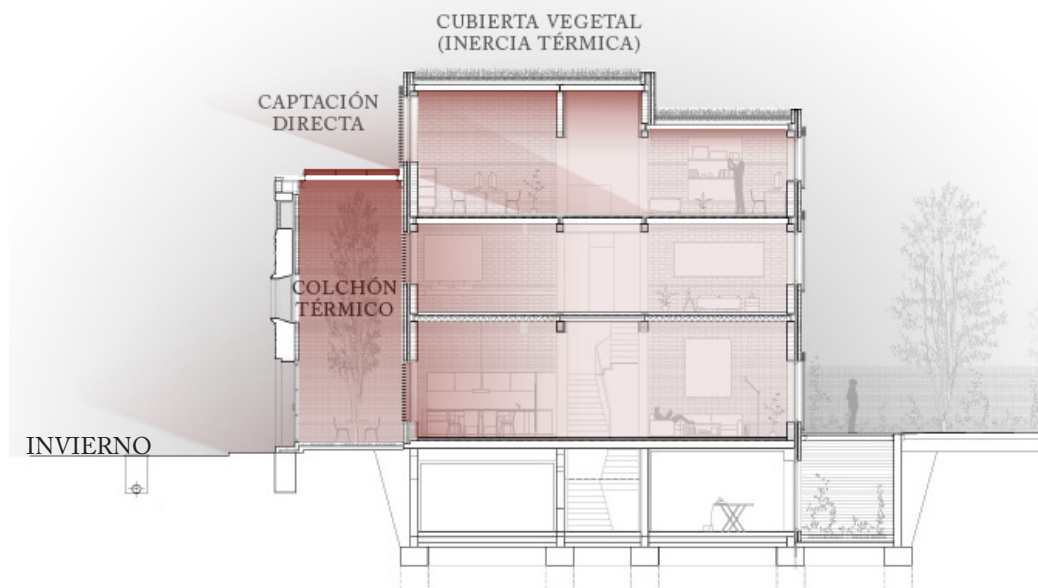


F29. Casa 1014. H Arquitectes.

¿Qué caracteriza un edificio de bajo consumo?

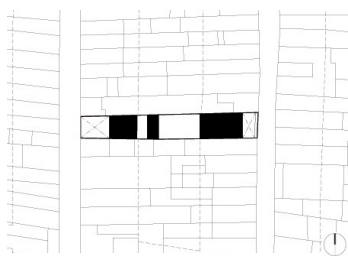
La primera estrategia que se va a exponer es la que proyecta edificios de bajo consumo energético de forma global, basándose fundamentalmente en el aprovechamiento del acondicionamiento pasivo. El consumo de un edificio se caracteriza principalmente por la demanda de climatización que requiere, es decir, de calefacción y de refrigeración. Por lo tanto, si nuestro objetivo es disminuir el consumo, debemos proyectar de forma que el edificio sea confortable y adecuado desde el primer croquis. De este modo, la demanda será mínima y con tan solo una forma de energía activa, que funcione como apoyo, conseguiremos un ambiente adecuado para el individuo. Diferenciamos esta estrategia de la que se lleva a cabo siguiendo el estándar Passive House porque éste último supone un paso más en la eficiencia energética, se reduce a unas técnicas específicas y tiene un valor más restrictivo de consumo como veremos más adelante. En esta estrategia recogemos los proyectos que mediante diversas técnicas consiguen su objetivo: tener el mínimo consumo energético posible.

Tomamos como ejemplo la vivienda 1014 de H Arquitectes, debido a que ofrece una serie de pistas sobre cómo conseguir adaptar la demanda energética a través del diseño de los espacios, y por consiguiente, el consumo. No debe confundirse con el concepto de *edificio cero*, el cual se define por su balance energético total, que no sólo refleja su consumo sino también la energía que produce. En el caso de esta propuesta hablaremos únicamente sobre la reducción en el uso de energía.



F32. Sección completa. Esquema escindido en dos estaciones.¹

CASA 1014 | HARQUITECTES

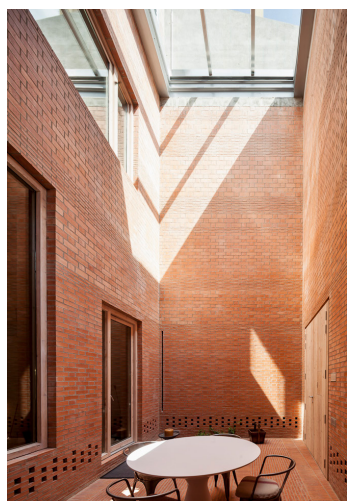


F30. Esquema de espacio lleno y vacío. Emplazamiento. Granollers, Barcelona.

Una pared de ladrillo se alza entre medianeras en el centro histórico de Granollers, Barcelona, escondiendo un proyecto resuelto en una compleja parcela, con una anchura mínima y una longitud de 53 metros. La vivienda se resuelve con dos cuerpos, cada uno con un patio previo a su espacio, separados por uno mayor central, de forma que ocupa toda la profundidad de la parcela de forma discontinua y de esta forma tiene acceso desde las dos calles de la manzana. En el volumen de la calle principal, orientado al este, se desarrolla la vida familiar, mientras que la zona oeste de la parcela se localiza el pabellón de ocio. El contexto histórico en el que se inserta se respeta mediante la conservación de la fachada principal de mampostería de piedra del edificio preexistente, el cual se presentó en estado de ruina y no permitía ser rehabilitado.

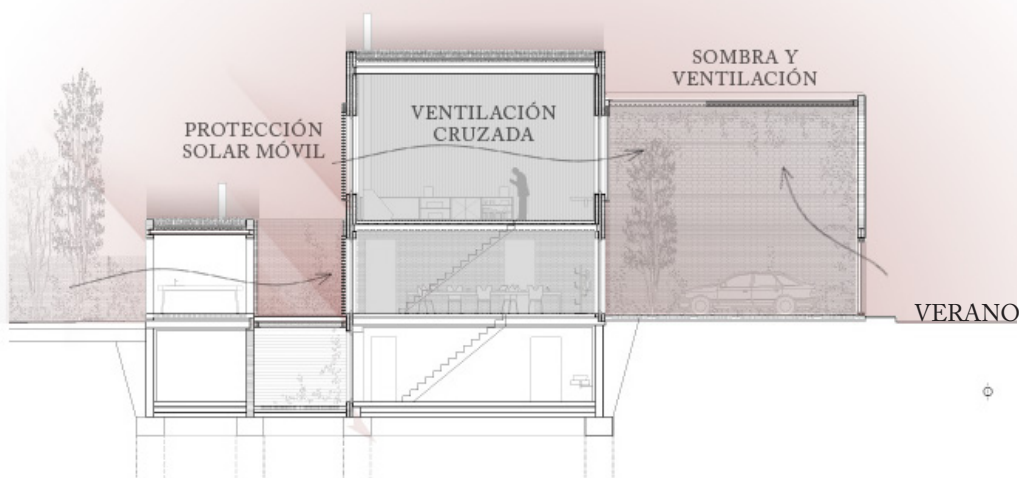
Acondicionamiento pasivo

La disposición de lleno vacío que rige el proyecto no es casual. La estrechez del ámbito de trabajo y la orientación este-oeste complican la captación solar a través de las fachadas, de modo que es preciso disolver la compacidad del volumen dando lugar a cuatro fachadas. Por motivos del control de la energía además de la privacidad, se interponen dos patios de acceso a los dos volúmenes desde ambas calles que funcionan como elementos de transición entre el interior y el exterior. Los elementos protegidos por cubiertas practicables retráctiles ofrece la flexibilidad que necesitan los edificios inmersos en climas templados, donde es necesaria la captación de energía en invierno y su disipación



F31. Patio de entrada protegido por cubierta de vidrio retráctil.

¹ El patio de acceso se cierra permitiendo la radiación solar para subir su temperatura y abrigar el interior de la vivienda. Las persianas horizontales permiten la entrada de los rayos de menor inclinación de invierno.



F33. Esquema.¹

en verano, a la vez que en las estaciones intermedias surgen ambas necesidades en cortos periodos de tiempo. El sistema consigue la captación de energía solar en invierno con la cubierta cerrada, pero permitiendo la entrada de luz, de forma que las ganancias térmicas en ese espacio contribuyan a calentar la vivienda y sirva como colchón térmico previo a los espacios interiores.

La inclinación más cerca de la horizontal de los rayos del sol en invierno facilita la introducción de la energía lumínica en el interior. Al contrario que en invierno, en verano se precisa el sombreado que evite ganancias térmicas indeseadas originadas por la radiación directa de los rayos perpendiculares. Es muy importante en este caso la ventilación, no sólo por la propia necesidad de la renovación del aire viciado sino para disipar la energía térmica que se almacena en estos espacios de ambigüedad de exterior-interior. El resultado es una arquitectura sin espacios residuales que goza de privacidad, luminosidad y confort térmico para sus habitantes.

Los porches contribuyen a conformar una visibilidad continua de toda la longitud de la vivienda. No obstante, el patio principal es el elemento sobre el que se desarrolla el proyecto. La estrategia del patio ya la hemos estudiado desde la tradición en la arquitectura mediterránea, que contribuye a la estabilidad térmica de la vivienda. Se trata además de un espacio ajardinado cuya vegetación contribuye a estabilizar los parámetros de temperatura y humedad. Se incorporan también mecanismos de protección de la energía solar en las ventanas en forma de persianas de librillo, sin embargo, el montaje se hace de forma exterior para evitar problemas de puentes térmicos que impidan controlar la transferencia de energía.

¹ El patio de acceso se abre permitiendo la ventilación para disminuir la temperatura y ventilar el interior de la vivienda. Las persianas horizontales evitan la entrada de los rayos de mayor inclinación de verano.



F34. Persianas de librillo como mecanismo de protección solar. Montaje exterior.



F35. Patio de acceso secundario con cubierta retráctil.

Por último, para apoyar a las técnicas anteriores se incorporan los sistemas radiantes de climatización, cuya fuente de energía es la temperatura estable del terreno y que estudiaremos en profundidad más adelante. Basada en la inercia térmica de los materiales, esta técnica consiste en la activación de la estructura a través del terreno lo cual contribuye a obtener un comportamiento térmico muy estable a lo largo del año. El resultado de la estabilidad es la reducción de la demanda energética del interior, tanto de calefacción como de refrigeración. Por consiguiente, queda garantizada una oscilación térmica entre 15 y 25° -10 ° C-, cuando la oscilación térmica exterior en Granollers es de más de 15°.

Materialidad y energía embebida



F36. Gama de bloques cerámicos utilizados para configurar el diseño de

La vista continua longitudinal se percibe como una sucesión de espacios donde la diferenciación entre interior y exterior se percibe gracias a la materialidad. Los arquitectos se decantan por la cerámica sin revestir, expresiva con diferentes ritmos y texturas, que inunda desde el suelo a los paramentos exteriores definiendo el límite con la luminosidad del acabado en blanco y la madera en el espacio interior.

Pero, ¿cuál es el beneficio energético del uso de estos materiales? La reducción del consumo energético también se experimenta en los materiales. En primer lugar, a diferencia de un cerramiento ligero, el uso de la fábrica de ladrillo de los muros estructurales aporta inercia térmica para contribuir a estabilizar de temperatura. Además, su aspecto bruto sin acabado aporta una presencia más matérica que crea una naturaleza interior a la vez que su textura contribuye a autoregular la humedad, lo cual supone un control del ambiente que ofrece un confort interior mayor que el del yeso. Además, el uso de este material supone un menor impacto ambiental frente a otros productos, cuando los materiales pétreos sin acabado son residuos inertes. Sin embargo, el consumo de energía en su extracción y transporte puede ser elevado, de forma que debe tratarse de materiales locales. Por último, para conformar el aislamiento -de 10 cm- dentro de la doble hoja cerámica utilizan fibras de madera, material biodegradable y cuya producción tiene un consumo de energía mucho menor que los productos de origen sintético como el poliestireno o el poliuretano.



F37. Definición del límite de los espacios por medio de la materialidad: piedra existente, cerámica sin revestir y cerámica revestida en blanco.

A modo de recapitulación, este proyecto ejemplifica una forma de proyectar que interactúa con el medio para respetarlo y en su propio beneficio. Los arquitectos dan lugar a un proyecto de espacios de calidad y de diseño, para sus habitantes y el contexto en el que se inserta, proyectando desde la consideración de los principios lógicos de acondicionamiento pasivo.

ESTRATEGIAS CONTEMPORÁNEAS

2. ESTÁNDAR PASSIVE HOUSE



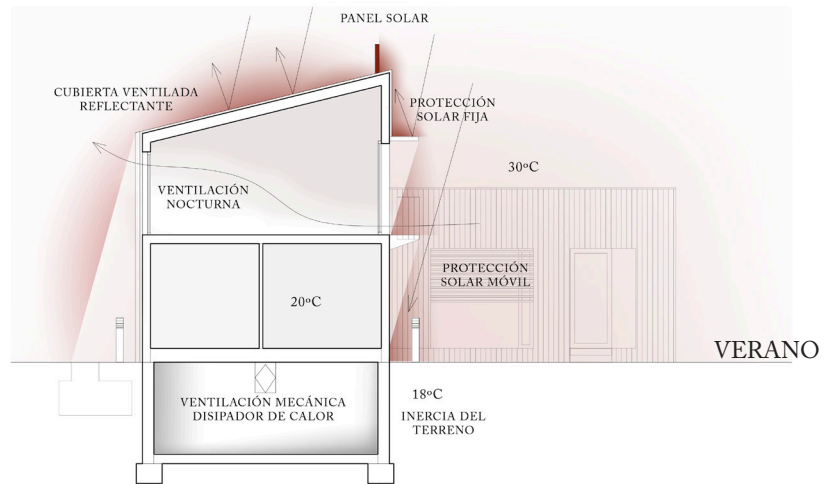
F38. Casa pasiva Magda. Josep Bunyesc.

¿Qué es una Passive House?

Passive House es un concepto constructivo que aboga por un consumo de energía muy bajo mediante un riguroso control del aislamiento térmico, las infiltraciones y ventilación, y el uso de los sistemas pasivos con el fin de obtener una máxima calidad del ambiente interior del edificio. En definitiva, consigue reducir en gran medida las necesidades de calefacción y refrigeración de forma que la energía suplementaria requerida se obtiene fácilmente con energías renovables, llegando a tener un coste energético muy bajo para el usuario y el medio. La demanda máxima establecida para la refrigeración y calefacción del proyecto es muy restrictiva; únicamente de 15 kWh/m² año. Como referencia, consideraremos que la media de consumo energético del un edificio convencional en España es de 119 kWh/m² año.¹

Realmente se trata de una certificación estandarizada elaborada en Alemania que no implica el uso de ningún producto o material concreto, y menos requiere un estilo de arquitectura específico. El único requisitos es la optimización de los recursos mediante cinco principios: un aislamiento térmico muy efectivo, la utilización carpinterías de altas prestaciones térmicas, la ausencia de puentes térmicos, el uso de una ventilación mecánica con recuperador de calor y la estanqueidad al aire.

¹ Dato obtenido del artículo *Consumo energético y emisiones asociadas al sector residencial*. Juan Manuel Hernández Sanchez Universidad Politécnica de Cataluña.



F41. Esquema.¹

CASA PASIVA MAGDA | JOSEP BUNYESC

Un arquitecto que utiliza la estrategia de la construcción pasiva es Josep Bunyesc, y un buen ejemplo es su vivienda pasiva Magda. Situada a las afueras de Lleida, aprovecha las oportunidades del entorno natural y los materiales para construir un proyecto siguiendo el estándar Passive House, cuyo resultado es un consumo energético de tan sólo 3 kWh/m² año. Se trata de una vivienda unifamiliar aislada que se dispone en forma de L, en aras de optimizar la captación de la radiación solar y facilitar la distribución de los movimientos de aire en el interior.

El contexto en el que se integra es un clima templado donde las condiciones exteriores son extremas y opuestas; fríos inviernos y veranos calurosos con una oscilación térmica entre unos -8°C y +40°C.

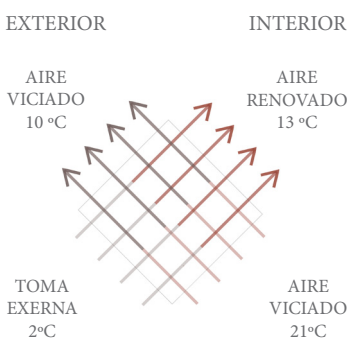


F39. Volumetría de la vivienda, disposición en forma de L para mejorar captación solar.

Acondicionamiento y climatización

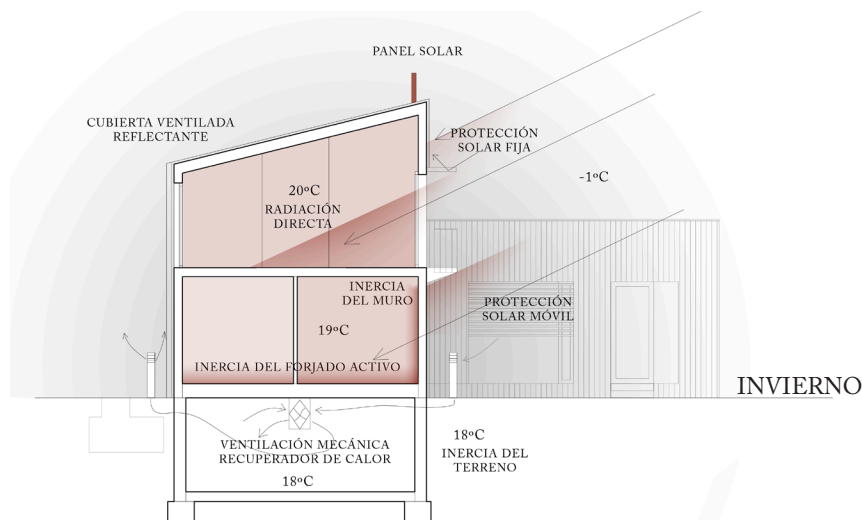
De forma esquemática, una Passive House pretende ser lo más hermética posible para conseguir la temperatura más estable - de alrededor de 20° C- durante todo el año y de forma que el consumo sea mínimo. De este modo tiene mucha importancia la envolvente, pero también la forma en que se aprovecha la energía del exterior para que el interior tenga una temperatura base que debe mantener.

El comportamiento para conseguir el confort en verano se basa en la disipación del calor. Por medio de las fachadas y cubierta, - ambas ventiladas, en el caso de la cubierta también reflectante-, impide transmitir la radiación incidente. Para evitar la transmisión al interior de los huecos, se disponen aleros de protección solar fijos, los cuales se complementan con los móviles. Todo ello se complementa con la ventilación cruzada durante la noche y el aprovechamiento de la temperatura estable del terreno - más fresca -, asociado al sistema mecánico de ventilación.



F40. Funcionamiento del recuperador de calor. Aprovecha las propiedades térmicas del aire de ventilación tratado de extracción, que transmite su temperatura al aire renovado previamente a su introducción al interior sin poner en contacto las masas del aire.

¹ Comportamiento de la vivienda en verano. Aprovechamiento de la temperatura estable del terreno y técnicas de disipación del calor del exterior.



F42. Esquema.¹

El mismo sistema de aislamiento y de protección solar se utiliza de forma inversa en invierno. La inclinación del sol en esta época permite que supere los aleros, permitiendo la radiación directa al interior con la exposición máxima de los vidrios al sol para priorizar las ganancias energéticas y de luminosidad. Podemos decir que se apoya a los sistemas pasivos con los activos, cuando el sistema radiante en el interior de los forjados transmite la energía al ambiente interior. La ventilación, como se ha dicho, se produce de forma mecánica, esta vez actuando como recuperador de calor, con un rendimiento del 70%, es decir, que recupera más de la mitad de la energía calorífica del ambiente de forma filtrada y renovada.



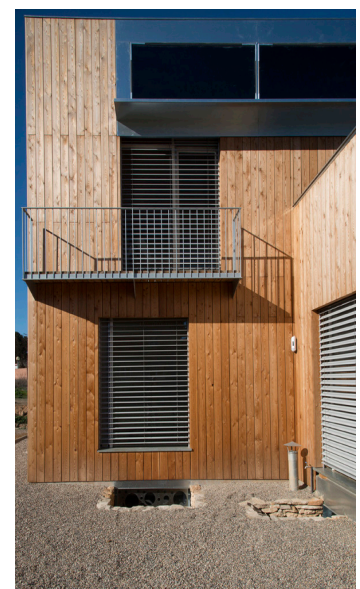
F43. Radiación directa al interior.

La importancia de la envolvente

Como se ha expuesto anteriormente, la efectividad de este sistema depende de un correcto tratamiento constructivo de la envolvente que debe proteger el interior climatizado. En este caso, el edificio se construye con un sistema constructivo innovador: el montaje en seco de elementos prefabricados.

Se trata de un montaje de piezas de madera autoportantes de gran formato que quedan arriostradas por los listones de acabado. El uso de la madera, material de baja conductividad, permite dimensiones mínimas de cerramiento con máxima capacidad aislante, lo cual supone en definitiva una economía de espacio y de material. La problemática de los puentes térmicos que pueda suponer el entramado queda minimizada mediante la cara exterior de fibras de madera compacta, a la vez que lo hace transpirable mejorando el comportamiento higrotérmico del muro.

La hermeticidad del cerramiento se consigue con el aislamiento. Entre la estructura se interponen 16 centímetros de lana de oveja, restringiendo el intercambio de calor entre interior y exterior, evitando ganancias y pérdidas incontroladas. La estanqueidad en las uniones se asegura mediante la interposición



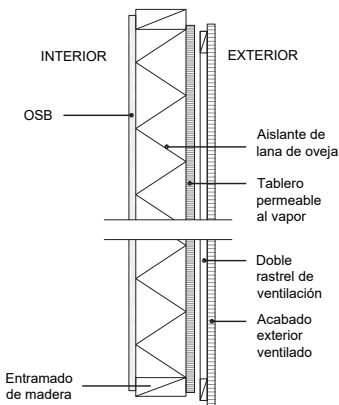
F44. Aleros fijos de protección solar, protectores solares móviles y paneles solares en fachada.

¹ Comportamiento de la vivienda en invierno. Aprovechamiento de la captación solar directa, la radiación de los forjados activos y el recuperador de calor.



F45. Envoltente con cerramiento de panel de chapa y tableros de madera prefabricados.

de bandas y juntas flexoresistentes. Los forjados se diseñan mixtos de hormigón y madera con una capa de compresión, con el objetivo de aprovechar la inercia térmica del material continuo en su interior, donde se dispone el suelo radiante. Tanto la fachada como la cubierta son sistemas ventilados. Para finalizar la definición de la envoltente, la cubierta se hace de mayor espesor con un acabado exterior de chapa ventilada con ligera inclinación, para acabar de componer el volumen. La ventaja del sistema ventilado es la mejora de su comportamiento higrótérmico, que a la vez que su carácter discontinuo evita condensaciones, permite proteger el cerramiento del sol en verano gracias a la ventilación del mismo. En el caso de la cubierta con su tonalidad clara y reflectante, es la posible acumulación de calor en la parte superior del edificio, cuya captación solar se ve reducida por la reflexión y la ventilación del cerramiento previa al aislamiento.



F46. Detalle de la envoltente autoportante de paneles de madera.

La gran ventaja del sistema en seco y la prefabricación son la rápida y precisa ejecución en obra, interponiendo los elementos de forma discontinua; una ventaja que no permite el encofrado de hormigón. Hemos estudiado previamente como Fisac había descubierto el beneficio de la prefabricación y seriación de elementos, y a pesar de que esta técnica constructiva requiere gran precisión de proyecto y tiempo, los procesos constructivos se pueden solapar, hecho que junto con el rápido montaje permitió ejecutar la obra en 5 meses.

En definitiva, la envoltente diseñada, cuyos cerramientos transparentes son vidrios dobles bajo emisivos, tiene una transmitancia media total de $0,27 \text{ W/m}^2\text{K}$, un orden de diez menor que cualquier cerramiento convencional.

Materiales y energía embebida

En cuanto a los materiales empleados, estos son de origen orgánico con una energía embebida muy baja. Estas decisiones proyectuales contribuyen a conseguir un balance de CO_2 neutro o incluso positivo, si consideramos el efecto de almacenamiento de energía de la madera. La preparación de la lana supone unas emisiones de CO_2 diez veces inferior a la del poliestireno. Asimismo, tiene en cuenta el ciclo de vida completo del proyecto, por el hecho de que la construcción en seco permite ahorrar agua y reducir residuos en obra, a la vez que facilita el desmontaje para la posible reutilización o el reciclaje de los materiales.



F47. Panel prefabricado de madera con estructura interna y aislamiento de lana de oveja.

En definitiva, la casa pasiva de Bunyesc se apoya en su envoltente y el sistema de ventilación mecánica para obtener unos resultados de ambiente interior mas que óptimos, a la vez que se consigue una máxima optimización de recursos y materiales sin olvidar los criterios de diseño de calidad.

ESTRATEGIAS CONTEMPORÁNEAS

3. REHABILITACIÓN

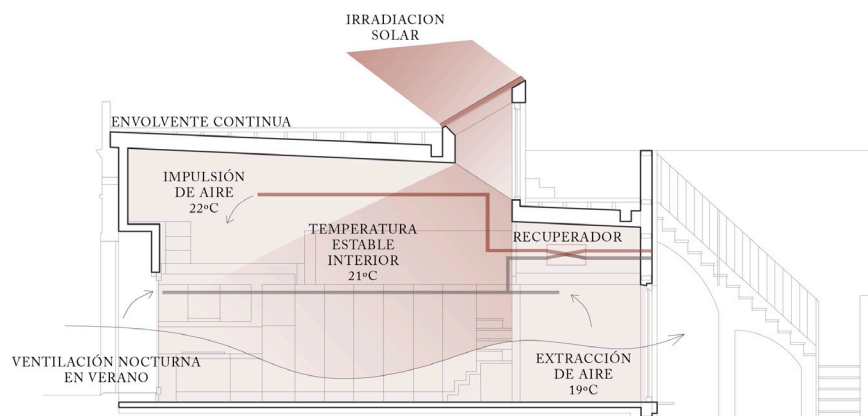


F48.Casa MZ. Calderón Folch Sarsanedas.

El potencial de la rehabilitación

En España, como en cualquier otro país europeo histórico, contamos con numerosos edificios en los centros de las ciudades y poblados que se encuentran obsoletos. Si además incluimos las obras anteriores a 1979 -año en el que se publica la primera normativa sobre el aislamiento térmico-, existe un elevado porcentaje de edificios que no cuentan con las condiciones óptimas de habitabilidad lo cual se traduce en un elevado coste energético. En la actualidad, la sociedad está más concienciada con la problemática que supone la cantidad de residuos que acumulamos, los cuales en gran parte provienen de la construcción y demolición. Una forma de minimizar el problema es el reciclado y la reutilización de los materiales, como del mismo modo, una solución para los edificios obsoletos es su reutilización. El hecho de rehabilitar un edificio se ve reflejado en su ambiente, cuando el aislamiento y la estaqueidad de huecos mejora las condiciones interiores. Sin embargo, no solo supone una mejora de habitabilidad; se consigue además una mejora significativa de la imagen del edificio y su entorno urbano, lo cual conlleva un uso más prolongado del mismo, y por consiguiente, una posible reactivación de zonas en decadencia.

Esta preocupación por la energía, la re inserción y la densificación del suelo construido se refleja en proyectos como la rehabilitación del bloque de apartamentos de *Tour Bois le Prêtre*, de Lacaton & Vassal, o el *Centro cultural Daoiz y Velarde* de Rafael de la Hoz, que reutiliza los antiguos cuarteles.



F51. Esquema estable.¹

CASA MZ | CALDERÓN FOLCH SANSANEDAS

Se trata del proyecto de rehabilitación sobre un proyecto de vivienda unifamiliar adosada, del año 1918, que se ubica en el barrio Sarriá de Barcelona. Cabe destacar que las condiciones previas suponen una serie de dificultades a la hora de llevar a cabo una rehabilitación que potencie el aprovechamiento de los recursos naturales. El edificio tenía unos límites claramente definidos y se encontraba orientado a noreste, de forma que dificultaba el control del soleamiento.

Situación previa



F49. Situación previa del edificio.
Demanda energética: 171 kWh/m² año.



F50. Edificio tras la rehabilitación.
Demanda energética: 17 kWh/m² año.

La vivienda existente presenta una construcción sencilla y convencional con muros de fábrica sencillos y forjados de madera. En el momento de la construcción las exigencias técnicas constructivas y el confort térmico en el interior no formaban parte de los requisitos mínimos, por lo que los objetivos de la rehabilitación eran a nivel estructural, energético y estético. En cuanto a sus cerramientos, la transmitancia térmica de los muros de ladrillo gero catalán macizo -29cm- era de 1,8 W/m²K, y el valor de la cubierta de vigas de madera era de aproximadamente 1,60 W/m²K. Estos valores duplican con creces los máximos exigidos de la normativa actual del Código Técnico de la Edificación (CTE) - para cerramientos opacos es de un máximo de 0,75 W/m²K y para cubiertas de 0,50 W/m²K -. En cuanto a los cerramientos transparentes, la carpintería de madera -probablemente muy poco estanca- contaba con vidrios simples, y a pesar de la poca superficie de huecos que presenta el resultado es una envolvente muy mal aislada donde las pérdidas y ganancias no se pueden controlar. Todo ello se traducía en una demanda energética en calefacción de 171 kWh/m² año, lo cual tenía también una fuerte repercusión económica y un confort interior muy bajo.

¹ El recuperador de calor ofrece una temperatura estable durante todo el año. El comportamiento en invierno es el inverso al esquema en verano, y la irradiación solar se dispararía mediante su reflexión.

Proceso de rehabilitación

La simple transformación de una envolvente tan obsoleta supone una gran oportunidad de mejora, de modo que las primeras decisiones van orientadas hacia ello. En primer lugar se decide mantener tanto la fachada exterior como la relación de lleno-vacío en el solar y la posición de la casa hacia el noreste. Aunque en un principio no supone la orientación más apropiada, los arquitectos proponen un gran lucernario en la cubierta para invertir la orientación de la vivienda, captando la máxima energía lumínica posible de la orientación sur. Este lucernario además genera un sistema de ventilación natural cruzada en verano.

La mejora de los cerramientos se realiza disponiendo una estructura de entramado de madera ligera con un aislamiento térmico de lana de oveja en su núcleo. El sistema constructivo utilizado se basa en los elementos prefabricados de madera, si bien es una buena decisión en caso de necesidad de ajustarse a un corto plazo de ejecución, el cual finalmente fue de 120 días. En este sistema desde el taller se prepara un plan de numeración de las piezas que conforman cada elemento, de forma que fue únicamente necesario un día para montar cada uno de ellos. La preparación previa de todas las piezas de la casa evitó imprevistos que afectasen al plazo de entrega y facilitó el montaje de la vivienda guiándose de guía de la construcción existente. Los nuevos cerramientos ofrecen unas propiedades mejoradas, con unas dimensiones mayores -26 cm para la cubierta y 16 para la fachada- gracias a la incorporación o ampliación del aislamiento. La fachada interior además incorpora un sistema ventilado, lo cual permite disipar el calor incidente en la fachada en épocas calurosas. En cuanto a los cerramientos transparentes, los vidrios de las ventanas colocadas son bajo emisivos, con el objetivo de reducir las pérdidas de calor desde el interior. Este sistema de vidrios utiliza una cámara de gas argón de aislamiento que da lugar a un valor de transmitancia de $1,1\text{W}/\text{m}^2\text{K}$.

La mejora de los cerramientos supone una mejora importante por sí sola ya que consigue controlar el acondicionamiento del interior.

Acondicionamiento del interior

Para mejorar la eficiencia energética de la vivienda se utiliza además de las técnicas de acondicionamiento pasivas mencionadas el sistema de recuperador de calor, el cual se utiliza en el sistema de Passive House. Realmente se utilizan técnicas similares, no obstante no acaba de llegar al valor restrictivo exigido de $15\text{ kW}/\text{m}^2$ año. El recuperador se incorpora en el sistema de ventilación mecánica de doble flujo, que incluye todo el sistema de distribución de aire desde



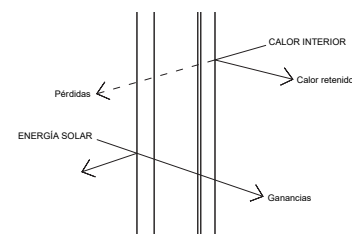
F52. Situación previa del interior del edificio.



F53. Situación del interior del edificio después de la rehabilitación.



F54. Resultado de la fachada de fábrica recuperada inmersa en su contexto.



F55. Esquema de funcionamiento de los vidrios bajo emisivos; la cámara interior de gas argón refleja el calor hacia el interior evitando pérdidas.



F56. Iluminación natural del núcleo interior por medio del lucernario cenital orientado al sur.

su captación hasta su impulsión a las estancias, así como un sistema silenciador que reduce al mínimo la contaminación acústica hacia el interior de la vivienda. El elemento tiene un rendimiento del 94% lo cual permite disminuir notablemente el consumo energético necesario para el tratamiento del aire exterior.

Si bien el consumo del acondicionamiento de la vivienda era mínimo, las instalaciones de la vivienda se completan con los captadores solares, los cuales se utilizan para calentar el agua caliente sanitaria. En definitiva, todas estas estrategias se ven materializadas en la reducción del consumo energético de 171 a 17 KWh/m² al año.

Materialidad



F57. Paneles de madera en el interior.

La elección de la madera como material predominante se debe a la baja transmitancia térmica del material que favorece el acondicionamiento de la vivienda, a la vez que aporta sensación de calidez y genera un ambiente acogedor. La estructura de la fachada al jardín es de pino, con una membrana impermeable al agua y transpirable ventilada con una barrera de vapor, con un aislamiento natural de lana de oveja y fibras de madera recubierta finalmente con madera de arce natural vista. La cubierta es de madera de pino tratada térmicamente y cuenta con el mismo sistema.

El uso de estos materiales de bajo coste energético y de origen orgánico reduce la energía embebida en los productos, y el hecho de que sean productos locales minimiza el impacto de su transporte. También es relevante el hecho de que se optimiza la construcción completa, debido a que si utilizásemos un sistema constructivo tradicional, obtener los mismos resultados energéticos implicaría un coste superior debido a la alta conductividad de la cerámica maciza o el hormigón, a diferencia del sistema prefabricado de madera.

Este proyecto de rehabilitación de esta vivienda muestra como en un clima relativamente suave como el de Barcelona, es posible hacer una rehabilitación energética con un factor diez, es decir, cuyo resultado es la reducción de la factura de un orden de diez a la vez que se aumenta la calidad de vida del espacio, obteniendo un excelente confort térmico y acústico en todas las estaciones del año. Puede ser que el coste económico sea superior a una obra tradicional, pero esto no es comparable si no consideramos los mismos objetivos. Sin duda se trata de una vivienda que ve su perspectiva con mucho mayor potencial, cuando además de sus condiciones de habitabilidad supone una dignificación y mejora de imagen de un espacio obsoleto, que consigue incorporarse de nuevo en la vida urbana de su entorno gracias a su utilidad y eficacia.

ESTRATEGIAS CONTEMPORÁNEAS

4. TERMODINÁMICA



F58. Centro de ocio en Azuqueca. Ábalos + Sentkiewicz.

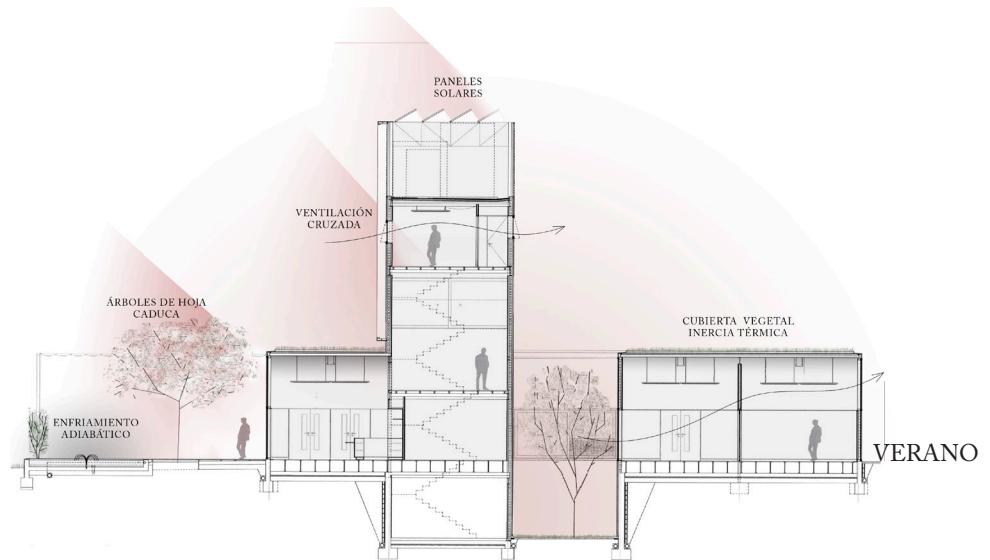
"Belleza termodinámica"

La trayectoria de Iñaki Ábalos podría decirse que ha pasado de la lógica constructiva de su actividad junto a Juan Herreros, a la libertad expresiva de Saenz de Oiza que contienen los proyectos paramétricos que realiza con Renata Sentkiewicz. El arquitecto expresa su atención a la relación de la arquitectura y la naturaleza mediante lo que él llama *belleza termodinámica*, con lo que propone una estética basada en la ciencia de los flujos de energía. Se acompaña de la palabra *belleza* para resaltar una componente cultural y evitar caer únicamente en las cuestiones meramente técnicas.

Cabe nombrar su obra por su interés en el papel que puede desempeñar la energía en la arquitectura contemporánea, cuando su forma de trabajo ha evolucionado hacia una forma de proyectar desde la termodinámica, con el objetivo de dar lugar a soluciones muy diferentes de las que se han hecho hasta el momento. Los arquitectos dan a entender cómo su forma de proyectar atiende a una serie de datos que desglosan los problemas a los que se enfrentan -como la temperatura, la humedad o el movimiento del aire; *materiales invisibles*- para luego realizar una jerarquización y seleccionar cuál es la estrategia más apropiada.

"Conocer, por ejemplo, cuál es la forma óptima para inducir un flujo convectivo en el interior de un espacio no significa necesariamente que ese espacio tenga que construirse literalmente de acuerdo a ella".¹

¹ Iñaki Ábalos. Sobre prototipos y protocolos en la entrevista *Monstruos termodinámicos: un diálogo*. Eduardo Prieto.



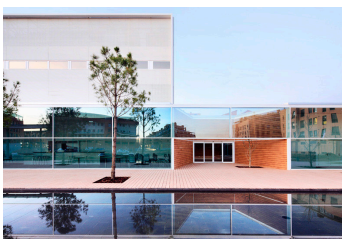
F62. Esquema.¹

CENTRO DE OCIO EN AZUQUECA | ÁBALOS + SENTKIEWICZ

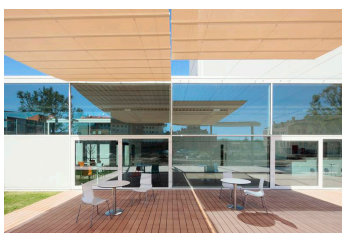
El centro de Ábalos se presenta como un guiño a la tradición constructiva de la meseta castellana, emulando los espacios concatenados y sin continuidad del casino tradicional, donde el juego y las relaciones sociales son los protagonistas. La configuración espacial, los sistemas constructivos y las instalaciones se han estudiado desde un principio paralelamente al proyecto del edificio para crear un ambiente confortable y construir un edificio óptimo, acorde con el estándar europeo de edificio de bajo consumo y sin emisiones de gases nocivos.



F59. Volumetría del edificio.



F60. Lámina de agua para enfriamiento adiabático en los meses cálidos.

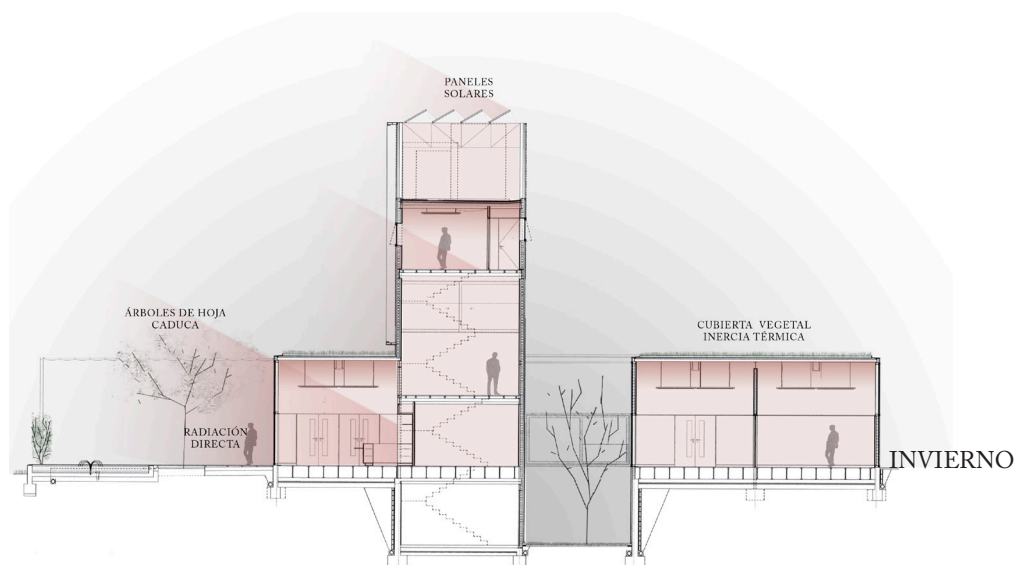


F61. Cerramientos de vidrio captadores en invierno, protegidos de la incidencia directa en verano.

Tratamiento de las masas del aire

En su búsqueda del control termodinámico del edificio, los arquitectos idean un edificio zócalo de cinco crujías perforado por una serie de patios intersticiales para introducir radiación directa y ventilación en el centro del volumen. El acondicionamiento y el confort del proyecto van a depender de las ganancias y pérdidas que tengan las masas de aire en su interior. De este modo, el proyecto desde un principio aprovecha la oportunidad de posicionarse prácticamente con una orientación norte-sur, lo cual le permite colocar un cerramiento opaco continuo para aislar el norte y obtener radiación solar directa desde el sur mediante cerramientos de vidrio actuando como un colector solar. Este elemento es de gran importancia, debido a que durante el invierno favorece la captación de energía calorífica gracias a los vidrios bajo emisivos, lo cual permite reflejar parte de la energía calorífica de la atmósfera interior calefactada y la mantiene en el interior al

¹ En verano se evita el sobrecalentamiento a través de la vegetación, la ventilación cruzada y el enfriamiento adiabático del agua.



mismo tiempo que permite el aprovechamiento completo de la luz natural directa.

Para completar el correcto funcionamiento de este sistema, se deben evitar las ganancias excesivas durante el verano. De esta forma, el volumen se abre a los vientos dominantes tanto en sus fachadas principales como en las interiores de los patios para conseguir la ventilación de forma natural y por tanto, la disipación del calor. Este sistema se complementa con la vegetación de hoja caduca, la cual se dispone estratégicamente frente a los cerramientos vidriados, de modo que en verano estarán frondosos a modo de barrera y en invierno las hojas caerán para permitir el paso de la radiación. Los toldos colocados en la fachada sur también acaban por contribuir para evitar la radiación solar directa mientras que la lámina agua de la entrada refresca el ambiente debido al enfriamiento adiabático del agua. Esta optimización de la envolvente térmica desde la perspectiva de iluminación, radiación y aislamiento constituye una medida pasiva en su conjunto que utiliza la temperatura y humedad de las masas de aire para extender las condiciones por todas las estancias .

Como última decisión estratégica pasiva se proyecta una cubierta vegetal constituida por especies autóctonas, lo cual se entiende como un guiño a la atención del lugar para conseguir el equilibrio. Ésta sirve de abrigo a la cubierta ya que disminuye su transmitancia y permite devolver el suelo perdido que se ha ocupado por el edificio. Ya en la década de los años 20 del s.XX, Le Corbusier pretendía devolver a la naturaleza la superficie conquistada por el edificio, convirtiéndola en un gesto natural entre el espacio construido, y que además sirviera abriagara su interior.

1 En invierno se prioriza la captación solar y los árboles desnudos dejan obtener la máxima radiación directa. La inercia de la cubierta vegetal retrasa las pérdidas energéticas.



F63. Uso de la vegetación de hoja caduca en épocas frías.



F64. Uso de la vegetación de hoja caduca en épocas calurosas.



F65. Cubierta vegetal de especies autóctonas.

Medidas activas



F66. Iluminación natural en el interior potenciada por los acabados en blanco. Uso de la madera en su contraste.

Las medidas pasivas se complementan con medidas activas eficientes. El tratamiento del aire parte de la estabilidad que ofrece la energía geotérmica del subsuelo -la cual explicaremos en profundidad más adelante- para completarse mediante el acondicionamiento activo. La iluminación natural es efectiva y posible en todos los puntos del proyecto, la cual se ve potenciada por la capacidad reflectante del color blanco. Por lo tanto, la mínima energía eléctrica necesaria es generada de forma directa de la radiación solar mediante paneles solares fotovoltaicos, colocados en la cubierta del volumen en altura, que transforman la energía solar en energía eléctrica.

Materialidad



F67. F68. Uso de la chapa de acero en el interior y en el exterior con distintos acabados.

El estudio exhaustivo de la termodinámica de las masas de aire hace que el proyecto se centre en resolver la cuestión de la energía térmica. Ábalos defiende una arquitectura que atiende a un uso responsable de la energía y los recursos, al impacto de las decisiones proyectuales y a sus interacciones con el entorno. Los materiales que más se utilizan son el acero, en forma de chapa o panel sándwich, el vidrio, la madera y la vegetación que conforma la materialidad de la cubierta. No obstante, en el caso de este centro se optimiza la energía de las instalaciones pero no se presta la misma atención a los materiales. El uso en numerosos elementos del aluminio o el aislamiento de poliestireno, hace que el coste energético aumente de forma considerable.

En cuanto al material de aislamiento, podría haber sido más conveniente el uso de la lana de roca en la totalidad del proyecto, en lugar de únicamente en algunas zonas, aumentando el grosor si fuera preciso. Incluso la utilización de lana de oveja, sobre la cual hemos expuesto anteriormente su eficacia. A su vez, el acero que utiliza en los forjados y estructura es un material con un alto coste energético de producción. La madera es un material muy respetuoso con el entorno, sin embargo para los forjados podría ser más útil el hormigón prefabricado por ejemplo, cuya producción exige menos consumo energético que la del acero.¹ Por lo tanto, en términos de acabado, podría recurrirse a cualquiera de los materiales anteriores con un acabado en blanco para conseguir la misma luminosidad en lugar de utilizar el acero.

Si nuestro objetivo es que un proyecto optimice realmente la energía de forma global, además de controlar la termodinámica, es necesario un estudio de la energía embebida que contienen los materiales que se utilizan.

¹ Datos de referencia de los informes sobre materiales de la revista *Ecobabitar*. Ver anexo.

ESTRATEGIAS CONTEMPORÁNEAS

5. LA GEOTERMIA COMO ENERGÍA NATURAL



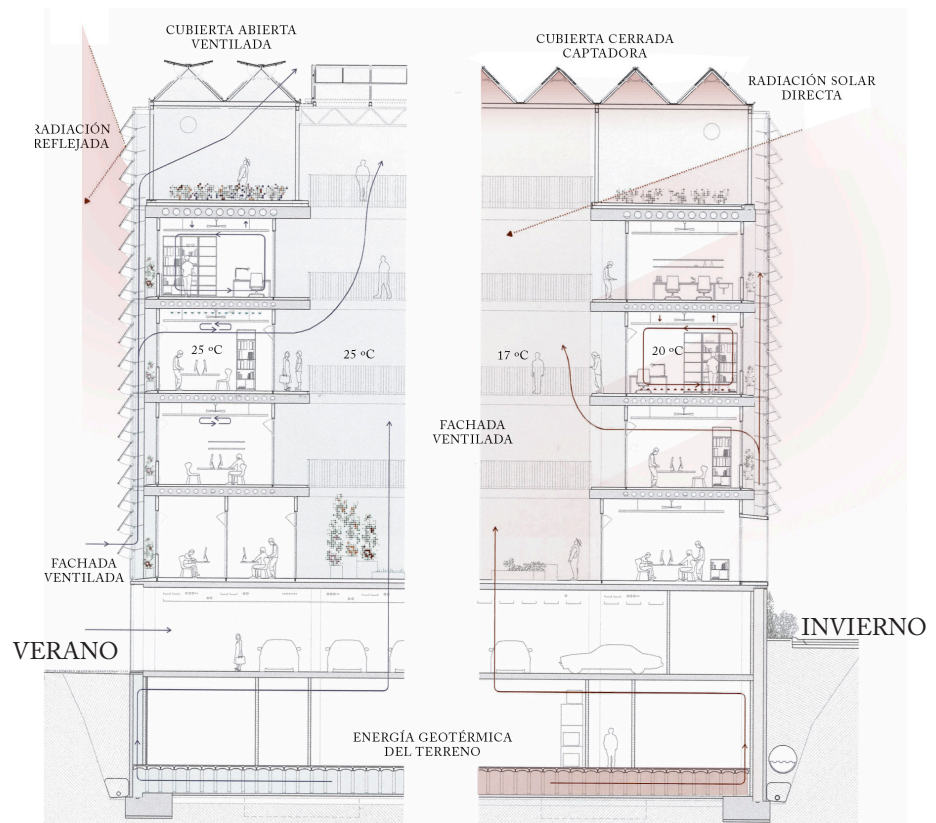
F69. Centro de investigaciónUAB. H Arquitectes.

¿Cómo se aprovecha la energía interna de la tierra?

La energía geotérmica es aquella que se extrae del interior de la Tierra, cuya temperatura gradual tiene grandes posibilidades. La temperatura interna de la Tierra a grandes profundidades es muy alta, y se puede aprovechar para calentar previamente el agua caliente sanitaria (ACS) o incluso para utilizar el vapor de agua, que mueve turbinas y genera electricidad.

El aprovechamiento de esta forma de energía se ha extendido al ámbito de la arquitectura, sin embargo, por cuestión técnica y de escala, no es útil ni accesible la temperatura a grandes profundidades sino aquella de las capas más superficiales. En este caso nos beneficiamos de la temperatura estable del terreno, de unos 17 °C, la cual es constante a lo largo del año y no requiere excavaciones a grandes profundidades, permitiendo hacer uso del subsuelo en cualquier lugar.

Una forma extendida de obtención de la energía térmica del terreno son los llamados *pozos canadienses*, que aprovechan energía geotérmica de baja potencia. Se trata de una red de tubos que utilizan el aire como medio de transporte del calor que obtienen directamente del terreno, consiguiendo una temperatura base más alta que el exterior en invierno, y más baja en verano. Esto resulta en la estabilidad térmica para atemperar los excesos de calor o de frío. En la actualidad, ya existen numerosos arquitectos que innovan con esta forma de energía, como el estudio Pereda Pérez, que utilizan este sistema en el equipamiento de la Escuela infantil en la Milagrosa o en la Casa en Villarcayo, de forma más doméstica.



F72. Esquema.¹

CENTRO DE INVESTIGACIÓN UAB | H ARQUITECTES

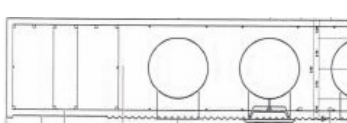
Un proyecto para un centro de investigación de las ciencias ambientales pedía ser ambicioso en su respuesta a los retos del respeto al entorno natural. El proyecto obtiene el primer premio del concurso con un bloque cuadrado que pretende alojar el inmenso programa desde la perspectiva de un proyecto compacto pero confortable, con espacios interrelacionados y suficientemente iluminados. El volumen de cinco alturas, más sótanos, de 40 x 40 m² aloja aulas, salas de reunión y administración, despachos, laboratorios, e incluso huertos en su cubierta. Se trata de un programa con espacios de carga interna importante, hecho que los arquitectos asimilarán como una ventaja para calefactar los espacios en invierno, que podrá disiparse durante el verano.



F70. Interrelación de espacios en el centro iluminados cenitalmente.

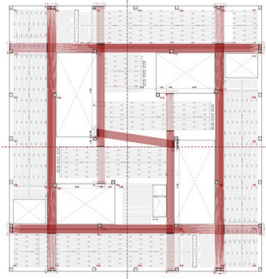
Geotermia como fuente de energía

El diseño de los elementos del proyecto se hace de forma paralela a la potenciación del sistema principal de acondicionamiento; la energía geotérmica. Esta energía térmica es captada de las capas más superficiales del terreno y por

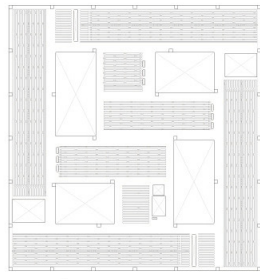


F71. Detalle de red tubular en forjado aligerado de hormigón.

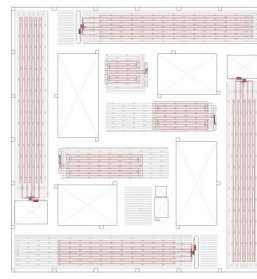
¹ Tanto en verano como invierno el edificio aprovecha la energía geotérmica para pretratar el aire distribuido por del sistema radiante de los suelos y techos. La envolvente se orientará en invierno para captar radiación solar y en verano para impedir que se introduzca directamente.



Sistema radiante forjados activos



Climatización por aire



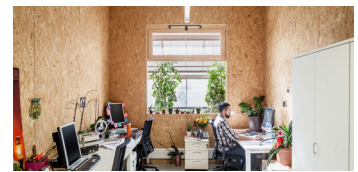
Postesado de la estructura

F73. Esquemas de funcionamiento de los forjados activos.

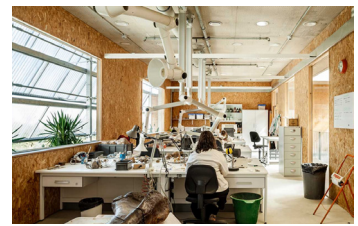
medio de una red de tubos aireadores se distribuye por todo el edificio. El aire que está en el interior de los tubos se adapta a la temperatura de 17 °C del subsuelo, de forma que en invierno la temperatura base es mayor que la del exterior, y en verano puede refrigerar el ambiente. La innovación radica en que este sistema de geotermia sí que permite llegar a todas las estancias mediante los forjados, donde se encuentra la red de aireadores inmersos en una masa continua de hormigón. El uso del hormigón en la estructura viene de la mano con el sistema de conducción debido a que con su alta inercia térmica colabora directamente en el confort climático del edificio, siendo la masa térmica del elemento lo que acaba por transmitir la temperatura a las estancias actuando como un forjado activo. Su función energética se plantea por delante del diseño estructural, el cual fue complicado debido al aligeramiento y pérdida de resistencia que ello suponía. Esto se resolvió fácilmente con un sistema de forjados postesados, en una disposición que respetaba la red tubular .



F74. A. Espacios intermedios.



F75. B. Despachos.

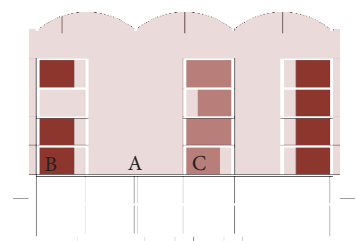


F76. C. Laboratorios y estancias

Acondicionamiento de los espacios

El edificio está preparado para acoger los tres tipos de climas que sirven a tres tipos de espacios. En primer lugar, los espacios intermedios, es decir los atrios, pasillos, zonas de acceso, comedor y fachada, los cuales están climatizados exclusivamente por medio de métodos pasivos y se consigue que tengan una temperatura entre los 17 y 25 °C durante todo el año. Por otro lado, los despachos y las salas generales, combinan la ventilación natural con sistemas radiantes semipasivos obteniendo una estabilidad térmica igual que la de los primeros espacios. Por último, los laboratorios y aulas y talleres especiales, requieren un ambiente más hermético y con un tratamiento más convencional. Las cargas térmicas y necesidades de estos espacios hacen que la estabilidad se encuentre entre los 21 y 25 °C.

El comportamiento de estos espacios es está monitorizado y controlado mediante un sistema informático automatizado que gestiona y procesa sus datos

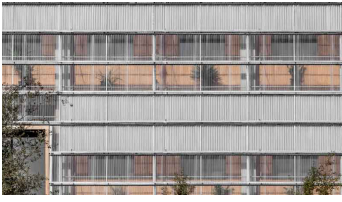


F77. Esquema de los tres tipos de clima.

A. Espacios intermedios.

B. Despachos y aulas.

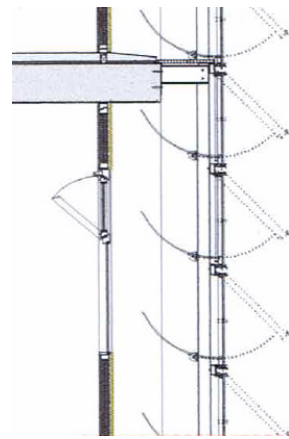
C. Laboratorios y salas especiales.



F78. Sistema de envolvente flexible



F79. Sistema de envolvente flexible



F80. Detalle del sistema de fachada flexible.



F81. Materialidad: madera y policarbonato.

climáticos para optimizar el consumo de energía y el confort interior. La ventilación e iluminación natural se consiguen mediante los cuatro patios que conectan los espacios verticalmente, lo cual reduce el uso de la iluminación artificial al mínimo, y por lo tanto, las cargas internas debidas a ello. Las especies vegetales de los espacios intermedios también contribuyen al equilibrio higrotérmico del ambiente, gracias al ajuste del gradiente de humedad. Todos estos sistemas permiten a los arquitectos y a los usuarios asegurarse de que se aprovecha al máximo el comportamiento pasivo del edificio y se minimiza el uso de energías no naturales.

La piel del edificio

Una vez tienen definida la fuente de energía del proyecto para completar el acondicionamiento del volumen, la estructura de hormigón queda envuelta mediante una piel exterior ligera, diseñada con un sistema industrializado de invernadero agrícola. La envolvente es muy importante ya que se trata de un elemento de cierre y apertura automáticos que regula la captación solar y la ventilación. El uso de las placas de policarbonato asegura la luminosidad en todos los puntos interiores y además tiene la misión de facilitar la captación solar, actuando como un invernadero y aumentando la temperatura. El resultado es una temperatura interior confortable por medio de la energía natural. Además estos elementos se controlan mediante la tecnología, lo cual permite optimizar y adaptar los sistemas para priorizar y maximizar la obtención de energía de forma pasiva.

Materiales

Los Arquitectos tienen en cuenta el proyecto a lo largo de toda su vida útil, de forma que los materiales se eligen en función de su aprovechamiento, vida útil, bajo impacto ambiental, y con prioridad de uso de materiales de origen orgánico o reciclado. A diferencia del hormigón de la estructura, el sistema de cajas de madera interiores se realiza con un montaje en seco, lo que hace que los materiales sean reversibles, desmontables; y por tanto, reutilizables cuando finalice la vida útil del edificio.

El resultado de todos estos recursos con los que cuenta el proyecto es un edificio que reacciona y se adapta a las condiciones exteriores e interiores, consiguiendo agotar los recursos que ofrece el medio, de forma que el confort resultante es mucho más auténtico y menos artificial. Todo ello contribuye a la eficacia y funcionalidad del edificio, a la vez que crea un espacio agradable, con una imagen de calidad y muy acorde con la investigación de las ciencias ambientales.

REFLEXIONES FINALES

Conclusiones

El trabajo pretende mostrar la arquitectura desde el punto de vista de sus recursos energéticos. Para poder entender el papel que tiene la energía en la actividad ha sido necesario entender tanto las variadas formas en las que se manifiesta, como su relevancia y repercusión en el desarrollo de la misma. De esta forma ha sido de gran relevancia e inspiración el estudio de la arquitectura primitiva y popular, identificada como necesario punto de partida puesto que nos remonta a la aparición de la arquitectura en el momento en que el hombre busca cobijo en su naturaleza.

Si bien existe cierta variabilidad en las estrategias expuestas, lo importante es la constante implícita en los proyectos seleccionados: el aprovechamiento de los recursos del entorno. De la variedad de casos investigados aprendemos que no existe una forma de obtener ventaja de la energía, sino que cada proyecto investiga aquellas propias; bien sea de forma evidentemente práctica o de carácter teórico, como las propuestas de Ábalos + Setkiewicz, cuyo estudio energético podemos considerar es más efectivo en cuestiones teóricas que en la práctica real.

A pesar de que algunas técnicas primitivas permanecen invariables en el tiempo, se perciben finalmente saltos tecnológicos siguiendo una línea cronológica, que incluye las técnicas que la investigación en el campo de la energía va aportando a la arquitectura. La investigación ha llegado muy lejos y sigue en desarrollo, sobre todo en las últimas décadas, de forma que contamos con una amplia gama de recursos para conseguir optimizar los recursos en los proyectos.

Queda en evidencia cómo los criterios de integración de los recursos energéticos respetuosos con el medio configuran el proyecto a la vez que lo hace el diseño, sin necesidad de establecer prioridades. Esta forma de proyectar se consigue cuando ambos procesos funcionan de forma integradora. El resultado abre camino a una forma de seguir elaborando arquitectura de calidad desde una perspectiva de optimización de los recursos, como han hecho anteriormente los arquitectos -y "no arquitectos"- a lo largo de su evolución.

"Esa adaptación de la arquitectura al paisaje, que tan maravillosamente consigue la arquitectura popular, es una de las grandes normas que hemos de adoptar si queremos hacer arquitectura mejor."¹

Nos quedamos con la idea de Miguel Fisac en su ensayo sobre la arquitectura del futuro en la que habla de espacios donde se pueda organizar la vida humana sin destruir el paisaje, momento en el cual nos servirá la arquitectura popular para aprender de ella "*verdadero funcionalismo y amor al paisaje.*"

¹ Miguel Fisac. *La arquitectura popular española y su valor ante la del futuro*. Ateneo Madrid. 1952.

¿Por qué no hablamos de *sostenibilidad*?

Sostenibilidad es un concepto que hoy acompaña a una arquitectura en gran parte asociada a un movimiento concreto, que en ocasiones puede interpretarse de forma errónea como independiente a la arquitectura elaborada y su diseño. Esto se debe a una serie de proyectos que se han elaborado dejando en un segundo plano otros criterios proyectuales esenciales en favor de los criterios de sostenibilidad.

Esa es la razón por la que este trabajo huye de las connotaciones de este concepto para hablar de su esencia perdida, que es el uso óptimo de los recursos energéticos. Debemos tener en cuenta que la arquitectura es una actividad, sujeta a una serie de exigencias del entorno físico y social, pero también una actividad artística, subjetiva y libre. De este modo, no se defiende la imposición de unos requisitos o unas restricciones de carácter normativo, sino de la posibilidad que ofrece un óptimo aprovechamiento de los recursos mediante la recuperación de criterios lógicos, que además de ser coherentes con la práctica arquitectónica, mejoran la perspectiva ambiental. Necesitamos adaptar esos criterios a la actividad, para seguir proyectando con la libertad propia del diseño arquitectónico.

Se espera la eliminación del adjetivo *sostenible* que acompaña actualmente a la práctica, en un futuro en que la arquitectura suponga asumir que el respeto al medio es consustancial a la práctica arquitectónica.

Por todo ello, este trabajo se ha centrado en el tema de la energía identificándola como un recurso, no como una limitación. Se cumple el objetivo de extraer una serie de enseñanzas aplicables a los exigentes proyectos de la actualidad, cuya mirada se dirige hacia la optimización de los recursos para preservar el medio a través del cual construimos, y contar con la capacidad suficiente para ofrecer soluciones válidas a los retos sociales, económicos y ambientales a los que, sin duda, nos vamos a enfrentar.

“La sostenibilidad es, más que un límite moral o ético, es para mí una oportunidad. Me resulta mucho más satisfactorio diseñar elementos que funcionen bien. Eso no es una limitación, al contrario: es algo que contiene un potencial creativo enorme.”¹

¹ Roger Tudó. "Entrevista a H Arquitectes". ABC, 29 Octubre de 2014.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

LIBROS Y TEXTOS

CALVO LÓPEZ, JOSÉ. La Torre de las Sombras. Utopía sincrética y símbolos cosmológicos en la obra índica de Le Corbusier.. 2010.

FERRER I BALAS, GRANADO MARTIN Y DÍAZ I RUIZ. Aca 2 Procés d' Aplicació des Criteris Ambientals en l'Arquitectura. Universitat Politècnica de Catalunya. 2003.

FISAC, MIGUEL. La arquitectura popular española y su valor ante la del futuro. Ateneo. Madrid. 1952.

GARCÍA MERCADAL, FERNANDO. La casa popular en España. Primera edición, Espasa-Calpe 1930.

GEDDES, PATRICK. Cities in Evolution. Williams & Norgate. 1915.

JACOBO, GUILLERMO JOSÉ. Alexander Klein: pionero de la arquitectura bioclimática. Universidad Nacional del Nordeste. 2004.

JOURDA, FRANÇOISE-HÉLENE. Pequeño manual del proyecto sostenible. Editorial Gustavo Gili. Barcelona 2012.

MONTANER, JOSEP MARÍA. Ensayo sobre arquitectura moderna y lugar. 1954. Publicación en 1994.

RUDOLFSKY, BERNARD. Arquitectura sin arquitectos. 1964. Edición de 1976.

REQUENA-RUIZ, I. Bioclimatismo en la arquitectura de Le Cobusier: El Palacio de los Hilanderos. 2012.

SERRA FLORENSA, RAFAEL. COCH ROURA, HELENA. Arquitectura y energía natural. Edicions de la Universitat Politècnica de Catalunya SL, 1995.

SIRET, DANIEL. Généalogie du brise-soleil dans l'oeuvre de Le Corbusier: Carthage, Marseille, Chandigarh. Collectif, Cahier's Thématiques n°4. 2004.

TORRES BALBÁS, LEOPOLDO. La vivienda popular en España. Editorial Alberto Martín. 1930.

REVISTAS Y ARTÍCULOS

Ábalos + Sentkiewicz. Revista AV Monografías número 169. 2014.

Consumo energético y emisiones asociadas al sector residencial. Juan Manuel Hernández Sanchez. Universidad Politécnica de Cataluña (UPM).

Cuatro estrategias. MGM, Barozzi Veiga, H Arquitectes, Selgascano. El croquis N° 18. 2015.

Energy Matters: Building, Thermodynamics, Climate. Revista Arquitectura Viva número 178. 2015

Le Corbusier. Revista AV Monografías número 176. 2015.

Más por menos. Revista Arquitectura Viva número 133. 2010.

Miguel Fisac. Revista AV Monografías número 101. 2003.

Saber local. Luis Fernández Galiano. Revista Arquitectura Viva número 161: Local knowledge. 2014.

TÉSIS DOCTORALES

DIEZ BARREÑADA, RAFAEL. Coderch. Variaciones sobre una casa. Colección Arquia. Tesis 12. 2007.

PINA LUPIAÑEZ, RAFAEL. El proyecto de arquitectura. El rigor científico como instrumento poético. 2004.

CONFERENCIAS

Ciclo de conferencias emergentes, H Arquitectes. 2016

Jornadas sobre desarrollo sostenible. DKV Seguros. 2015

Jornadas sobre Passivhaus. Passivhaus España. 2013.

Jornada técnica Más allá de la energía. Rehabilita Aragón. 2015.

Jornada técnica Construcción en rehabilitación. Rehabilita Aragón. 2015.

Jornada técnica Energía y rehabilitación. Rehabilita Aragón. 2015.

PÁGINAS WEB

Arquitectura y energía:

www.arquitecturasostenible.org

Blog sobre actualidad:

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

Calderón Folch Sarsanedas arquitectos:

www.calderon-folch-sarsanedas.com

Construcción 21:

<http://www.construction21.org/>

EUR-Lex Acceso a la Ley de la Unión Europea:

<http://eur-lex.europa.eu/>

Fundación Le Corbusier:

www.fondationlecorbusier.fr

Josep Bunyesc arquitecto:

www.bunyesc.com/

Organización de las Naciones Unidas:

www.un.org/es/development/devagenda/sustainable.shtml

Plataforma Edificación Passivhaus española:

www.plataforma-pep.org

Tectónica online:

www.tectonicablog.com

LA ENERGÍA COMO ESTRATEGIA DE PROYECTO
EN LA ARQUITECTURA ESPAÑOLA CONTEMPORÁNEA

Trabajo de Fin de Grado | María Unceta Pajares. 5º Arquitectura

Dirigido por Jaime Magén | Zaragoza, 5 de Febrero de 2016.