



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Edificación.

Curso: 2010-2011

**PROYECTO FINAL DE GRADO
MATERIALES PARA LA ARQUITECTURA
SOSTENIBLE.
APLICACIÓN DE CRITERIOS DE SOSTENIBILIDAD
EN REVESTIMIENTOS.**

Alumno:

Puertas Duque, Ruben

JUNIO 2011



INDICE DEL PROYECTO

1. ANTECEDENTES.
2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.
3. OBJETIVOS DEL PROYECTO.
4. FASE TEÓRICA DEL PROYECTO.
 - 4.1. CONFIGURACIÓN ARQUITECTÓNICA DEL EDIFICIO.
 - 4.2. ARQUITECTURA SOLAR PASIVA.
 - 4.3. APLICACIONES DE LOS SISTEMAS DE ENERGÍA SOLAR PASIVA.
 - 4.4. MATERIALES EN LA CONSTRUCCIÓN.
5. FASE PRÁCTICA DEL PROYECTO.
 - 5.1. PROPUESTA.
 - 5.2. MURO TROMBE.
 - 5.3. ASPECTOS DE FUNCIONAMIENTO.
 - 5.4. CONSIDERACIONES DE DISEÑO.
 - 5.5. CALCULO Y DIMENSIONADO.
 - 5.6. CALCULOS DE RENDIMIENTO.
 - 5.7. BUSQUEDA DE LOS MATERIALES A EMPLEAR.
 - 5.7.1. ACRISTALAMIENTO
 - 5.7.2. MURO
6. CONCLUSIONES.
7. BIBLIOGRAFÍA.
8. ANEXO I: ENERGIA SOLAR TÉRMICA.
9. ANEXO II: GLOSARIO DE TÉRMINOS.



1. ANTECEDENTES.

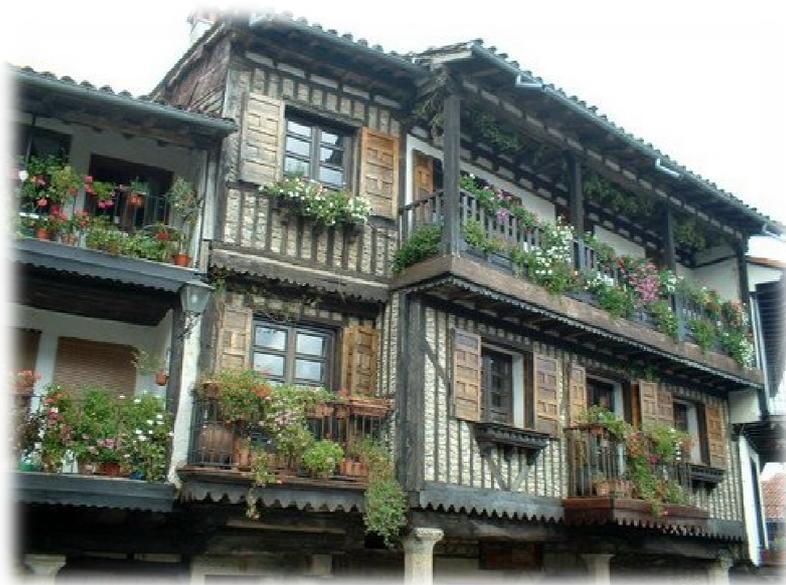
En 1973, con la crisis del petróleo se empieza a valorar la necesidad del ahorro energético. En los años 80 surge el concepto de desarrollo sostenible y se convierte poco a poco en un término renombrado en las políticas de desarrollo económico ya que se plantea satisfacer nuestras necesidades actuales sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer las suyas. Sin embargo y a pesar de la necesidad que hoy tenemos de acuñar ese término, el desarrollo sostenible ha estado presente desde los inicios de nuestra historia como especie.

A lo largo de la historia de la construcción, nos encontramos con que el ser humano, ha ido adaptándose al medio ambiente practicando algo muy parecido a la arquitectura sostenible que hoy conocemos. Al no disponer de recursos tecnológicos para modificar el medio ambiente, el hombre debía adaptarse a él para conseguir condiciones térmicas de habitabilidad.

Así pues, la arquitectura tradicional incorporaba de forma eficiente recursos bioclimáticos. Hay que constatar que la mayor parte de las soluciones formales que presenta la arquitectura tradicional o están motivadas directamente por una estrategia de carácter pasivo, para alcanzar el confort térmico, o son compatibles con otras motivaciones de tipo económico, cultural, etc. Ante la inexistencia de una técnica capaz de resolver toda una serie de cuestiones –entre ellas, el acondicionamiento climático– aquellas arquitecturas no pudieron abstraerse del medio en que se localizaban, de modo que tuvieron otra alternativa, la de dialogar con él, entendiéndolo primero y aprovechando después las posibilidades que éste ofrecía. Este diálogo fue sostenido durante generaciones y generaciones, en las que el método de ensayo “prueba y error” y las tradiciones constructivas heredadas fueron destilando toda una serie de tipologías llenas de sabiduría adaptativa e integración en el entorno, muy cercanas también al concepto actual de sostenibilidad.

Como ejemplo, no muy lejos de la comarca de Ayllón, en la Sierra de Francia, se encuentran pueblos con tipos edificatorios que atienden a una lógica de austeridad e inteligencia en la explotación de los recursos. Los habitantes de esta comarca, cuando querían construir una casa cortaban un castaño de los montes comunales para preparar la “viga madre”, elemento estructural que simbólicamente aguantaba las dos plantas habitables de la casa sobre la cuadra de la planta baja. El árbol del que se sacaba esta viga era repuesto por otro castaño para permitir que la siguiente generación pudiera a su vez construirse su casa. Este es sólo un ejemplo, pero nos permite afirmar que el funcionamiento de los asentamientos preindustriales se ajustaba bastante bien a la lógica de lo que hoy denominamos sostenibilidad, pues estaba perfectamente asumida la idea que los recursos son limitados y por tanto, si se utilizan, hay que reponerlos.

Si tomamos como ejemplo el caso de La Alberca, podemos comprobar que las estrategias bioclimáticas pasan por la protección de las abundantes lluvias. Estas casas constan de tres plantas, la planta baja está construida con muros de carga de piedra y las dos superiores en entramado de madera con forjado de lajas de granito de la zona y posterior encalado. Este sistema permite volar una planta sobre otra, de modo que la sección de la calle se convierte en un falso soportal que protege de la lluvia al viandante. La disposición del programa dentro de la vivienda también es coherente con esta estrategia de adaptación un clima lluvioso y frío. Los animales se guardan en la planta baja de piedra alejado de las partes habitables de la casa, (situadas en las plantas primera y segunda), de las zonas húmedas del suelo. La zona de noche se encuentra en primera planta, a la que rara vez llega el sol y que se puede recalentar con las ganancias internas que aporta el ganado y las reacciones exotérmicas de la oxidación de sus excrementos. En la planta segunda se alojan la cocina y la sala, a la que da un balcón de significativo nombre, la “Solana” siempre orientado a Sur y si no es posible a Este, protegido de los vientos húmedos del Oeste. Sobre esta planta se ubica el bajocubierta o “sobrado” conectado directamente con el hogar por medio del “sequero”, entramado de madera situado horizontalmente sobre el forjado de la cocina donde se ahúman los productos de la matanza del cerdo. El sobrado al acumular aire caliente se convierte en una magnífica cámara aislante en la superficie de la casa que está más expuesta a la intemperie



Otro buen ejemplo de cómo la arquitectura tradicional se adaptaba y aprovechaba los recursos del medio ambiente es Torralba de Calatrava. El caserío tradicional de la zona está formado por viviendas con patio y dependencias de uso agropecuario ocupando parcelas de mil o mil quinientos metros cuadrados de media con edificaciones de dos plantas máximo. La entrada a cada propiedad se realiza por un portalón (que puede tener algún tipo de habitación auxiliar por encima de él) dando acceso a un patio de proporciones generosas. En general la edificación destinada a vivienda se encuentra a Sur ocupando el resto del perímetro de la parcela los edificios de servicio cuyo uso es



agropecuario. Las condiciones climáticas de la zona son las típicas de un clima continental mediterráneo: inviernos fríos y relativamente secos y veranos secos y calurosos, con varios días seguidos por encima de los 40 °C. En este caso las estrategias bioclimáticas de las que echa mano la arquitectura del lugar son:

En los meses fríos, la exposición a Sur y en mayor medida el uso de los cerramientos con alta masa térmica para conseguir el doble efecto de acumulador del calor de la cocina y de otras formas de calefacción convencional (braseros de carbón de encina, por ejemplo) y el aislamiento frente a las condiciones exteriores; todo en un mismo elemento constructivo.

En los meses calurosos, la utilización del patio como espacio amortiguador en el que se genera un microclima con valores que marcan menor temperatura y mayor humedad relativa que los que existen en el ambiente exterior; esto es debido a la capacidad de sombrear su recinto y a la existencia de vegetación en él. Con aire de este patio se ventilan las dependencias de la vivienda gracias a las diferencias de presión entre fachadas

Estos ejemplos nos muestran como verdaderamente el ser humano ha conseguido aprovechar los recursos del medio minimizando el gasto energético necesario para vivir en condiciones adecuadas.

Paralelamente a esta adaptación al medio, el hombre ha ido seleccionando los materiales que mejor cubrían sus necesidades. En el ámbito de la construcción siempre ha buscado cubrir las necesidades mínimas que en función de la época, y del avance cultural se iban necesitando. La idea primaria fundamental, siempre ha sido la de conseguir un espacio protegido de la intemperie, en el que poder refugiarse, esto se conseguía con el limitado espectro de materiales que aportaba el entorno. En esta búsqueda descubrió que podía conseguir mejorar las cualidades originales de los materiales, gracias a la aplicación de diferentes procesos que de forma empírica iba descubriendo. El ingenio humano y su espíritu de progreso han conseguido que con el paso de los siglos se haya llegado a una especialización asombrosa en la que han aparecido infinidad de materiales cada uno con unas cualidades específicas buscando cubrir exigencias de alto rendimiento

Antes de la revolución industrial, los materiales eran naturales, propios de la biosfera, procedentes del entorno inmediato (la piedra, la tierra, la madera, arena y cal), de fabricación simple y adaptada a las condiciones climáticas del territorio donde se llevaba a cabo la edificación. A partir de ahí, la gran demanda de materiales de construcción comporta la necesidad de extraer y procesar gran cantidad de materias primas, elaborar nuevos materiales y el tratamiento de una elevada cantidad de residuos de construcción y demolición.

Esto provoca la necesidad de estudiar cada vez mejor los condicionantes de partida, en la búsqueda de un material, para de esta forma, poder obtener el material ideal que cubra todas las necesidades de una aplicación concreta.



Debido a la problemática de tener que buscar los materiales desde sus exigencias más representativas, estudiosos en este campo han desarrollado bases de datos que ayudan en el arduo trabajo de identificar el material idóneo. En estas plataformas se dispone de multitud de materiales con sus características, lo cual, nos sirve para poder condicionar la búsqueda a unos parámetros concretos.

2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.

La selección de materiales consiste primordialmente en la búsqueda de las exigencias que un material debe cubrir para poder resolver los condicionantes de partida en una aplicación específica. Hasta hace relativamente poco, siempre se han tomado las decisiones finales atendiendo solo a una restricción económica, pero cada vez más se está viendo la necesidad de atender a otro condicionante, el impacto ambiental del producto considerando su ciclo de vida.

El impacto del sector de la construcción en el medio ambiente es muy grande. Este se produce tanto en el momento de la ejecución con el perjuicio físico de la zona, como en la vida útil del edificio utilizando grandes cantidades de energía para abastecer a los ocupantes en sus quehaceres, y también en el momento de la demolición del edificio creándose grandes cantidades de residuos.

La construcción es un gran consumidor de recursos no renovables y una importante fuente de residuos y contaminantes para el aire, el suelo y el agua. Unos 22 millones de toneladas de escombros se producen cada año en España, por encima del total de residuos urbanos que no llegan a los 15 millones. Estos residuos se depositan habitualmente en escombreras ilegales o son mal gestionados. Sabemos que gran parte de estos materiales pueden reciclarse. Como ejemplo, algunos países con poca disponibilidad de áridos penalizan el vertido de residuos de la construcción, es el caso de Holanda y Dinamarca.

En términos estadísticos, se puede decir que el sector de la Construcción es responsable del 50% de los recursos naturales empleados, del 40% de la energía consumida (incluyendo la energía en uso) y del 50% del total de los residuos generados.

Los materiales de construcción inciden en el medio ambiente desde la primera fase (extracción) hasta la última (su tratamiento como residuos).

La fase de extracción y procesado es la etapa más impactante pues la extracción de rocas y minerales se lleva a cabo a través de las canteras y las graveras. Esto implica una modificación topográfica del paisaje, pérdida de suelo, así como la contaminación atmosférica y acústica.



La fase de producción o fabricación. Aquí los problemas ambientales derivan de dos factores: de la gran cantidad de materiales pulverulentos que se emplean y del gran consumo de energía necesario para alcanzar el producto adecuado. Esto se traduce en emisiones a la atmósfera de CO₂, polvo en suspensión, ruidos y vibraciones, vertidos líquidos al agua, residuos y el exceso de consumo energético.

La fase de empleo de los materiales. Los contaminantes y toxinas van desde gases como ozono y radón, monóxido de carbono, hasta compuestos orgánicos volátiles como organoclorados (PVC).

Fase de tratamiento como residuo. Es la fase final del ciclo de vida de los materiales de construcción. La mayor parte de estos residuos se trasladan a vertederos, que si bien en principio no contaminan, sí producen un gran impacto visual y paisajístico, amén del despilfarro de materias primas que impiden su reciclado.

Debido a todo esto la Comisión Europea propone a todos los estados miembros elaborar y poner en práctica un Programa Nacional de Construcción Sostenible (ya existente en países como Finlandia, Suecia, Holanda y Reino Unido), así como la adopción de medidas complementarias en orden a establecer tanto las nuevas exigencias de eficiencia medioambiental de carácter no energético, como el etiquetado medioambiental de los materiales de construcción utilizando normas europeas y el Eurocódigo.

Para su empleo en la edificación, los materiales con menor impacto ambiental, deben incorporar criterios de sostenibilidad ambiental, como alta eficiencia energética, durabilidad, recuperabilidad, recursos renovables, empleo de tecnología limpia y valorización de residuos.

Asimismo, se echa en falta un Plan Nacional de Edificación Sostenible que recoja tanto los criterios relativos al empleo de materiales de bajo impacto ambiental, como otros bloques temáticos referidos, entre otros, a la eficiencia energética y a la gestión de los residuos de construcción y demolición. Al hilo de la gestión de estos residuos, resulta necesaria la elaboración de normas que exijan en todos los proyectos de obras la incorporación de materiales reciclables procedentes de plantas de tratamiento instaladas a tal efecto. Por ello, se hace imprescindible potenciar, simultáneamente, un mercado de materiales adecuado que supere, de un lado la baja aceptación de los productos reciclados, y de otro el precio final del producto o material reciclado, superior al de los materiales elaborados con materias primas

Esta incidencia en el medio ambiente que hemos visto hasta ahora es debida a los materiales y a los residuos que se producen en los momentos de construcción de un edificio y en su derribo final. Sin embargo es necesario también centrarse en el uso del edificio y las necesidades energéticas del mismo así como de los propios usuarios. De esta manera encontramos la necesidad de intentar conseguir una gran meta; la eficiencia energética. Para llegar a ella es necesario por una parte reducir las necesidades energéticas de los edificios mediante el ahorro de energía y por otra aumentar la capacidad de capturar la energía del sol o de generar su propia energía.

Para conseguir esto hay diversos recursos como: datos bioclimáticos (temperatura, humedad, radiación solar) enfriamiento eficiente, aislamiento térmico de la envolvente, refrescamiento pasivo, calefacción eficiente, orientación del edificio, dispositivos solares



o generadores eólicos. Y por supuesto la coherente y acertada elección de los materiales con los que va a construirse el edificio.

Así como en muchas ocasiones no se puede decidir el lugar del emplazamiento de la construcción, si que podemos elegir adecuadamente un material más o menos eficiente, más o menos durable, más o menos aislante o más o menos apropiado si tenemos a nuestro alcance una determinada información y una aceptable variedad de materiales contrastados y ordenados de manera que la búsqueda sea acertada y productiva.



3. OBJETIVOS DEL PROYECTO.

Los objetivos fundamentales que vamos a abordar en este proyecto son los que vamos a enumerar a continuación:

- Profundizar en el estudio de los diseños arquitectónicos que aprovechan la energía procedente del sol, y como estos consiguen resultados más sostenibles.
- Identificar los principales problemas ambientales que presenta la construcción de edificios.
- Buscar las restricciones fundamentales de los materiales en una aplicación concreta, permitiéndonos condicionar la búsqueda y alcanzar un resultado óptimo.



4. FASE TEÓRICA DEL PROYECTO.

4.1. CONFIGURACIÓN ARQUITECTÓNICA DEL EDIFICIO.

En el diseño de edificios siempre se busca la obtención de espacios en los que poder habitar en unas condiciones óptimas de confort. Las personas necesitamos acondicionar los interiores, consiguiendo que la temperatura sea lo más estable y agradable posible. Por ello, se debe diseñar el edificio atendiendo a los condicionantes climatológicos del lugar, como son la temperatura media anual, la radiación solar, la pluviometría, los vientos dominantes de la zona, entre otros. Este estudio nos deberá facilitar la información necesaria para poder diseñar el edificio atendiendo fundamentalmente a su forma, y a la envolvente que lo protegerá del exterior.

La forma de la edificación condiciona la manera en que el edificio se va relacionar con su entorno, provocando que este capte más energía o pierda calor dependiendo de su geometría. Sera conveniente considerar:

- En zonas templadas, se deberá tender al edificio lineal en la dirección este-oeste, permitiendo un mayor aprovechamiento de la radiación solar recibida por la fachada sur.
- En zonas donde las temperaturas son extremas, tanto de frío como de calor, será conveniente que el edificio sea más compacto.

La envolvente determinará el grado de intercambio energético entre el interior y el exterior del edificio. Será conveniente analizar:

- La superficie de contacto con el terreno; las edificaciones parcialmente enterradas gozan de una mayor estabilidad térmica, pero a veces también se reduce el acceso a la radiación solar y la posibilidad de ventilación natural.
- Los cerramientos deberán estar convenientemente aislados, así como las carpinterías estar dotadas de puentes térmicos, para poder de esta forma obtener una óptima eficiencia energética reduciendo los intercambios de calor.
- La cubierta es un elemento esencial en cualquier edificación, siendo la que consigue la estanqueidad del conjunto. Un correcto diseño puede conseguir resultados notables en la estabilidad térmica interior.

Para diseñar edificios con mayor sostenibilidad, también es necesario atender a la distribución interior. Para realizar una distribución óptima se debe tener en cuenta



múltiples factores, por ejemplo, una compartimentación elevada facilita el control de la temperatura en las diferentes estancias, mientras que los espacios amplios permiten una mejor ventilación, aconsejable en áreas donde la ocupación es continua, debiendo ubicarlas en la orientación más favorable posible.

4.2. ARQUITECTURA SOLAR PASIVA.

Además de conocer las diferentes formas de aprovechamiento de la energía solar mediante dispositivos de captación, es interesante conocer las maneras de las que se dispone para conseguir aprovechar al máximo la energía que proviene del Sol simplemente con un diseño arquitectónico adecuado.

En la actualidad cada vez más los arquitectos y diseñadores están utilizando diferentes elementos arquitectónicos para conseguir formas que a la vez consigan reducir al máximo las pérdidas de energía. Esto a su vez, repercute en el usuario final de la vivienda que necesita consumir menos energía, y por tanto gasta menos, para alcanzar un nivel de confort aceptable.

La arquitectura solar pasiva como parte específica de arquitectura bioclimática se define como aquella que propicia, sin el recurso del acondicionamiento artificial del aire, ambientes interiores confortables dentro de un amplio margen de variación de las condiciones exteriores; El término "pasiva" se debe a que no implica dispositivos especiales con partes móviles que sean exteriores o que no pertenezcan a la propia construcción arquitectónica.

Esta arquitectura solar pasiva tiene que tener en cuenta multitud de variables medioambientales, como la posición relativa del espacio considerado y el sol, los vientos dominantes, las propiedades ópticas y capacidades térmicas de los materiales, etc.

Los elementos básicos usados en la actualidad por la arquitectura solar pasiva y los efectos que producen en la vivienda son los siguientes:

- **Aislamiento:** Reduce las pérdidas de calor y por consiguiente el consumo de energía para la calefacción. El aislamiento debe colocarse en la parte exterior de la pared para mantener la inercia térmica y evitar pérdidas de calor por conducción al exterior.
- **Acristalamiento:** Este elemento capta la energía solar y por el denominado "efecto invernadero" retiene el calor. El acristalamiento debe complementarse con la adecuada orientación de las ventanas para poder aprovechar al máximo la energía solar. En la figura se muestra un edificio en el que se hace uso de este elemento.



- Aleros: En la fachada es conveniente incorporar elementos capaces de modificar el grado de soleamiento, para adaptarse a diferentes situaciones de radiación, y temperatura. Es necesario incorporar mecanismos para el control de la radiación solar en cualquier época del año, pero sin interferir en el acceso de la luz natural en el interior del edificio. Junto con las persianas y otros elementos del mismo estilo, los aleros tienen por misión evitar la radiación directa en la casa, permitiendo que penetre la radiación difusa. Estos elementos evitan los sobrecalentamientos de las casas pasivas en verano, basándose su funcionamiento en la distinta altura del Sol con respecto al horizonte en invierno y verano.



- **Masa Térmica:** Las paredes macizas de hormigón, ladrillo o piedras, dan una inercia térmica a la vivienda protegiéndola de las fluctuaciones bruscas de temperatura en el exterior. La masa térmica está constituida por los elementos estructurales del edificio o por algún material acumulador específico como agua, tierra, piedras, que tiene como misión almacenar la energía captada.
- **Reflectores:** Dentro de los elementos arquitectónicos utilizados son los menos importantes. Los reflectores son unos elementos móviles que se utilizan para producir incrementos de la radiación que penetra en la vivienda en invierno, mientras que en verano pueden hacer las veces de aleros.
- **Otros:** La refrigeración por evaporación de láminas de agua, o mediante fuentes, supone una solución muy eficiente en el acondicionamiento del interior de la vivienda en épocas calurosas, debido que el agua al cambiar de fase y evaporarse, absorbe gran cantidad de calor reduciendo la temperatura. Por su parte, la vegetación puede suponer un buen sistema para el control de la radiación, gracias a que las especies de hoja caduca, tienen gran cantidad de hojas en verano, cuando se necesita sombra, y se quedan sin ellas en invierno, cuando se necesita aprovechar al máximo la radiación solar.

Además de todos estos elementos, la integración de colectores de aire, la utilización de paredes internas como muros acumuladores de calor y la aplicación de ventiladores para la impulsión de aire, aumentan la eficiencia de los sistemas de arquitectura pasiva y entran a tomar parte de lo que se denomina como arquitectura bioclimática.

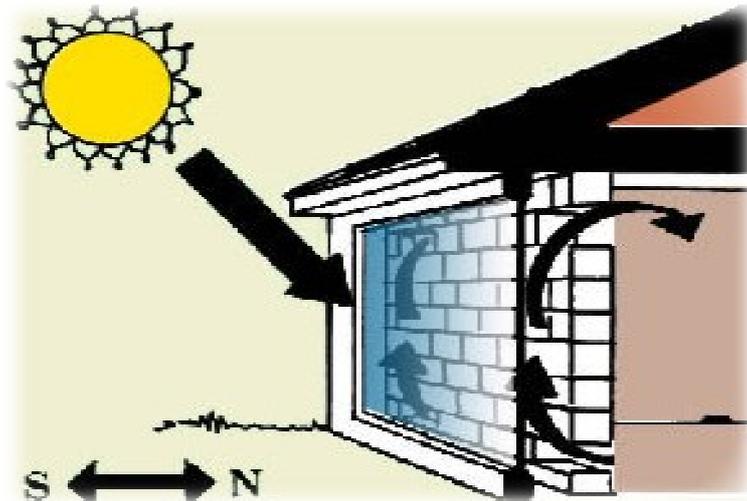
4.3. APLICACIONES DE LOS SISTEMAS DE ENERGÍA SOLAR PASIVA.

Tal como ya se ha mencionado, las tres aplicaciones más importantes de los sistemas solares pasivos son la calefacción, la refrigeración, y la iluminación.

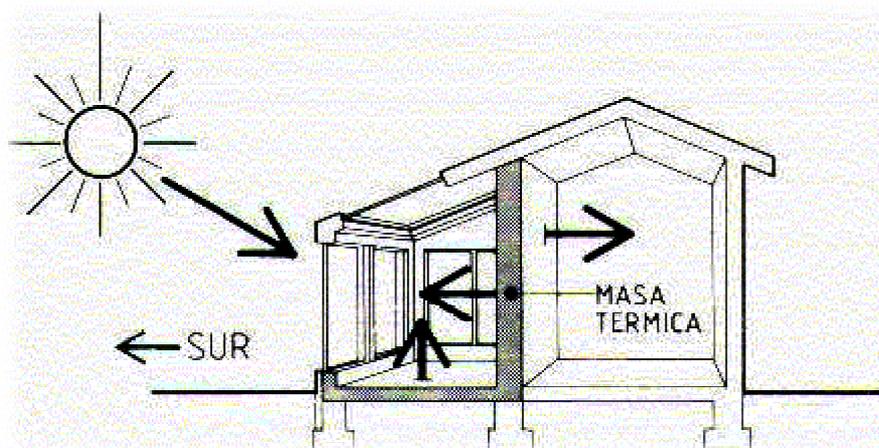
Son cinco los tipos de utilización pasiva que existen para producir calefacción:

- **Ganancia directa.** Es método más simple y el más utilizado. El espacio a calefactar es calentado directamente por el Sol a través de ventanas orientadas al Sur. El calor que entra por las ventanas es absorbido por el suelo y paredes, y por su inercia térmica, vuelven a emitir por la noche para mantener el espacio caliente. Esto puede ser beneficioso en algunos casos porque ayuda a mantener temperaturas más estables. Es necesario considerar que un exceso de masa térmica también puede llegar a ser contraproducente, por lo que es preciso dimensionar la masa térmica con precaución.
- **Pared Acumuladora de Calor.** También conocida como “Muro Trombe”, utiliza la masa térmica de la pared directamente orientada al Sur y protegida por una superficie acristalada para captar la energía solar, almacenarla y posteriormente cederla al interior de la casa en las horas nocturnas. La fotografía de la figura siguiente muestra una pared de este tipo. En función de su espesor y de sus

características térmicas, el calor captado durante el día sufre un desfase en el tiempo a su paso a través de la pared hasta ser emitido en el interior de la vivienda por las noches, gracias a este desfase temporal del calor almacenado. A este efecto se le conoce como “inercia térmica” de la pared acumuladora.

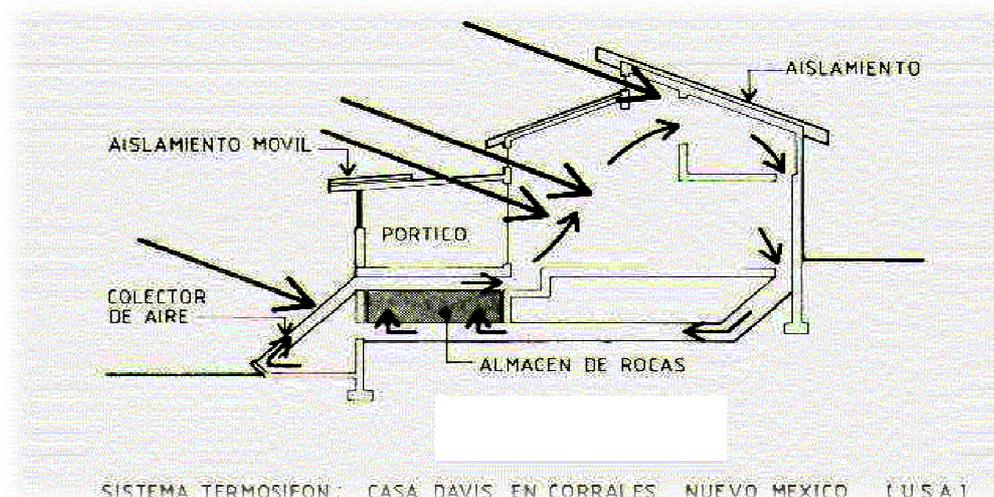


- Invernadero contiguo a la vivienda. Este sistema es una combinación de la ganancia directa y la pared acumuladora de calor vistos anteriormente, ya que está formado por un invernadero acristalado orientado al Sur, y una pared con una gran masa térmica entre el invernadero y la vivienda. La energía solar captada por el invernadero es acumulada por la pared y posteriormente emitida al interior de la vivienda y al mismo invernadero.



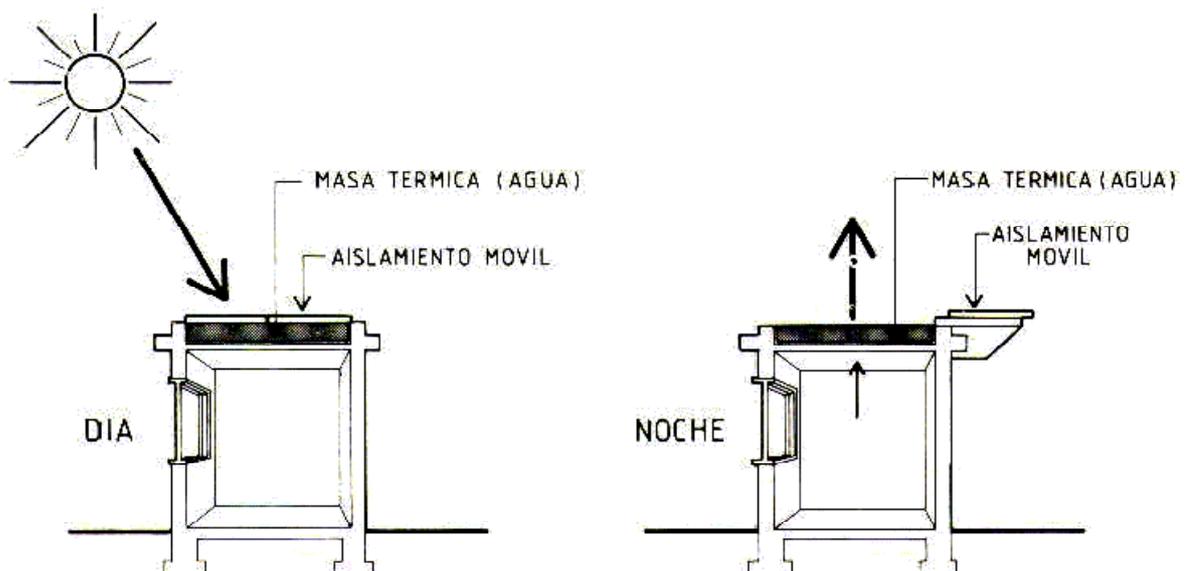


- Techo Acumulador de Calor. Es semejante a la pared acumuladora, con la variante de estar la masa térmica situada en el techo en lugar de en la pared sur.
- Colector de Aire-Almacén de Rocas. Sistema termosifón. Este sistema está constituido por un colector plano de aire conectado a la parte inferior de un depósito almacén de rocas mediante conductos de aire. El aire caliente del colector pasa por circulación natural al almacén situado en su parte superior, cediendo el calor a las piedras, y el aire frío de la parte baja del almacén entra de nuevo en el colector para ser calentado. Este almacén de calor se encuentra a su vez, incluido en el suelo de la vivienda de forma que transmite el calor por conducción a la misma, es lo que se llama suelo radiante.



La refrigeración de viviendas mediante la utilización pasiva de energía solar es una técnica que surge de la necesidad de mantener los sistemas de calefacción funcionando continuamente durante todo el año, y también para evitar los sobrecalentamientos que en verano se podrían producir al tenerlos parados.

- Ventilación nocturna. Por la noche durante el verano cuando la temperatura exterior es inferior a la de la casa, una ventilación adecuada permitirá disipar el calor desde el interior de la vivienda y enfriar la masa térmica para el día siguiente. La ventilación puede realizarse tanto por circulación natural (convección natural), como por convección forzada mediante un ventilador. Toda ventilación nocturna debe ser apoyada durante el día por aleros, toldos y persianas para evitar una ganancia directa solar de la casa.
- Pared Acumuladora de Calor. Mediante este sistema se produce una ventilación natural de la vivienda durante el día. Para ello se abre una ventana en la parte superior de la superficie colectora, lo que permitirá que el aire caliente se escape y éste, dejará un hueco para que el aire frío entre por debajo de la pared. Para dejar entrar el aire frío, se practica un orificio en la cara norte de la vivienda.
- Techo Acumulador de Calor. Este sistema absorbe el calor de la vivienda durante las horas del día, cediéndolo al ambiente durante la noche. Esto se consigue mediante un aislamiento móvil que mantiene el techo protegido de los rayos solares durante el día, y por la noche se quita, dejando el techo al descubierto, permitiendo que se enfríe. Normalmente la masa térmica es agua colocada en recipientes de plásticos cerrados.





La iluminación de los recintos ayuda a reducir el consumo de electricidad, puesto que disminuye el consumo de luz artificial. Proporcionar luz a una vivienda, es la aplicación más extendida de la energía solar pasiva. Para aprovechar la iluminación natural es preciso tener en cuenta diferentes aspectos, tanto en el diseño de las estancias como de las aberturas:

- La forma y dimensión de los locales: las habitaciones profundas y con poca superficie de fachada son más difíciles de iluminar.
- La orientación, situación y tamaño de las aberturas. Las orientaciones norte proporcionan una iluminación más uniforme, las ventanas altas iluminan mejor los locales profundos.
- El acabado superficial de los materiales exteriores e interiores, determinan el grado de reflexión de la luz en alféizares, jambas, techos, y suelos consiguiendo que la luz se disperse por las estancias consiguiendo mayores intensidades en el interior.

Al tratarse de aprovechar la luz solar, se debe tener en cuenta que el sol a lo largo del año presenta diferentes intensidades y ángulos de incidencia. Por ello será necesario la utilización de elementos de control lumínico, como persianas, toldos, cortinas, voladizos, celosías, lamas, o cualquier otra clase de oscurecimiento artificial, que permitan filtrar la luz de forma controlada para evitar posibles deslumbramientos.

La consideración de todas las características de la arquitectura solar pasiva no supone un sobrecoste muy elevado en la construcción, por lo general alrededor del 10%, pero el ahorro energético puede llegar a ser de hasta un 70 u 80% durante el tiempo de utilización. En el futuro se prevé que este coste se reduzca aún más. Es de notar que este tipo de energía ayuda notablemente a reducir el uso de otras energías fuertemente contaminantes. Se estima que se podrá duplicar el aprovechamiento de la energía solar pasiva en los próximos años, y por lo tanto podrá suponer una reducción de 50% de las emisiones de CO₂ y ahorrar mucha energía.

En edificación, y pese al avance que ha supuesto la aparición en el año 1998 del nuevo Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios (RITE), en el que se introducen aplicaciones de la energía solar térmica, existen ciertas lagunas. Los diseñadores no prestan especial cuidado en la integración de las instalaciones solares en los edificios, lo que ha provocado un cierto rechazo a las mismas en la sociedad y en el colectivo de arquitectos por motivos estéticos.



4.4. MATERIALES EN LA CONSTRUCCIÓN.

El proceso de fabricación de los materiales y productos de la construcción tiene un fuerte impacto que afecta negativamente al medio ambiente, provocando la disminución de los recursos naturales y el aumento del gasto energético. La extracción del material natural, su transformación en materia prima, el proceso de fabricación del producto y el consumo de energía derivada del petróleo, originan emisiones de todo tipo, muchas tóxicas, contaminantes y potencialmente peligrosas para la salud.

La herramienta de trabajo más utilizada en el estudio de la repercusión ambiental de materiales y soluciones constructivas es el Análisis de Ciclo de Vida (ACV). Este método analiza los diferentes procesos a qué están sometidos los materiales (producción, transporte, utilización, etc.) y establece indicadores que los penalizan: efecto invernadero, ozono, energía, residuos, etc.

En general, las soluciones constructivas más correctas son las que tienen unas dimensiones ajustadas al cálculo (para reducir el volumen del material y por tanto, el consumo de energía) y están realizadas con elementos fácilmente separables, mediante capas no adheridas que permitan la deconstrucción. Esta medida facilita el reciclaje posterior del material y minimiza la generación de residuos. Por otra parte la utilización de sistemas prefabricados disminuye la generación de residuos en la obra y garantiza la recuperación de los generados en fabricarlos.

Pese a que todos los materiales de construcción provocan un impacto sobre el medio ambiente, cada uno lo hace de forma diferente. Los de origen pétreo, por ejemplo, repercuten principalmente en el lugar de extracción, afectando al paisaje y originando emisiones de polvo. Los metales, por su parte, consumen grandes cantidades de energía en el proceso de transformación, debiéndose también considerar las prestaciones y las posibilidades de reciclaje. Los plásticos tienen como impacto adicional las emisiones tóxicas que producen al ser incinerados. La madera es un recurso natural renovable (si su producción es correctamente gestionada), que consume poca energía en los procesos de transformación más usuales pero que, para algunos usos, puede requerir tratamientos de protección que a menudo originan emisiones y residuos tóxicos.

En resumen, es conveniente la utilización de materiales y sistemas de construcción durables, que garantice un impacto ambiental tan bajo como se pueda (fabricado con componentes reciclados, con consumo energético bajo, reutilizable o reciclable en el futuro), fácilmente desmontables, estandarizados y de procedencia próxima, para disminuir el gasto energético añadido por el transporte.



5. FASE PRÁCTICA DEL PROYECTO.

5.1. PROPUESTA

En la parte práctica vamos a profundizar en el estudio y análisis de una de las técnicas estudiadas en el apartado anterior, el muro Trombe. De esta manera nos adentraremos en el estudio de su funcionamiento, y de su dimensionamiento. Para ello debemos plantearnos un problema práctico de una vivienda en una ubicación concreta, para poder analizar los condicionantes relativos al clima que son necesarios a la hora de buscar una solución óptima. Esta definición formal del emplazamiento nos deberá servir para diseñar una vivienda teórica con un gasto energético por calefacción nulo, gracias al dimensionado correcto, y a la selección de materiales apropiados. Por facilidad de obtención de datos e interés en conocer las posibilidades de la aplicación a nivel regional, hemos elegido como enclave Valencia.

5.2. MURO TROMBE

Desde la antigüedad, la gente ha utilizado gruesos muros de piedra o adobe para captar el calor del sol durante el día y liberarlo lentamente durante la noche para mantener calientes las casas. Las viviendas bioclimáticas han recogido y mejorado esta vieja técnica incorporando un sistema de almacenamiento y distribución del calor que se denomina Muro Trombe-Michel.

El muro Trombe fue diseñado y patentado por Edward Morse en 1881 (US Patent 246626), pero este fue ignorado hasta 1964. En los años 60 el diseño fue popularizado por las construcciones que usaban los principios de las casas solares pasivas en Font-Romeu-Odeillo-Via, Francia, por el ingeniero Félix Trombe y el arquitecto Jacques Michel.

Es un sistema pasivo de recolección de energía solar de forma indirecta, que se utiliza para el calentamiento interno de casas, utilizando transferencia de calor, por conducción, convección y radiación. Es un sistema indirecto porque la captación la realiza un elemento dispuesto entre el cristal y el interior de la vivienda, y pasivo porque no hay elementos mecánicos en funcionamiento. El muro debe estar orientado al sol, preferentemente al norte en el hemisferio sur y al sur en el hemisferio norte, debe estar construido con materiales que puedan acumular gran cantidad de calor durante el día, para paulatinamente transmitirlo por la noche cuando se necesita.



Las ventajas que aporta son varias; por una parte las estancias calentadas mediante muros Trombe se perciben como mucho más confortables que aquellas que se calientan mediante radiadores o calefactores de aire, precisamente por la gran superficie radiante que ofrecen; por otra al ser un sistema pasivo no tiene partes móviles, precisando poco o ningún mantenimiento. Finalmente cabe destacar que su construcción es sencilla y no supone un excesivo aumento del presupuesto material de la obra, rentabilizándose su ejecución en la vida útil del edificio.

5.3. ASPECTOS DE FUNCIONAMIENTO.

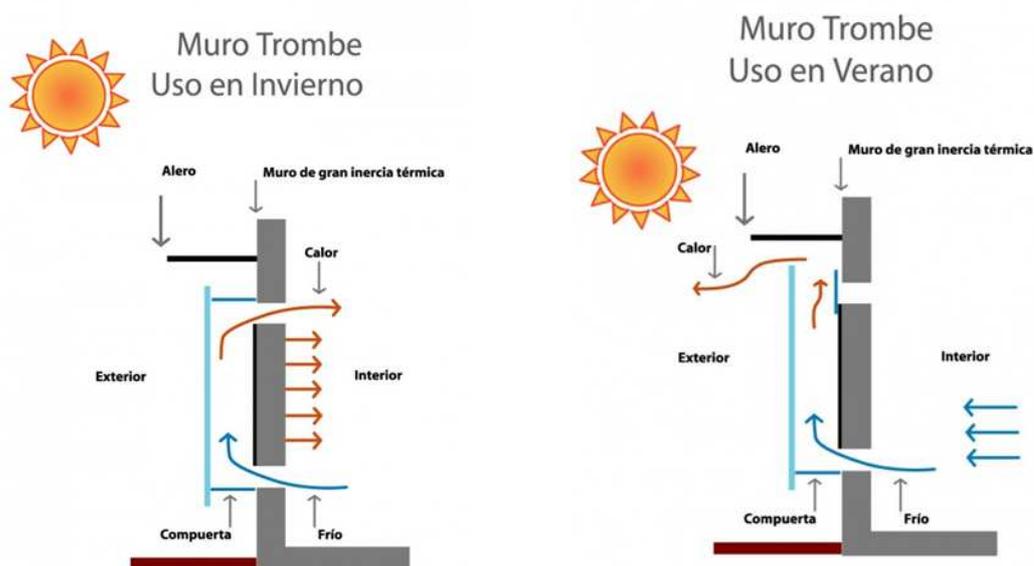
El muro de Trombe trabaja básicamente absorbiendo radiación solar en la cara exterior y transfiriendo este calor a través de la pared por conducción. Es posible añadir orificios de ventilación en la pared para distribuir el calor dentro de una habitación, por convección (termocirculación). Consiste básicamente en una pared gruesa de entre unos 20 a 40 centímetros, enfrentada a un vidrio simple o doble. El vidrio se coloca a una distancia comprendida entre 20 y 150 cm de la pared para generar un espacio pequeño o cámara de aire.

Durante el día, los rayos del sol atraviesan la lámina de vidrio calentando la superficie oscura del muro y almacenando el calor en la masa térmica de este. Por la noche, el calor se escapa del muro tendiendo a enfriarse principalmente hacia el exterior, pero como se encuentra con la lámina de vidrio (es semiopaca a la radiación infrarroja) el calor es entregado al interior del local. Debido a esto la temperatura media diaria del muro es sensiblemente más alta que la media exterior. Si la superficie vidriada es mejorada en su aislamiento térmico (mediante doble o triple vidrio) la pérdida de calor hacia el exterior es mucho menor elevando la temperatura del local a calefactar. Esto permite que mientras en el exterior hay bajas o muy bajas temperaturas el interior del local se encuentre en confort higrotérmico y adecuadamente diseñado y calculado se puede lograr una temperatura constante de 18 a 22 °C en el interior de la casa.

Dotar de una superficie selectiva al muro Trombe sirve para mejorar su rendimiento ya que reduce la energía infrarroja que es irradiada hacia el exterior. La superficie selectiva también puede potenciarse superponiendo y pegando al muro una chapa de metal pintada de negro. Esta plancha absorberá casi toda la radiación visible y emitirá muy poca radiación en el rango infrarrojo del espectro. La alta absorción convierte la luz en calor en la superficie del muro y la baja emisividad evita que el calor escape a través del cristal.

Los arquitectos suelen combinar muros Trombe con ventanas, voladizos y otros elementos constructivos para regular el flujo de radiación solar. Los ventanales, estratégicamente situados, permiten la entrada de la luz y el calor del sol mediante

ganancia solar directa. Al mismo tiempo, los muros Trombe absorben y almacenan el calor para su uso al finalizar el día, por lo que su uso combinado resulta perfecto. Los voladizos protegen los muros Trombe de la radiación solar en los meses calurosos, cuando el sol está más alto, evitando que estos acumulen calor cuando no es necesarios, esta medida en combinación con la apertura de la cámara de aire entre el vidrio y el muro, nos protegen de posibles sobrecalentamientos en verano. En las siguientes imágenes se puede observar las dos posiciones, de verano y de invierno.



Existen otras posibles variaciones en el diseño del muro Trombe que pasamos a mencionar a continuación; colocación de cortinas que permiten reducir las pérdidas de calor nocturnas, así como la posibilidad de sombrear el muro en los meses veraniegos; aprovechamiento del calor del muro pasando tuberías de agua caliente sanitaria; y uso de una superficie selectiva para incrementar la absorción de la radiación solar por la masa térmica.

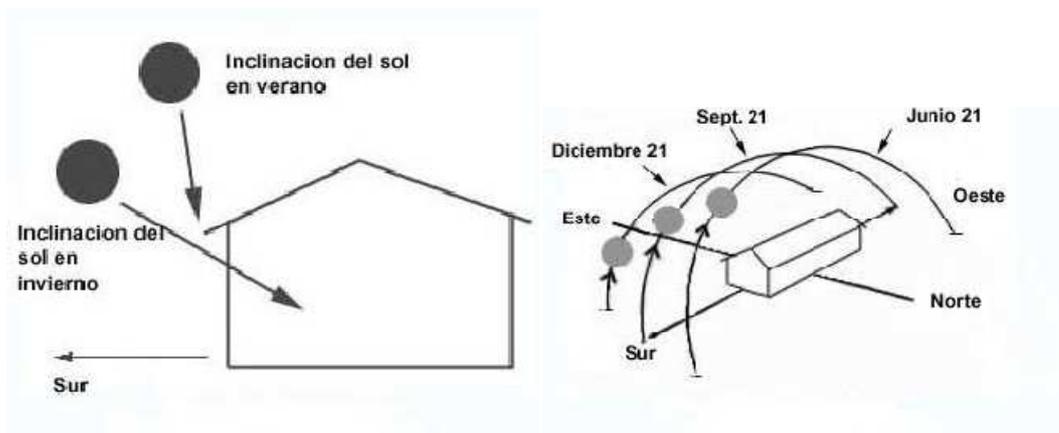
5.4. FACTORES IMPORTANTES A CONSIDERAR EN EL DISEÑO.

Para un buen dimensionamiento del muro hay que tener en cuenta el clima, la latitud y obviamente las necesidades de calefacción, que se pueden definir como los factores externos. Además, los elementos que en este intervienen: el muro (espesor y material), la superficie de vidrio, el número y dimensiones de los orificios, ya que de esto dependerá la eficiencia del muro forman los factores internos.

Factores externos: Con la explicación de estos factores se verá posteriormente un criterio sencillo para dimensionar el muro.

-El clima: La cantidad de calor perdido por el muro depende necesariamente de la diferencia entre la temperatura externa e interna del cuarto. Cuanto más grande sea la diferencia mayor serán las pérdidas, por eso, para climas muy fríos se deberá sobredimensionar el muro.

-Latitud y orientación: La energía solar incidente sobre la fachada sur en invierno para latitudes por encima del ecuador, y sobre la fachada norte para las latitudes por debajo del ecuador, cambia según la latitud, por eso, como regla general es preciso incrementar el tamaño del muro a medida que se aumenta de latitud, ya que se recibe menos calor. Es importante también tener en cuenta la trayectoria del sol durante las diferentes épocas del año.



La orientación del muro, para las zonas del hemisferio norte, debe estar ubicada, de forma ideal, a 5° del verdadero sur, aunque a 15° funciona bien, pero no es tan efectivo. A 15° en verano reduce los problemas de sobrecalentamiento.



Otros factores a considerar en el diseño de la envolvente del edificio son; el tipo y colocación de las ventanas de la casa, ya que estas contribuyen al mantenimiento de la temperatura, no debiendo superar el 4% de la superficie las orientadas al Norte y al Este; la hermeticidad de la estructura, igual de importante es la cantidad de energía que almacene el muro, como que esta energía almacenada no se pierda por la envolvente.

5.5. CALCULO Y DIMENSIONADO.

El criterio básico para dimensionar un muro de Trombe es que éste transmita a lo largo del día suficiente energía térmica (calor), esto supone que la energía transmitida por el muro debe ser suficiente para mantener una temperatura media en el interior de 18°C a 22°C durante 24 horas. A partir de este criterio se puede establecer proporciones necesarias por unidad de superficie útil. Entendiéndose superficie útil como aquella superficie en contacto con la habitación o cuarto a calentar. La siguiente tabla proporciona diferentes valores de área para diferentes climas.

Temperatura Media Exterior Invierno	Superf. Pared necesaria /Unidad Superf. útil
Climas Fríos	
-10°C	0.72-1.0
-7°C	0.60-1.0
-4°C	0.51-0.93
-1°C	0.43-0.78
Climas Templados	
+2°C	0.35-0.60
+5°C	0.28-0.46
+7°C	0.22-0.35

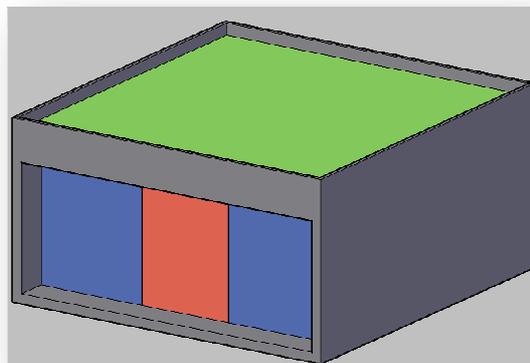
En cada margen se elegirá el coeficiente según la latitud. Para latitudes bajas, se debe tomar el valor menor del margen y para latitudes altas el valor mayor del margen. También es importante tener en cuenta el tipo de aislante que tenga el muro perimetral. Para nuestro

caso en concreto hemos obtenido la determinación de la zona climática para la localidad de Valencia, analizando la severidad climática de invierno y de verano. La ubicación de Valencia está en zona climática B3, con una relación de temperaturas medias y humedad relativa en cada mes del año que se muestra a continuación:

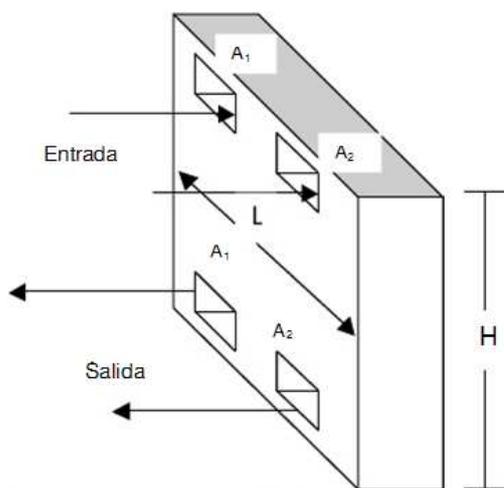
	Enero	Feb	Marzo	Abril	May o	Juni o	Julio	Agos t	Sep t	Oct	Nov	Dic
T _{Media}	10,4	11,4	12,6	14,5	17,4	21,1	24,0	24,5	22,3	18, 3	13, 7	10, 9
HR _{Media}	63	61	60	62	64	66	67	69	68	67	66	64

Estos datos han sido obtenidos analizando la normativa de referencia en España en esta materia, el Código Técnico de la Edificación, en su Documento Básico de Ahorro Energético (DB-HE-CTE).

En el edificio propuesto, nuestra superficie útil es de 156m², considerando solo la superficie de techo y paredes, no así la superficie de pavimento por estar en contacto con el terreno, el cual al estar enterrado presenta una temperatura constante de confort. La localización como hemos apuntado antes es en Valencia, con una temperatura media en Invierno (considerando los tres meses más severos, Diciembre, Enero, Febrero) de 10,9°C. Con este dato podemos obtener extrapolando el valor que nos relaciona la superficie útil en contacto con la estancia, con la superficie necesaria de muro, siendo este de 0.12214. Así pues, para una superficie útil en contacto con la estancia de 156 m² necesitaremos 19,05 m² de muro Trombe en la fachada orientada al Sur. En la perspectiva siguiente, obtenida mediante soporte informático CAD, se observa la distribución planteada, colocando el muro en combinación con ventanas para aprovechar con ellas la energía directa del Sol durante el día. Con esta solución y una distribución interior diáfana conseguimos a priori una vivienda ideal sin necesidad de aporte de energía por calefacción.



Una vez calculada la superficie necesaria de muro pasamos a calcular la superficie de los orificios por los cuales se va a producir la convección. Para esto no hay un parámetro especial pero, básicamente el área de estos debe ser suficiente para garantizar un flujo uniforme y constante, sin producir movimientos fuertes del aire en su circulación. Debe tomarse como superficie total de las perforaciones de una hilera, aproximadamente 1 dm² por metro cuadrado de muro. En nuestro caso particular hemos obtenido una superficie de orificios de 9,5cm² cada orificio, habiendo dos superiores y dos inferiores.



$A_1 + A_2 = (L \times H) / 100$; Siendo la dimensión de nuestro muro de 3x4m.

$A_1 + A_2 = (6,3 \times 3) / 100$; $A_1 + A_2 = 0,19 \text{ m}^2$;
obteniendo finalmente;

$A_1 = A_2 = 0,095 \text{ m}^2 \Rightarrow 9,5 \text{ cm}^2$

Una vez calculado la superficie del muro necesario, así como la superficie de los orificios, nos tenemos que centrar en obtener el grosor del muro. Existe un grosor óptimo para cada material, debido a que si se sobredimensiona puede producirse un sobrecalentamiento de la pared. Como referencia, cabe destacar que usualmente se han utilizado espesores de entre 20 y 30 cm en muros de adobe, de 25 a 35 cm en muros de ladrillo, y de 30 a 45 cm en muros de hormigón.

El espesor óptimo para un muro se incrementa cuando la conductividad también aumenta, así pues, un muro con un valor de conductividad muy alto transfiere rápidamente el calor de la superficie exterior a la interior de la estancia, y por esto se debe sobredimensionar para que el transporte de calor sea utilizado en el momento requerido (en la noche), es decir cuando el muro entra en operación. Al contrario, si un muro tiene una conductividad baja, lo que nos interesa es que su espesor sea inferior. Más adelante profundizaremos en la búsqueda del material idóneo mediante las opciones de búsqueda avanzada de la base de datos, buscando el material que mejor se adapte a las restricciones de partida.

Otro factor muy importante a la hora de emplear este sistema y que también necesita de una búsqueda del material idóneo, es la superficie de vidrio. El vidrio debe tener un buen comportamiento en invierno, no dejando escapar el calor del muro, y permitiendo ingresar toda la radiación posible para que esta caliente el muro.



También se debe buscar la mayor absorción de energía en la cara exterior del muro para que de esta manera mayor sea la transmisión de calor hacia el interior. Por eso, una pared oscura (negra) tiene una absorción del 95%, en cambio, el azul oscuro proporciona un 85% de rendimiento. Por eso es importante la selección de un color adecuado.

5.6. CALCULOS DE RENDIMIENTO.

Se presentarán 4 puntos importantes para revisar el cálculo del rendimiento del muro, estos son: Cálculo de las pérdidas de calor del espacio, cálculo de las ganancias de calor del espacio, determinación de la temperatura media interior y la determinación de la variación de la temperatura interior (temperatura del muro).

*Cálculo de las pérdidas de calor del espacio: En el cálculo por pérdidas de calor es necesario calcular las pérdidas horarias, es decir, las pérdidas existentes durante las horas de luz y las pérdidas existentes en los momentos de oscuridad. Las pérdidas horarias divididas por la superficie útil local dan como resultado un coeficiente (F) global por pérdidas locales por día.

$$P_h = A_t \times S [(h_{\text{día}} / R_1) + (h_{\text{noche}} / R_2)] \times 3.6 \times 10^6$$

Donde: A_t = Diferencia de temperatura.

S = Área del muro.

R_1 = del vidrio ($\text{m}^2\text{C} / \text{W}$).

R_2 = del muro ($\text{m}^2\text{C} / \text{W}$).

Y finalmente el coeficiente final por pérdidas locales es: $F = P_h / S_{\text{util}}$

En esta formulación observamos que entran en juego factores característicos de los materiales como es la resistencia térmica de estos.

*Cálculo de las ganancias de calor del espacio: El aporte solar para un muro de Trombe se debe calcular teniendo en cuenta la superficie del vidrio, el aporte solar día y el porcentaje de energía que transfiere el muro de la energía incidente, entonces se tiene:

$$A_s = S \times I \times P$$

Donde: S = Superficie captadora de vidrio en m^2 .

I = Intensidad o aporte solar recibido ($\text{Wh} / \text{m}^2 \cdot \text{día}$).



P= Porcentaje de energía transmitido por el muro.

Para convertir este aporte en unidades por metro cuadrado, simplemente se divide por la superficie útil local:

$$C = A_s / S_{\text{útil}}$$

Para obtener las ganancias de calor del espacio se observa que se debe tener en cuenta la intensidad o aporte solar y el porcentaje que es recibido por el muro, debido a refracciones en el cristal.

*La determinación de la temperatura media interior: Conociendo los coeficientes anteriores, coeficiente de aportes térmicos (C), el coeficiente global por pérdidas locales (F) y la temperatura media exterior (T_o), es fácil determinar la temperatura media local (T_i) de la siguiente forma:

$$T_i = (C/F) \times T_o$$

Teniendo en cuenta todos estos detalles, por lo general la temperatura media interna deseada es de 21°C, por eso, es difícil lograr un diseño óptimo de la edificación para este fin, por eso, si la temperatura media interna es baja, existen tres soluciones básicas para mejorar esta situación:

1. Reducir las pérdidas locales de calor (F), básicamente cambiando el muro por otro de un material diferente, que tenga una resistencia menor.
2. Aumentando la captación solar, es decir, aumentando el área del vidrio.

5.7. BUSQUEDA DE LOS MATERIALES A EMPLEAR.

Después de observar la formulación necesaria para poder dimensionar un muro correctamente, hemos obtenido suficiente información como para saber qué requisitos deben tener nuestros dos materiales esenciales. Por una parte tenemos el cristal, el cual nos debe permitir que entre el mayor espectro de luz posible para de esta manera poder elevar la temperatura del muro, teniendo la capacidad de aislamiento suficiente para no dejar escapar ese calor por la noche. Por la otra parte tenemos el muro, que debe ser capaz de absorber mucha energía durante el día, para desprenderla paulatinamente por la noche, término de amortiguación térmica.

5.7.1. ACRISTALAMIENTO

Hoy en día en el ámbito de la edificación se cuenta con una oferta de vidrios bastante amplia. Dentro de esa oferta podemos encontrar diversas tecnologías orientadas al ahorro



energético mediante el control solar, la eficiencia lumínica y, en el caso de vidrios múltiples, el aislamiento térmico. Para lograr ese cometido, las tecnologías de producción de vidrios se han enfocado principalmente en modificar su capacidad para reflejar, transmitir, absorber y/o re-irradiar la energía solar.

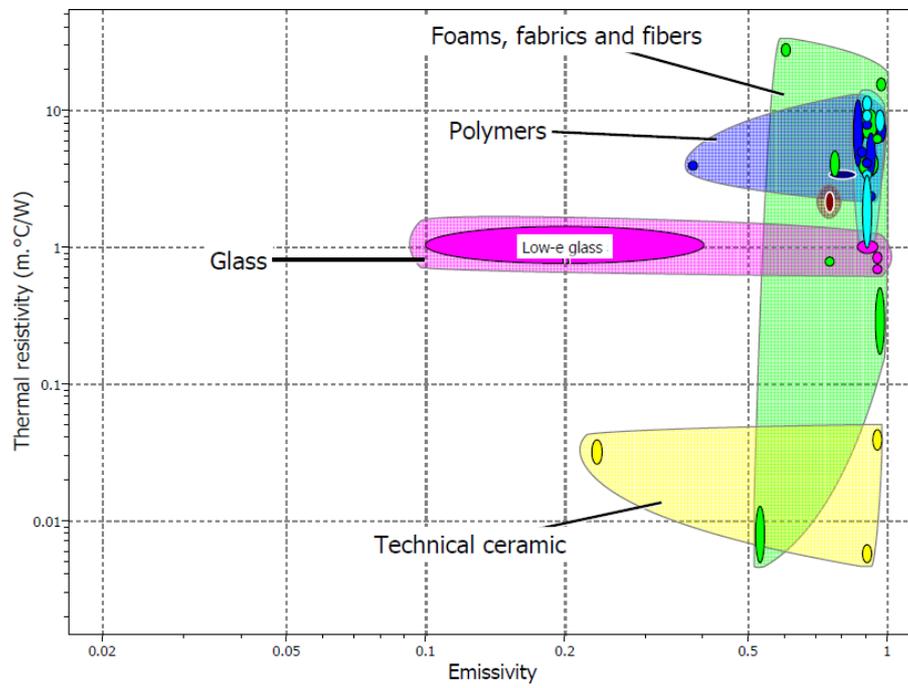
Las tecnologías más avanzadas han permitido producir vidrios que no solo responden de manera específica a la radiación solar en su conjunto, sino que son capaces de responder de manera distinta a los diferentes rangos del espectro solar, generando múltiples opciones para el control solar, lumínico y térmico. Por otro lado, muchas de las tecnologías se pueden combinar para mejorar sus prestaciones y ampliar aún más las posibilidades de aplicación.

En este apartado trataremos de definir las restricciones operativas no negociables, ya que no todos los materiales se adaptarán bien a la aplicación concreta. Debemos fijar los rangos operativos a considerar en las variables para obtener el material idóneo.

El vidrio que buscamos es aquel con una alta resistividad, que es el inverso de la conductividad ($1/k$) y por lo tanto representa la capacidad del material para resistir el flujo de calor, debido a que no deseamos que el calor obtenido se pierda a través del acristalamiento. Se expresa en metro grado Celsius por Watt ($m^{\circ}C/W$). En algunos estudios la conductividad térmica se describe como el flujo de calor que, en régimen estacionario, atraviesa un material de caras plano-paralelas y de espesor unitario, durante una unidad de tiempo, cuando la diferencia de temperatura entre sus caras es de una unidad.

Otra restricción es que deberá ser un vidrio de baja emisividad, para que permite que buena parte de la radiación solar de onda corta atraviese el vidrio y refleje la mayor parte de la radiación de calor onda larga, que proviene del muro, conservándolo en el interior.

También el hecho de que nuestro material necesite imperativamente ser transparente nos reduce la búsqueda considerablemente, dejando a un lado el vasto universo de materiales, y concretando en los que pueden tener opciones en la decisión final.





Con las dos condiciones iniciales hemos realizado una búsqueda para optimizar el rendimiento del material en la aplicación concreta, obteniendo vidrios bajo emisivos Low-e. La aplicación más eficiente de los vidrios bajo emisivos suele ser en climas fríos y en edificios con elevados requerimientos de calefacción, disminuyendo los flujos de calor radiante pero permitiendo una buena transmisión de luz natural. El Low-E es un cristal revestido cuyo aspecto es prácticamente el mismo que el de un cristal ordinario incoloro. Una de sus caras tiene aplicado un revestimiento de baja emisividad que permite que buena parte de la radiación solar de onda corta atraviese el vidrio y refleje la mayor parte de la radiación de calor onda larga, que producen, entre otras fuentes, los sistemas de calefacción, en nuestro caso el muro acumulador, conservándolo en el interior. El tratamiento de baja emisividad se aplica sobre el vidrio en caliente durante su fabricación. Dado que es obtenido mediante un proceso pirolítico, puede ser templado, endurecido, curvado y laminado..

5.7.2. MURO ACUMULADOR.

Para el análisis de las restricciones que le vamos a exigir al material que va a conformar nuestro muro empezaremos viendo cómo funciona un muro convencional de espesor considerable de adobe. Este recibe una cantidad importante de radiación solar durante el día. La radiación solar calienta la superficie exterior del muro y ese calor es absorbido y transmitido lentamente hacia la superficie interior (siempre y cuando ésta tenga una temperatura inferior). Unas 8 horas después de que el muro recibió la mayor cantidad de energía, es decir, durante la noche, su superficie interior alcanza la mayor temperatura posible, contribuyendo a calentar el espacio interior. Para ese momento el muro ha “almacenado” una cantidad importante de energía, por lo que seguirá radiando calor hacia el interior bastantes horas después de que la superficie exterior haya dejado de recibir radiación.

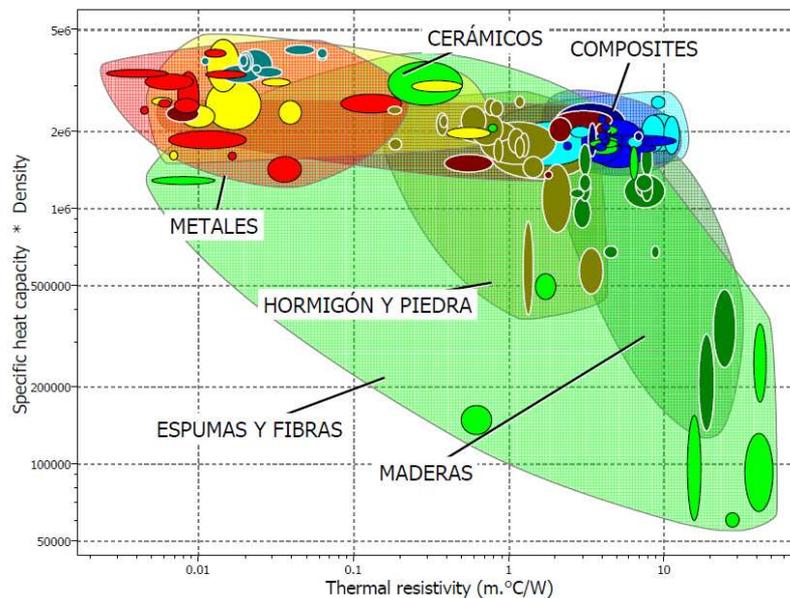
Los materiales pesados por lo general tienen la cualidad de absorber la energía calórica y distribuirla gradualmente en su estructura interna, por ejemplo el hormigón, el ladrillo y la piedra, suelen presentar una elevada capacidad de almacenamiento de calor, mientras que con los materiales ligeros, como los aislantes, sucede lo contrario.

Una de las cualidades que le vamos a exigir al material de nuestro muro acumulador es que tenga una elevada masa térmica. Para necesitará tener un elevado calor específico, una alta densidad, y una baja conductividad térmica.

El problema que tendríamos con esta búsqueda inicial tan amplia es que en realidad el calor específico varía relativamente poco entre los principales materiales constructivos, por ello su capacidad de almacenamiento de calor se debe relacionar estrechamente con su densidad, es lo que se conoce como calor específico volumétrico que representa la capacidad de almacenamiento de calor de un material, de acuerdo a su densidad. Una cualidad que le vamos a exigir a nuestro muro es que tenga un alto calor específico

volumétrico.

Otra cualidad que le vamos a exigir a nuestro muro es que tenga una baja conductividad, que es la inversa de la resistividad, por lo que en la búsqueda en la base de datos tendremos que buscar materiales con alta resistividad.



Como observamos en esta primera búsqueda los materiales que nos interesan son los ubicados en el cuadrante superior derecho, que presentan un alto calor específico volumétrico y una resistividad alta. Los materiales con los que se suele ejecutar el muro como son piedra y hormigón, están en mitad superior de la gráfica con buenas propiedades, destacando su calor específico volumétrico, y su idónea ubicación en cuanto a resistividad, ya que no es aconsejable que esta sea muy alta debido a que el calor debe transmitirse en un determinado tiempo de la cara exterior a la interior del cerramiento.

Para medir de manera objetiva el efecto de masa térmica se han definido dos conceptos que operan en régimen dinámico y actúan en forma simultánea: el retraso térmico y el amortiguamiento térmico.

El retraso térmico, en ocasiones llamado desfase, hace referencia al tiempo que tarda en pasar el calor a través de una capa de material. Dicho en otros términos, es el tiempo transcurrido entre los momentos en que se dan las temperaturas máximas en cada una de las superficies del material. Mientras mayor sea la capacidad térmica, y mayor la resistividad, más tiempo requerirá la energía calórica para atravesarlo.

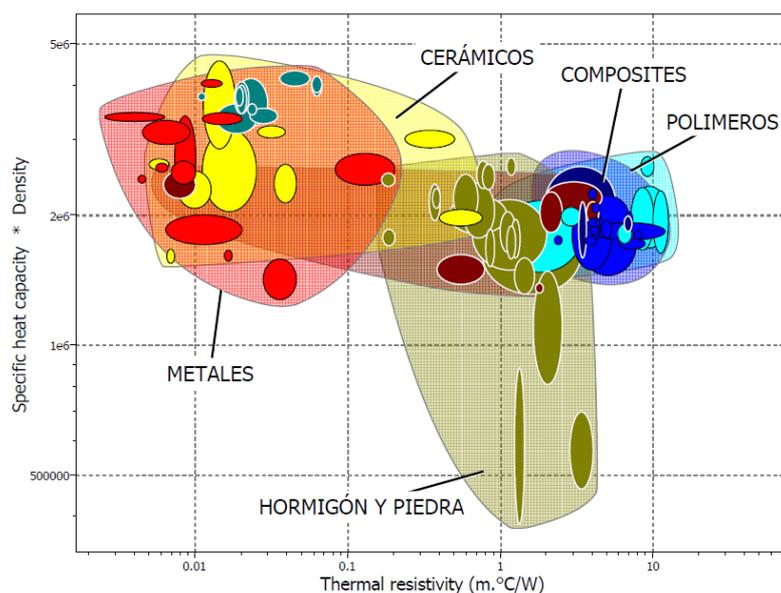
El amortiguamiento térmico, mide la reducción de la temperatura cíclica de una superficie generalmente la interior respecto a la temperatura cíclica de la superficie contraria.. Recurriendo al mismo ejemplo del muro de adobe, la superficie exterior puede presentar una oscilación diaria de 18°C, mientras que la superficie interior presenta una oscilación diaria de 9°C. Tenemos entonces un factor de

amortiguamiento de 0.5 (oscilación interior / oscilación exterior). Mientras más pequeño sea el valor del factor de amortiguamiento más estables tenderán a ser las temperaturas interiores.

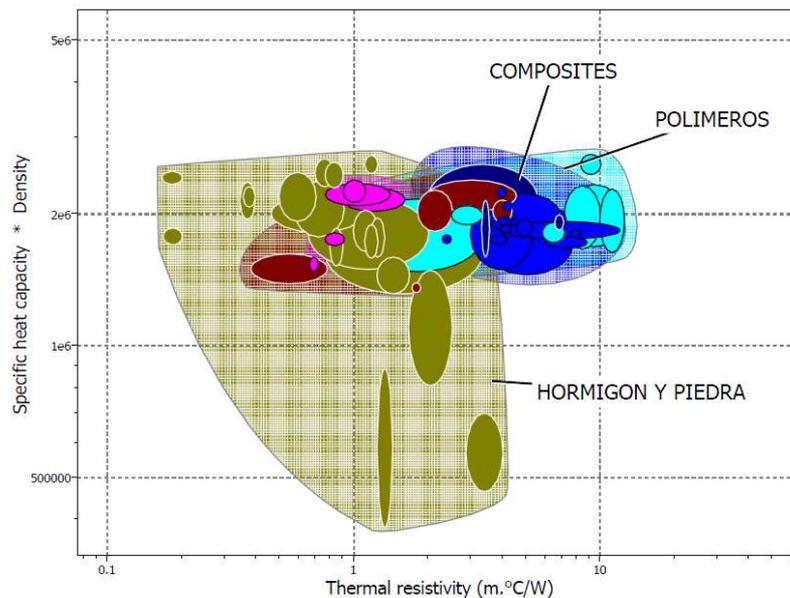
Al actuar de manera conjunta, estos dos factores provocan tanto una reducción de los flujos de calor como un desfase de los momentos en que se alcanzan las máximas temperaturas superficiales. El efecto global es una estabilización de las temperaturas en el interior de los edificios respecto a las temperaturas exteriores. En condiciones estándar un muro de fábrica de ladrillo de 10cm podría presentar un desfase de 1 hora y un amortiguamiento de 0.90, mientras que otro de 30cm podría presentar un desfase de 5 horas y un amortiguamiento de 0.70.

Los materiales de elevada masa térmica ofrecen el mayor potencial de aprovechamiento en los lugares cuyas temperaturas presentan variaciones diarias significativas. En los edificios con cerramientos de elevada masa térmica (con un retraso térmico de entre 8 y 12 horas) los aportes calóricos diurnos pueden llegar a los espacios interiores durante la noche, es decir, cuando son necesarios para contrarrestar el descenso de la temperatura exterior. Por otro lado, al haber descargado gran parte de su energía calórica durante la noche, los cerramientos son capaces de “absorber” aportes calóricos durante el día, contribuyendo a reducir las temperaturas interiores. Este último fenómeno es especialmente efectivo cuando se aprovecha la ventilación natural durante el periodo nocturno.

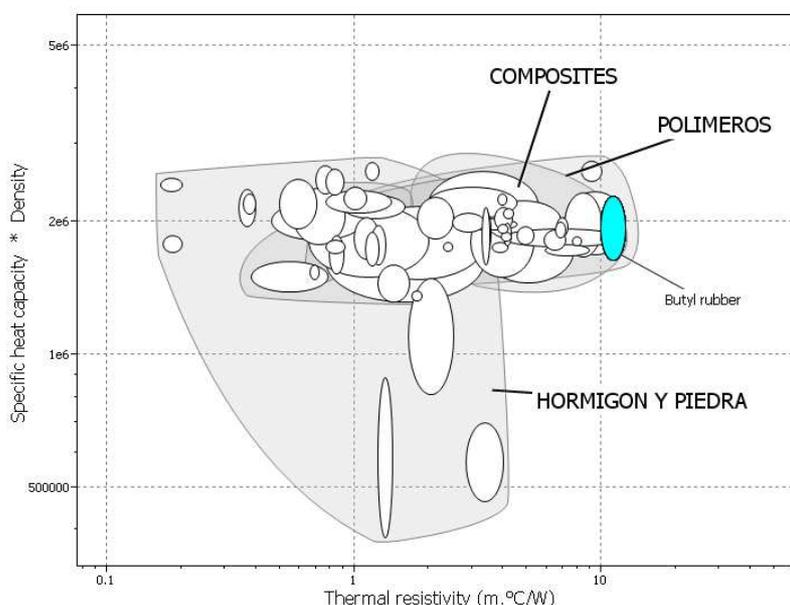
El aporte que podemos obtener para la innovación del sistema constructivo analizado, es buscar un material el cual por su gran masa térmica necesite de un espesor menor para conseguir el mismo resultado que los muros convencionales. Para ello restringimos la búsqueda a rangos operativos más exigentes.



En esta búsqueda avanzada se puede apreciar cómo se han eliminado grupos de materiales, como las maderas, y las espumas. Esto nos permite observar mejor la distribución del gráfico. Cabe destacar que los metales y los cerámicos presentan un gran calor específico, pero al mismo tiempo penalizan por su alta conductividad (inversa de la resistividad). Por ello pasaremos a descartarlos.



Después de haber comenzado desde el análisis de todas las familias, y habiendo descartado aquellas que no cumplían las restricciones solicitadas, hemos llegado a la conclusión de que los materiales habitualmente empleados aportan altas prestaciones en su aplicación concreta como muros acumuladores.





Finalmente cabe destacar el material que se ha seleccionado como alternativa, a los materiales tradicionales; el butil rubber o caucho de butilo es un caucho sintético, es producido por la polimerización de alrededor del 98% de isobutileno con un 2% de isopreno. Caucho butilo (IIR) son materiales sintéticos que se asemejan a caucho natural (NR) en las propiedades. Tienen buena resistencia a la abrasión, desgarró y flexión, con permeabilidad a los gases excepcionalmente baja y propiedades útiles de hasta 150 Ellos C. tienen una baja constante dieléctrica y la pérdida, que las hace atractivas para aplicaciones eléctricas.



6. CONCLUSIONES.

Los objetivos fundamentales que nos planteamos al inicio del proyecto se han cumplido, pasmos a enumerarlos:

- Se ha profundizado en el estudio de los diseños arquitectónicos que aprovechan la energía procedente del sol, y como estos consiguen resultados más sostenibles.
- Se han identificado los principales problemas ambientales que presenta el sector de la construcción.
- Se han encontrado las restricciones fundamentales de los materiales en una aplicación concreta, permitiéndonos condicionar la búsqueda y alcanzar un análisis exhaustivo.



7. BIBLIOGRAFÍA

- Tecnología energética, G. Verdú, J.L. Muñoz-cobo, J. Sancho, J.Ródenas, R. Sanchis.
- “Energía Solar Térmica de Baja Temperatura”. M. Castro y A. Colmenar. Ed. Progensa. 2000.
- “Tecnologías energéticas e impacto ambiental”. P.L. García. Ed. McGraw-Hill. 2001.
- García Mercadal, Fernando, La casa popular en España. Madrid: Espasa Calpe, 1930.
- David Wright. (2008). The Passive Solar Primer. Sustainable Architecture. Edit Schiffer. Atglen, Pa. ISBN: 978-0-7643-3070-4.
- Marzia, Edward. El libro de la energía solar pasiva. Ediciones G. Gili, S.A. México 198.
- "Arquitectura y aprovechamiento solar". Editorial Era Solar

WEBS

- <http://www.oei.es/noticias/spip.php?article682>
- <http://www.psicogeometria.com/arquitectura.html>
- <http://www.ugr.es/~arqueologyterritorio/PDF4/Gallardo.pdf>
- <http://www.arquitecturasostenible.org/www.arquitecturasostenible.org.html>
- http://www.arquitecturasostenible.es/index.php?option=com_content&view=article&id=3&Itemid=2



8. ANEXO I: ENERGÍA SOLAR TÉRMICA

Distribución espectral de la radiación solar

La radiación solar está constituida por conjuntos de ondas electromagnéticas con diferentes frecuencias y, por tanto, con distintas energías. La representación de la energía de la radiación en función de la longitud de onda, o de la frecuencia, se denomina espectro.

Radiación directa y difusa

No toda la radiación emitida por el sol llega a la superficie de la Tierra, puesto que cuando la radiación solar atraviesa la atmósfera, una parte es absorbida, mientras que otra fracción es dispersada por los constituyentes atmosféricos y las partículas en suspensión. Por término medio, únicamente el 53% de la radiación que incide sobre la parte superior de la atmósfera consigue alcanzar la superficie terrestre (radiación global).

Esta radiación se clasifica en dos tipos en función de la interacción de la radiación con la atmósfera: radiación directa y radiación difusa.

La radiación directa es la que tiene una trayectoria sin interrupciones. Esta componente de la radiación no ha sufrido variación direccional desde el Sol. Se puede distinguir porque es la que proyecta las sombras sobre los cuerpos en los que incide.

La radiación difusa es la que procede del resto de la bóveda celeste y se produce como consecuencia de fenómenos de reflexión y refracción de la radiación por los componentes atmosféricos.

Causas de la variación del flujo de energía solar

Los factores ambientales de la tierra que afectan a la radiación solar son los siguientes:

- Variación diurna de la luz solar directa: altura angular del sol, masa de aire a atravesar y la nubosidad.
- La elevación del lugar
- Zona geográfica del lugar

Cuando la radiación solar atraviesa la atmósfera sufre un debilitamiento (atenuación) considerable, debido a los procesos de interacción que tienen lugar entre la propia radiación y los elementos constituyentes del medio atmosférico. Las principales causas de tal debilitamiento o pérdida de intensidad de la radiación son:

- La absorción por los gases y vapores de la atmósfera
- La dispersión molecular por parte de estos gases y vapores

- El debilitamiento debido a la presencia de partículas.

La capacidad de captar energía en una determinada latitud depende principalmente de dos factores: La intensidad media de radiación diaria o anual y el número de horas de insolación con cielos despejados.



En la imagen se observa el mapa solar de España. En él aparecen, para cada provincia dos cifras, la superior indica los valores de energía, en KWh, que incide por unidad de superficie horizontal, en m², en un año, la inferior representa el número de horas de insolación anuales.



Instalaciones solares térmicas de baja temperatura

La aplicación más usual de las instalaciones solares de baja temperatura es la obtención de agua caliente sanitaria (ACS).

La producción de ACS es quizás la aplicación práctica de la energía solar que mejor se adapta a las características de la misma pues, por una parte, los niveles de temperatura que son necesarios lograr (normalmente entre 40 °C y 50 °C) coinciden con los más apropiados para una buena eficacia del colector y, por otra, es una necesidad que debe ser satisfecha durante los doce meses del año, por lo que la inversión en el sistema solar se rentabilizará más rápidamente que en el caso de aplicaciones estacionales, como pueden ser la calefacción en invierno, o el calentamiento de piscinas y aire acondicionado en verano. También es importante la aplicación a calefacción y climatización de piscinas.



9. ANEXO I: GLOSARIO DE TERMINOS.

Arquitectura Solar Pasiva: es aquella diseñada mediante el uso de una correcta tecnología solar pasiva, que es el conjunto de técnicas dirigidas al aprovechamiento de la energía solar de forma directa, sin transformarla en otro tipo de energía, para su utilización inmediata o para su almacenamiento sin la necesidad de sistemas mecánicos ni aporte externo de energía, aunque puede ser complementada por ellos, por ejemplo para su regulación.

Arquitectura Sostenible: es aquella con diseño concebido buscando aprovechar los recursos naturales, de tal modo que, minimicen el impacto de los edificios sobre el medio ambiente y sus habitantes. Los principios de la arquitectura sostenible son; consideración del entorno, estudiando las condiciones climáticas para obtener el máximo rendimiento; eficacia de los materiales empleados primando los de bajo contenido energético; incorporación de fuentes de energía renovables, que reduzcan el consumo de la red eléctrica; en definitiva minimización de balance energético, abarcando todas las fases del proceso edificatorio.

Biocombustibles: son combustibles no fósiles, portadores de energía que almacenan de derivados de las materias orgánicas (biomasa), incluso materias vegetales y excrementos animales. Pueden ser sólidos (como la leña, y el carbón), líquidos (como el etanol, y el biodiesel) y gaseoso (como el biogás).

Biomasa: Cantidad o masa de materia orgánica procedente de organismos vivos que se puede encontrar en un lugar y un momento determinados.

Capacidad Térmica: representa una medida del calor que pueden almacenar las capas de material. Para cálculos simples, la capacidad térmica se puede determinar multiplicando la densidad del material por el espesor de la capa, y luego por su calor específico, de lo cual resulta la unidad Joule por metro cuadrado grado Celsius ($J/m^2\text{°C}$).

Calor específico: Es una propiedad simple de los materiales que se refiere, en términos generales, a la capacidad que tienen para acumular calor en su propia masa.



También se puede definir como la cantidad de calor que es necesario suministrar a una unidad de peso del material para incrementar su temperatura en un grado Celsius. Mientras mayor sea el calor específico, más energía tendrá que suministrarse para calentar el material.

Calor específico volumétrico: representa la capacidad de almacenamiento de calor de un material, de acuerdo a su densidad. Se calcula multiplicando su densidad por su calor específico, lo que nos da como unidad de medida el Kilojoule por metro cúbico grado Celsius ($\text{Kj}/\text{m}^3\text{C}$).

Combustible Fósil: término general para designar los depósitos geológicos de materiales orgánicos combustibles que se encuentran enterrados y que se formaron por la descomposición de plantas y animales que fueron posteriormente convertidos en petróleo crudo, carbón, gas natural o aceites pesados al estar sometidos al calor y presión de la corteza terrestre durante cientos de millones de años.

Conductancia: La conductancia representa la capacidad de la capa de material para conducir el calor y es igual a la conductividad dividida por el espesor, expresándose en Watts por metro cuadrado grado Celsius ($\text{W}/\text{m}^2\text{C}$).

Conductividad: La conductividad se refiere a la capacidad de un material para conducir calor a través de su estructura interna y se expresa en Watts por metro grado Celsius (W/mC).

Densidad: La densidad, o masa específica de un material, es el cociente que resulta de dividir la cantidad de masa (kg) de dicho material por su volumen unitario (m^3). Así, la densidad que caracteriza al material se mide en kilogramos por metro cúbico (kg/m^3).

Durabilidad: concretando al mundo de la construcción es uno de los condicionantes más importantes a la hora de seleccionar un material. A mayor durabilidad, menor impacto ambiental.

Eficiencia energética: se entiende a la obtención de un resultado minimizando el consumo de energía. Debe conducir a obtener el mismo resultado anterior, manteniendo



o mejorando su calidad, pero con un menor consumo de energía. Por ello no debe confundirse con el ahorro de energía o la reducción del consumo.

Existen indicadores de eficiencia o consumo específico; los de eficiencia son la relación entre la cantidad de energía, de un producto o un servicio y la energía consumida para proveerlo; los de consumo específico de energía, en cambio, son la inversa de lo anterior, es decir, el consumo de energía por cada unidad de producto, o proceso.

Emisividad: La emisividad de un material representa la proporción entre la energía radiada por dicho material y la energía que radiaría un cuerpo negro ideal, dada la misma temperatura y la misma superficie. En ese sentido se trata de una medida de la capacidad de un material para absorber y radiar energía. Si asignamos al cuerpo negro ideal un valor de 1.0, entonces cualquier objeto real tiene una emisividad mayor a 0.0 y menor a 1.0.

Energía: magnitud física que asociamos con la capacidad que tienen los cuerpos para producir trabajo mecánico, emitir luz, generar calor, etc. En todas estas manifestaciones hay un substrato común, al que llamamos energía, que es propio de cada cuerpo (o sistema material) según su estado físico-químico, y cuyo contenido varía cuando este estado se modifica.

Energía incorporada: se define como la energía que se utilizó en el proceso de creación de un producto, puesta en mercado y disposición. Es una metodología que contabiliza la suma total de energía necesaria para un ciclo de vida de un producto. Este ciclo incluye la extracción de materias primas, el transporte, la fabricación, el montaje, la instalación, el desmontaje, la demolición, y en su caso la descomposición.

Existen metodologías diferentes que producen resultados heterogéneos, por falta de entendimiento en la escala y ámbito de aplicación y el tipo de energía incorporada. La magnitud usualmente empleada es Mj/kg.

Energía Renovable: Energía producida a partir de fuentes indefinidamente renovables, por ejemplo, las fuentes de energía hídrica, solar, geotérmica y eólica, así como la biomasa que es producida de forma sostenible.

Huella de CO₂: es una medida para cuantificar la cantidad de emisiones de GEI (Gases de Efecto Invernadero), medidas en emisiones de CO₂ equivalente, que son liberadas a



la atmosfera debido a nuestras prácticas cotidianas o a la comercialización de un producto. El CO₂ proviene de la quema de combustibles fósiles, creados en la tierra hace millones de años y en los que se acumulo el carbono presente entonces en la atmosfera. Al quemarlos inyectamos a la atmosfera ese CO₂ que estaba atrapado.

Inercia Térmica: es la capacidad de acumular calor en la masa interior de un material y liberarlo con un cierto retraso.

Insolación: La cantidad total de radiación solar (directa y reflejada) que se recibe en un punto determinado del planeta, sobre una superficie de 1 m², para un determinado ángulo de inclinación entre la superficie colectora y la horizontal del lugar.

Reciclabilidad: es la propiedad de un material a poder reciclarse mediante un proceso fisicoquímico o mecánico que consiste en someter a un producto ya utilizado, a un ciclo de tratamiento total o parcial para obtener una nueva materia prima, introduciéndose nuevamente en su ciclo de vida. Tiene la doble ventaja de no agotar los recursos naturales y regenerar los deshechos.

Resistividad : La resistividad, por otro lado, es el inverso de la conductividad ($1/k$) y por lo tanto representa la capacidad del material para resistir el flujo de calor. Se expresa en metro grado Celsius por Watt ($m^{\circ}C/W$).

Reutilización: capacidad de un material para poder emplearse de nuevo sin necesidad de emplear ningún proceso añadido, solamente consumiendo la energía de extracción, transporte y nueva colocación. Un ejemplo sería la teja árabe, que gracias a su durabilidad se reutiliza, llegando a tener más valor en el mercado, por su antigüedad y prestaciones, que las fabricadas en la actualidad.

Sostenibilidad: característica o estado según el cual pueden satisfacerse las necesidades de la población actual sin comprometer la capacidad de generaciones futuras o de poblaciones de otras regiones de satisfacer sus necesidades.

