

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA



Universidad de Valladolid



SISTEMAS BIOCLIMÁTICOS EN LA ARQUITECTURA DE ESPAÑA

TRABAJO FIN DE GRADO
EN FUNDAMENTOS DE LA ARQUITECTURA

ALUMNA: ELISA CALVO MARTÍN

TUTOR: ALBERTO MEISS

Septiembre 2019

Este Trabajo de Fin de Grado reflexiona sobre los métodos de eficiencia energética que la arquitectura dispone y la forma en la que se utilizan para alcanzar el confort térmico. Las condiciones bioclimáticas suponen un factor clave para la elección del sistema a elegir por lo que se tratarán los tres principales climas de la península sin olvidar los sistemas tradicionales.

Se pretende describir las estrategias arquitectónicas empleadas en la arquitectura bioclimática y analizar las tendencias existentes según las diversas condiciones climáticas en España. Para ello, se analizarán soluciones bioclimáticas aplicadas a la arquitectura de este país y se interpretará su efectividad según la zona donde se encuentre.

Palabras clave: bioclimático, eficiencia, confort térmico, clima

This dissertation reflects on the energy efficiency methods that architecture has and the way in which they are used to achieve thermal comfort. The bioclimatic conditions are the key factor to choose the appropriate system, so the three main climates of the peninsula will be treated without forgetting the traditional systems.

It is intended to describe the architectural strategies used in bioclimatic architecture and it is analyzed the existing trends according to the different climatic conditions in Spain. For this reason, bioclimatic solutions applied to the architecture of this country will be analyzed and its effectiveness will be interpreted according to the area where it is located.

Keywords: bioclimatic, efficiency, thermal confort, climate.

ÍNDICE

1. Introducción	3
2. Objetivos.....	6
3. Fase Teórica	
3.1. Estrategias bioclimáticas en la arquitectura.....	7
3.1.1. El clima.....	15
3.1.2. Calentamiento solar pasivo y activo.....	18
3.1.3. Efecto invernadero.....	20
3.1.4. Muro parietodinámico.....	21
3.1.5. Inercia térmica.....	22
3.1.6. Masa térmica.....	24
3.1.7. Ventilación.....	25
3.1.8. Enfriamiento evaporativo.....	26
3.1.9. Enfriamiento por alta masa térmica.....	27
3.1.10. Ganancias internas de calefacción.....	27
3.1.11. Humidificación.....	28
3.1.12. Aprovechamiento climático del suelo.....	28
3.1.13. Orientación y forma.....	29
3.2. Principales tendencias en relación historia - arquitectura	
3.2.1. Construcción de la arquitectura vernácula.....	30
3.2.2. Ejemplos bioclimáticos de arquitectura vernácula.....	32
3.2.3. Experimentación en la construcción de la arquitectura bioclimática.....	41

4. Fase práctica	
4.1. Propuesta.....	46
4.2. Estrategia bioclimática: El muro Trombe.....	46
4.2.1. El muro Trombe: funcionamiento	47
4.2.2. Diseño.....	49
4.2.3. Modelos.....	50
4.3. Experimentación según área geográfica.....	52
4.3.1. Clima mediterráneo.....	53
4.3.2. Clima continental.....	55
4.3.3. Clima oceánico.....	57
4.3.4. El muro Trombe en los diferentes climas.....	58
5. Conclusiones.....	65
6. Bibliografía.....	67

1. INTRODUCCIÓN

La salud humana y el bienestar han sido percibidos como los parámetros más significativos durante las evaluaciones de ambientes interiores. Los países desarrollados invierten en estudios y avances que permitan reducir el coste energético, y tienen a su disposición fondos que posibiliten cambios importantes bioclimáticos para el país. Los países en desarrollo están limitados por los contextos ambientales extremos, las técnicas de construcción tradicionales y los escasos recursos financieros y, por lo tanto, luchan por adoptar tecnologías costosas destinadas a lograr mejores ambientes interiores. (Rodríguez, M. 2005)

Los análisis de la energía en la arquitectura a menudo afrontan limitaciones a la hora de ser trasladados al proyecto. Esto puede ser debido a la falta de información adecuada de los estudios, o simplemente, al hecho de no utilizarlos correctamente a la hora de proyectar. El buen conocimiento y uso de estos análisis permitirá comprender por qué los arquitectos han prestado a veces poca atención a la interacción entre forma y energía y un enfoque bioclimático en la arquitectura contemporánea.

El sector de la construcción rescata un papel importante en la economía europea, ya que crea casi el 10% del producto interno bruto y proporciona 20 millones de empleos que se reúnen entre las pequeñas y medianas empresas. (Rodríguez, M. 2005)

La actividad en la construcción de edificios, la exigencia de conservar energía y el establecimiento de políticas de protección ambiental indican la necesidad de prácticas de diseño de edificios más sostenibles.

El calentamiento y enfriamiento de un espacio para mantener el confort térmico es un proceso que consume mucha energía y representa hasta el 60-70% del consumo total de energía en edificios no industriales.

El concepto de eficiencia energética en edificios se refiere a la cantidad de energía requerida para lograr las condiciones ambientales deseadas mientras minimiza el consumo de energía.

La calefacción, la ventilación y el aire acondicionado son los mayores consumidores en los edificios.

Diversos factores afectan a los requisitos de energía que necesita el edificio: parámetros físicos y ambientales (temperatura exterior diaria, radiación solar y velocidad y dirección del viento) y parámetros de diseño (factores de forma, transparencia de la superficie, orientación, construcción térmica y física, propiedades materiales y distancias entre edificios).

La arquitectura bioclimática es un método facultativo de construcción de edificios en el que se reflexiona sobre las condiciones climáticas locales y se traen diversas tecnologías pasivas con el objetivo de mejorar la eficiencia energética. (Calavia, 2016)

El uso del término arquitectura bioclimática engloba los términos ‘sostenible’, ‘de alta tecnología’, ‘natural’ o ‘ecológica’, de forma que este primero, representa el uso y empleo de materiales o sustancias con criterios de sostenibilidad, sin poner en riesgo su uso por generaciones futuras. (F. Javier Neila, 2004)

El término tecnologías de arquitectura pasivas se refiere a las técnicas de calentamiento o enfriamiento que no utilizan, o usan en la menor medida posible, energía para llevar a cabo finalmente un confort térmico interior. También pueden simplemente proteger o aprovechar las condiciones del entorno natural circundante (sol viento, suelo etc.).

El diseño bioclimático utiliza tecnologías apropiadas y manuales de diseño basados en una orientación reflexiva sobre el clima y el medio ambiente. La aplicación de principios bioclimáticos es un factor crítico para reducir el gasto de energía y las emisiones de CO₂ del sector de la construcción.

Entran en juego factores clave como la disposición de los edificios (orientación según el sol y el viento), área (planificación del sitio), movimiento del aire, aberturas

(tamaño, posición, protección) y la envoltura del edificio (paredes, espesor del material de construcción, detalles de la construcción de cubierta...). (Calavia, 2016)

El clima posee un papel muy importante en el diseño de este tipo de arquitectura, por lo que se tratará a lo largo de este documento.

Este Trabajo de Fin de Grado pretende describir las estrategias arquitectónicas empleadas en la arquitectura bioclimática y analizar las tendencias existentes según las diversas condiciones climáticas en España. Para ello, se analizarán soluciones bioclimáticas aplicadas a la arquitectura de este país y se interpretará su efectividad según la zona donde se encuentre.

2. OBJETIVOS

- Analizar soluciones bioclimáticas aplicadas a la arquitectura contemporánea española e interpretar su eficacia en función del diseño aplicado y del clima donde se encuentren.
- Explorar la documentación científica existente sobre la arquitectura bioclimática analizando los distintos estudios seleccionados.
- Estudiar los ejemplos bioclimáticos de la arquitectura vernácula que trascienden hasta la actualidad.
- Contribuir a la mejora del conocimiento comparando los distintos sistemas bioclimáticos en los diferentes climas de España.

3. FASE TEÓRICA

3.1. Estrategias bioclimáticas en la arquitectura

El diseño bioclimático de los edificios se puede conseguir mediante mecanismos tradicionales que permiten proyectar edificios con muy buenas prestaciones y facilidad de uso. Estas herramientas son los diagramas bioclimáticos que nos llevan a estudiar distintas tácticas con las que llegar al bienestar higrotérmico.

Para analizar estas posibles estrategias arquitectónicas bioclimáticas, primero debemos evaluar la situación en la que se encuentra el edificio. Las condiciones ambientales nos ubicarán dentro de una zona según el diagrama que se utilice. Existen distintas formas de llegar a las condiciones ambientales óptimas.

Entre los diagramas más utilizados, se encuentran el Diagrama de Olgyay, el Diagrama de Givoni, el Climograma de bienestar adaptada CBA, el Diagrama de Isopetas y los Triángulos de Confort, entre otros. (Rodríguez, M. 2005)

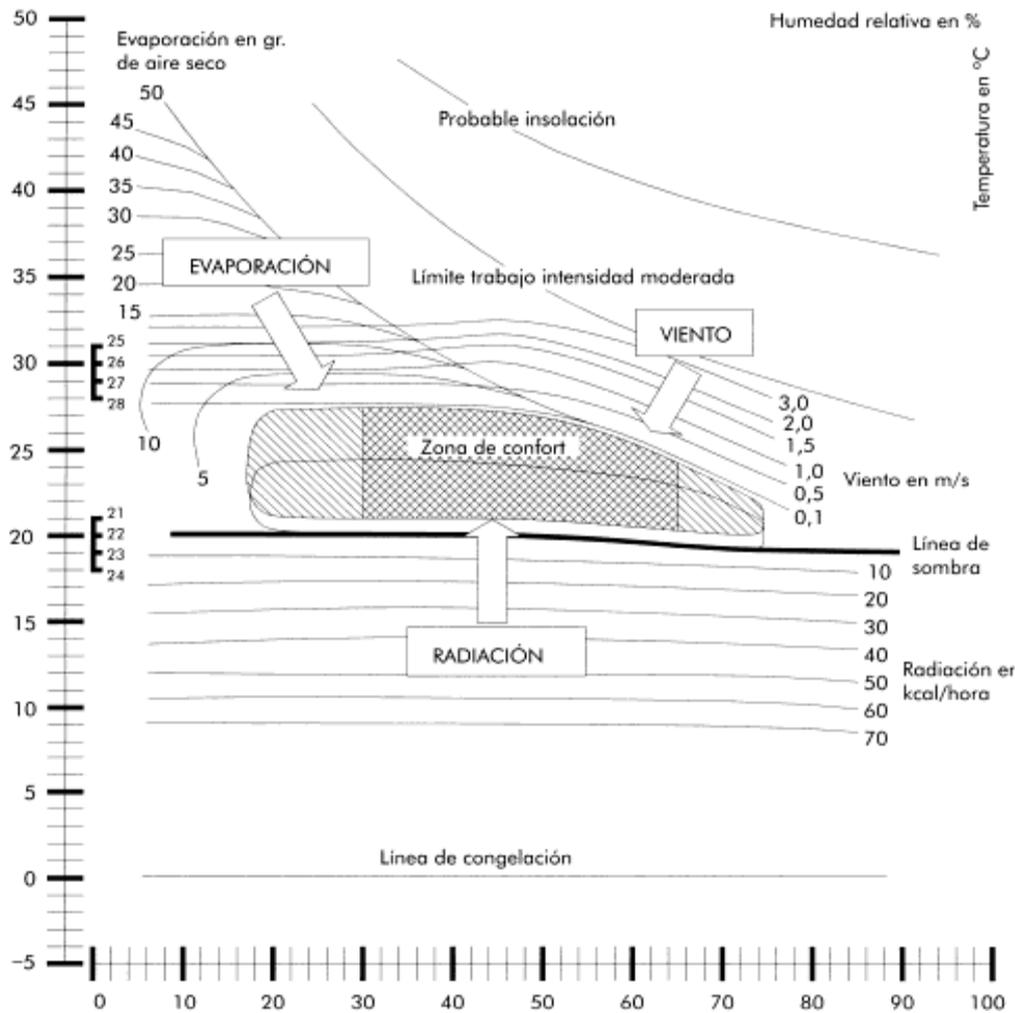
(a) Diagrama de Olgyay

“El procedimiento deseable será trabajar con y no contra las fuerzas naturales y hacer uso de sus potencialidades para crear mejores condiciones de vida... El procedimiento para construir una casa climáticamente balanceada se divide en cuatro pasos, de los cuales el último es la expresión arquitectónica. La expresión debe estar precedida por el estudio de las variables climáticas, biológicas y tecnológicas...” (Olgyay, 1963).

Victor Olgyay fue el primero en definir una zona de confort con objetivos arquitectónicos. A partir de un diagrama de humedades y temperaturas al que denominó carta bioclimática, representa la humedad relativa y la temperatura como condiciones básicas que afectan a la sensación corporal del ser humano.

En esta carta [Figura 1] se determina una zona en la cual la combinación de valores crea una sensación térmica agradable.

En unas condiciones tales como posicionarse a la sombra y tener una baja actividad muscular se adquiere la llamada “zona de confort”. Además de dicha zona de confort, en el diagrama se definen también cuatro estrategias básicas de diseño: (calentamiento, control solar o sombreado, ventilación y humidificación) que se plasman a través de zonas y líneas:



[Figura 1]. Diagrama de Olgyay.

Fuente: <https://ecosocialhouse.files.wordpress.com/2015/07/1.png>

- Temperatura seca del aire, la que indica un termómetro normal. (eje de ordenadas).
- Humedad relativa del aire (eje de abscisas) .
- Una serie de líneas ayudan a elegir el sistema a seguir en el caso de que las condiciones de temperatura y humedad salieran fuera de la zona de confort.

- Línea de congelación, que indica la temperatura a partir de la cual comienza a helar.
- Líneas de radiación expresadas en Kcal/h por debajo del límite a partir del cual el confort se pierde como consecuencia del frío.
- Viento en m/s que se representa con líneas crecientes con la temperatura y decrecientes con la humedad.
- Línea de insolación, indica posibles golpes de calor por la combinación de altas temperaturas y elevada humedad.

Cada zona climática posee una carta bioclimática específica según las condiciones ambientales del lugar. Si estamos en la zona de confort (área gris de la Figura 1), la arquitectura no tendrá que realizar ninguna corrección térmica. Si estamos fuera de dicha zona, se pueden implementar estrategias arquitectónicas para alcanzar dicho confort.

(b) Diagrama de Givoni

“El confort es ausencia de irritación o malestar térmico”. (Givoni, 1997).

El arquitecto israelí Baruch Givoni desarrolla un diagrama que determina una estrategia bioclimática a adoptar en función de las condiciones higrotérmicas del edificio en una determinada época del año.

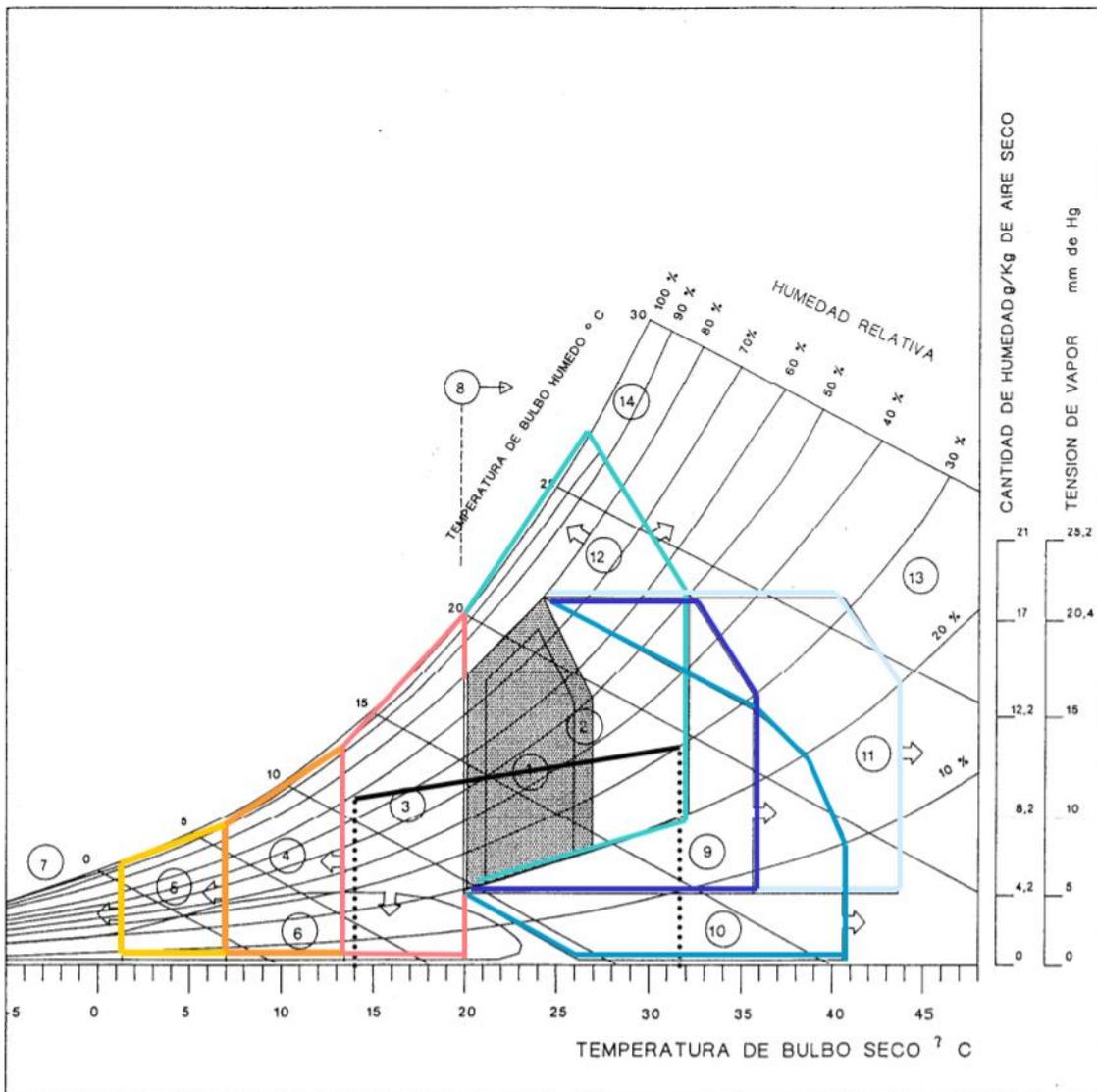
La carta se construye sobre un diagrama psicrométrico, lo que significa que tiene en cuenta las características del aire, la humedad y la temperatura para determinar la sensación térmica y de confort aplicando distintas técnicas de enfriamiento o calentamiento natural, mecánico o artificial.

El climograma de Givoni es adecuado para climas cálidos secos. El área de confort se sitúa entre los 21°C y los 26°C y humedades relativas entre el 20% y el 75%.

El diagrama se divide en varias zonas que están numeradas. Dichas zonas representan sectores donde las condiciones climáticas son similares y por tanto, compartirán la misma solución climática.

Se distinguen estas áreas:

- ① – Zona de bienestar térmico.
- ② – Zona de bienestar térmico permisible.
- ③ – Calefacción por ganancias internas
- ④ – Calefacción solar pasiva
- ⑤ – Calefacción solar activa
- ⑥ – Humidificación
- ⑦ – Calefacción convencional
- ⑧ – Protección solar
- ⑨ – Refrigeración por alta masa térmica
- ⑩ – Enfriamiento por evaporación
- ⑪ – Refrigeración por alta masa térmica con ventilación nocturna.
- ⑫ – Refrigeración por ventilación natural y mecánica
- ⑬ – Aire acondicionado
- ⑭ – Deshumidificación convencional



[Figura 2]. Diagrama de Givoni con las estrategias señalizadas.

Fuente: <http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/viewFile/5862/6864/11298>

De esta forma por ejemplo, se puede ampliar la zona de confort hacia la derecha, aumentando la masa térmica del edificio representada con los materiales de construcción (zona ⑨). Así, en climas cálidos donde las corrientes de aire son secas y pasan por una superficie de agua, se produce un doble efecto con un descenso de la temperatura y un aumento de la humedad del ambiente. A partir de estos límites hacia la derecha del gráfico solo se puede conseguir el bienestar con medios mecánicos de ventilación y humidificación.

Hacia la izquierda del gráfico la zona de confort puede expandirse siempre que se produzca calentamiento, ya sea pasivo o activo.

Aunque cada individuo tiene su propio estado de confort, estos digramas expuestos muestran una buena aproximación en términos generales. Es importante también utilizar datos adecuados de temperatura y humedad, sobre todo en climas como el continental, donde las diferencias de temperaturas son amplias.

(c) Climograma de bienestar adaptado CBA

Este climograma, desarrollado por Fco. Javier Neila, es una herramienta cuya estructura se basa en los estudios desarrollados en el gráfico de Olgyay. Incorpora también las estrategias empleadas en el climograma de Givoni y los avances en la teoría de bienestar en los estudios recientes del ASHRAE. (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers)

En este gráfico, a diferencia de los anteriores, el área de bienestar (zonas ①, ② y ③) es progresivo y al acercarse a dicha zona supone una mejoría gradual en el confort, por lo que la situación es más real ya que simplemente por atravesar una línea no se alcanza repentinamente el estado de confort. Para conseguir esa gradualidad, se crean zonas de bienestar extendidas que limitan con la zona real de confort, y en las que al menos un 80% de la población se siente bien. (Zona ④).

La zona ⑦ representa el área donde se necesitan estrategias de ventilación nocturna y elevada masa térmica para mantener temperaturas más moderadas y alcanzar el bienestar.

El estudio del clima del lugar junto con los diagramas permite alcanzar el objetivo de conseguir un bienestar térmico en la estancia.

Para llegar a conclusiones relevantes es conveniente estudiar cada estación del año, pudiendo agrupar primavera y otoño como fase intermedia, junto con la fría que sería el invierno y la cálida el verano.

(d) Diagrama de Isopetas

Este diagrama de tipo cartesiano, surge de la interpretación de los diagramas anteriores y representa zonas de igual rango de temperaturas. Esas áreas se desarrollan en una escala temporal donde se expresa la temperatura media por horas durante los meses del año.

Las zonas que se marcan en diversos colores son la herramienta indica las estrategias para alcanzar el bienestar térmico. De este modo se puede saber a qué horas y en qué meses se necesita protección solar o ventilación.

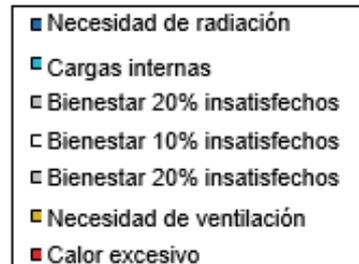
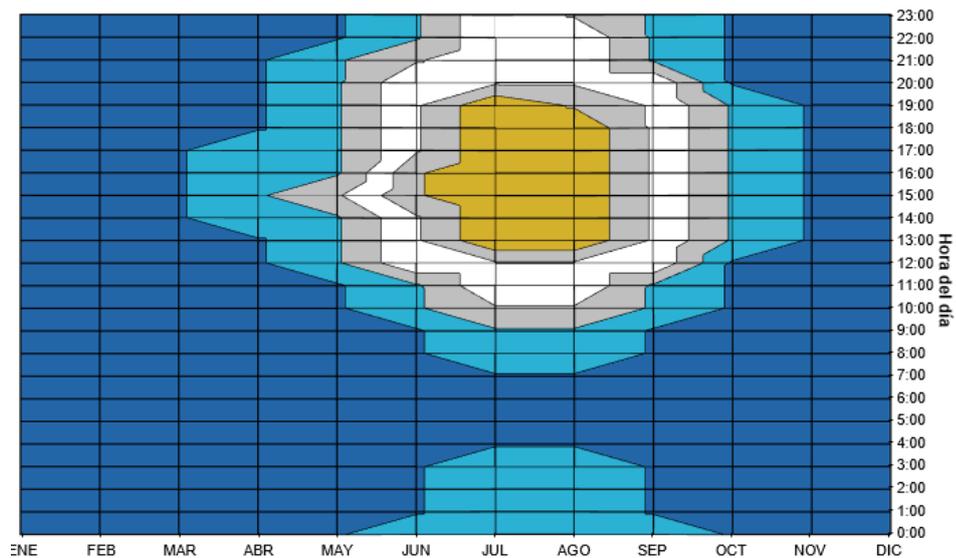


GRÁFICO DE ISOPLETAS CON TEMPERATURAS



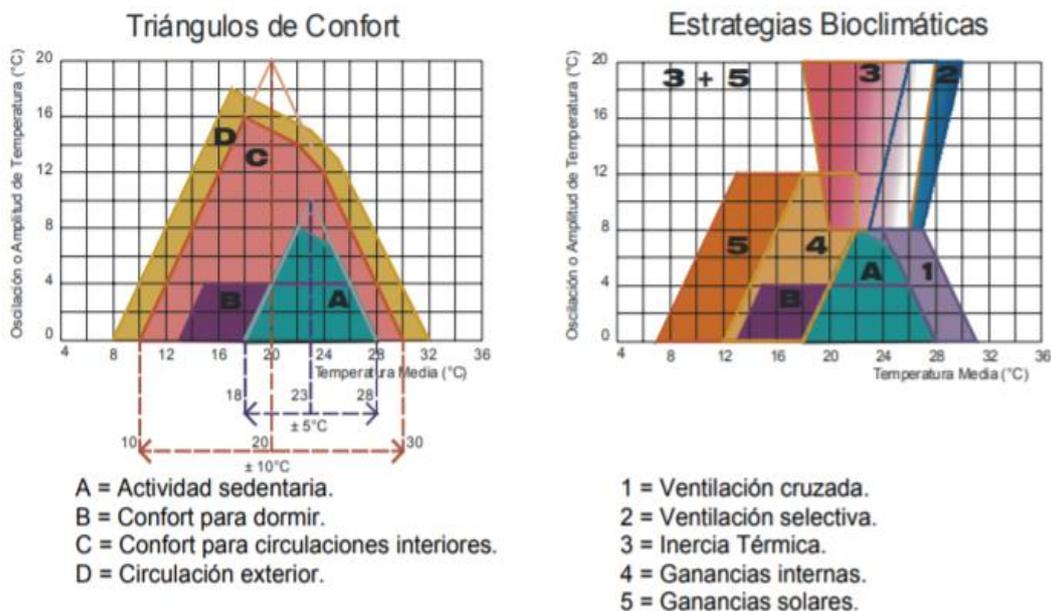
[Figura 4]. Diagrama de Isopetas. Ejemplo en Torrejón de Ardoz, Comunidad de Madrid.

Fuente: <https://ecosocialhouse.wordpress.com/2015/04/10/cartas-bioclimaticas-ii-el-grafico-de-isopletas/>

(e) Triángulos de confort.

Desarrollada por John Martin Evans, el triángulo de confort es otra herramienta de análisis en forma de nomograma que relaciona las variables de temperatura (eje de abscisas) y oscilación térmica (eje de ordenadas).

Evans propone como zona de confort, un área con forma de romboide que oscila entre los 18°C y 22°C. Con baja humedad relativa, o con poblaciones acostumbradas a altas temperaturas, el límite máximo de la zona de confort puede alcanzar los 32°C y de esa misma manera disminuir hacia 12°C por lo que el intervalo de confort puede variar cuando los cambios de actividad, vestimenta y movimiento del aire cambien ligeramente. [Figura 5 izq.] Posteriormente se seleccionan estrategias de diseño bioclimático para modificar las condiciones hacia una situación favorable en el interior. [Figura 5 dcha.]



[Figura 5]. Triángulos de confort y estrategias bioclimáticas de J.M. Evans.

Fuente: http://zaloamati.azc.uam.mx/bitstream/handle/11191/5541/Educacion_triangulos_confort_Arauz_2010_MAB.pdf?sequence=1&isAllowed=y

En particular, este nomograma de Triángulos de Confort no se adapta o responde adecuadamente a las tres localidades escogidas en el trabajo, que poseen un clima Cálido Seco Húmedo, Templado Seco y Semifrío Húmedo.

Esto es debido a la presencia de intervalos altos de oscilación y a la no definición exacta de intervalos de humedad relativa.

Tanto el diagrama de Ogyay, como el de Givoni, el climograma de Neila, el diagrama de Isopetas o los Triángulos de confort marcan estrategias de diseño para conseguir condiciones de bienestar térmico. Todas son válidas y pueden complementarse, por lo que se utilizarán y se compararán para verificar las estrategias a utilizar según los climas señalados en la península.

3.1.1. EL CLIMA

La arquitectura y el clima están íntimamente relacionados en el diseño de los edificios, además de otros factores como la localización del edificio, los sistemas constructivos y materiales utilizados o las diferentes técnicas usadas.

El clima de un lugar es el conjunto de fenómenos meteorológicos que caracterizan el estado medio de la atmósfera. Por tanto, dicho clima se precisa mediante características que no se alteran y que son propias del lugar. Todas ellas se denominan factores bioclimáticos. (F. Javier Neila, 2004). Dichos factores son por ejemplo, la latitud del lugar, el factor de continentalidad, el factor orográfico, la temperatura de la superficie del mar, la altitud sobre el nivel del mar o la naturaleza de la superficie de la tierra.

El clima representa un factor clave en la arquitectura y pese a que no existe una única clasificación, se intentará dividir la península en tres de los principales climas en los que vamos a abordar parte del documento.

Aunque no se pueden determinar unas zonas climáticas como “mejores” que otras que otras, sí es cierto que en unas resulta más fácil conseguir una arquitectura bioclimática en términos de eficiencia energética y económica, por lo que se deben utilizar diferentes sistemas bioclimáticos según el área.

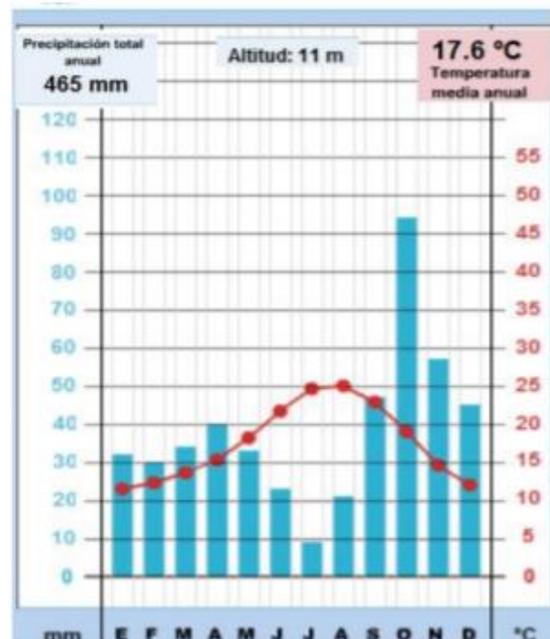
[Figura 6]. Localización de los climas en España. División en seis tipos de climas según criterios térmicos e higrotérmicos, zona geográfica y bienestar climático. Aunque se encuentren esos tipos, este documento se centrará en analizar la arquitectura bioclimática en tres de ellos: clima oceánico, continental y mediterráneo.

Fuente: (<https://es.slideshare.net/profeshispanica/localizacion-de-los-climas-de-espaa>)



La península se puede dividir por zonas climáticas. [Figura 6]. Según sus características y según la clasificación climática de Köppen, se organiza en:

- Clima mediterráneo. Se encuentra en la zona mediterránea peninsular, la costa sur atlántica peninsular y el archipiélago Balear junto con Ceuta y Melilla. Se caracteriza por inviernos húmedos y algo lluviosos pero con sensaciones térmicas suaves. Con temperaturas bajas aumentan las precipitaciones y a la inversa del mismo modo, cuanto más caluroso es el verano, menos lluvias.

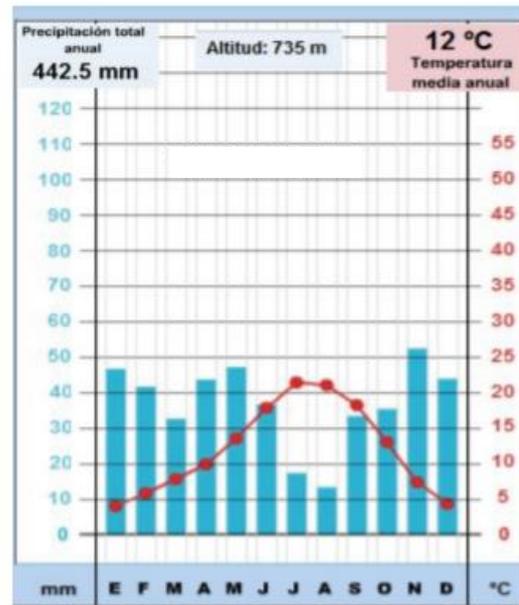


[Figura 7]. Climograma de Valencia. Fuente de este y sucesivos gráficos: http://ies.juancarlosprimero.ciempozuelo.s.educa.madrid.org/departamentos/gh/recursos/geografia/indice/temario/2_climas/4.-

- Clima continental. Tiene su ubicación en la zona interior de la península excepto la zona media del valle del Ebro y abarca comunidades de la meseta central como Castilla y León, Castilla La Mancha, Aragón, Comunidad de Madrid, Extremadura.

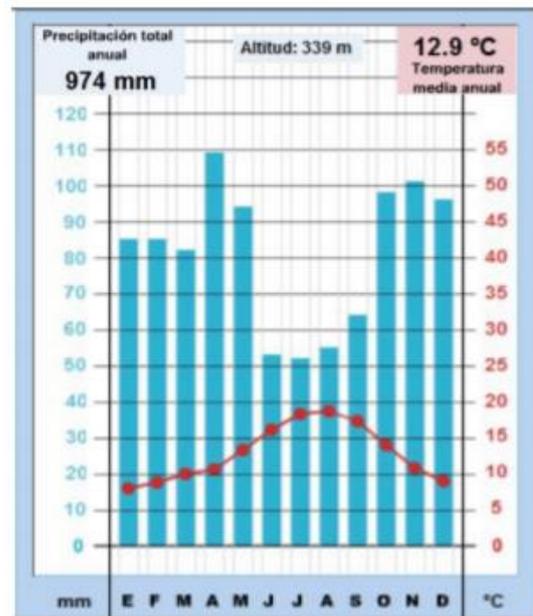
Las temperaturas sufren grandes variaciones debido al aislamiento por cadenas montañosas que impiden la influencia del mar, teniendo por tanto, veranos calurosos o frescos e inviernos fríos con presencia de heladas.

Las precipitaciones son escasas o muy escasas si rozan con clima desértico.



[Figura 8]. Climograma de precipitaciones y temperaturas medias de Valladolid.

- Clima oceánico. Se encuentra en la zona norte del país: Galicia, Asturias, Cantabria y País Vasco. Las temperaturas medias anuales oscilan entre los 11 °C y 14 °C por lo que son suaves casi todo el año y con alto grado de humedad. Con precipitaciones abundantes en la mayor parte del año los inviernos son fríos, aunque no gélidos, y los veranos frescos o cálidos.



[Figura 9]. Climograma de precipitaciones y temperaturas medias de Oviedo.

A parte de estos tres, se pueden encontrar otras variantes en las que no se profundizará como:

- Clima de montaña. En zonas a más de 1000 metros de altitud. Con precipitaciones abundantes, inviernos fríos y veranos frescos.
- Clima subtropical. Con temperaturas cálidas durante todo el año, se encuentra en las Islas Canarias.
- Clima desértico. Se halla en la zona del sureste peninsular y en la zona media del valle del Ebro y se caracteriza por tener unas precipitaciones muy escasas.

3.1.2. CALENTAMIENTO SOLAR PASIVO Y ACTIVO

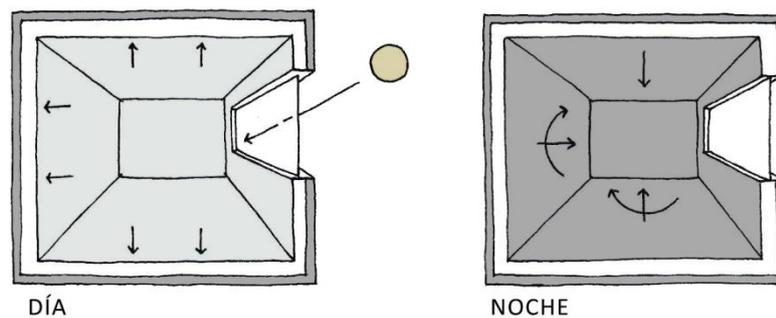
El término "pasivo" se refiere al diseño de la envolvente del edificio, mientras que el calentamiento "activo" se refiere al uso de cualquier fuente de energía externa, distinta de la energía solar térmica, utilizada para el aire acondicionado térmico del edificio. (Carballeira, 2017)

Dependiendo de la zona climática se utilizarán unas estrategias u otras para la captación de la energía solar. De este modo, en el caso de climas fríos sería fundamental que el diseño del edificio favoreciera la acumulación de radiación solar para posteriormente devolverla al interior. Sin embargo, en zonas de clima templado se intentará buscar métodos de rechazo al calentamiento solar y favorecer la ventilación.

Para avanzar hacia la zona de confort, es recomendado implementar las estrategias de absorción solar que permitan la ganancia de energía térmica dentro del espacio.

La distribución de energía puede ser directa a través de la radiación (gradientes de temperatura) o convección (calentamiento del aire en contacto con el terreno emisor), o indirecta forzando el aire a través de los elementos acumulados y posteriormente forzando la circulación del aire en el espacio.

Se proporcionan diferentes soluciones porque la energía puede ser capturada por cualquier parte de la envoltura del edificio, incluyendo el suelo, las paredes, la cubierta y especialmente las aberturas. Este último puede permitir la entrada de radiación durante los momentos en que sea necesario y evitar que esta radiación se escape del edificio mediante el uso de, por ejemplo, carpintería de vidrio apropiada. (F. Javier Neila, 2004)



[Figura 10]. Radiación solar en la estancia y posterior emisión de la estructura. Fuente: *Elaboración propia*.

Los grandes ventanales de la fachada orientada al sur de una casa pasiva contribuyen en gran medida a la calefacción de espacios interiores de edificios. Un toldo en áreas cálidas permite la captura de radiación solar durante la temporada de invierno y limita este proceso durante el verano. (Guyot, 1980)

Por lo tanto, las aberturas del edificio pueden facilitar la entrada de radiación solar para el almacenamiento en el piso del edificio que se puede devolver con una diferencia de fase de tiempo. [Figura 10]

En menor medida, los techos verdes también ayudan a reducir el uso de energía. Las galerías de vidrio son elementos arquitectónicos que capturan la radiación solar durante las estaciones frías y mantienen la energía mediante el uso de cerramientos, pisos y materiales, que luego devuelven la energía con una diferencia de fase. (Jones, 2002)

Este efecto de aprovechamiento de la radiación solar conllevará la mejora en la eficiencia energética de los edificios, pudiendo desarrollar sistemas pasivos tratados más adelante.

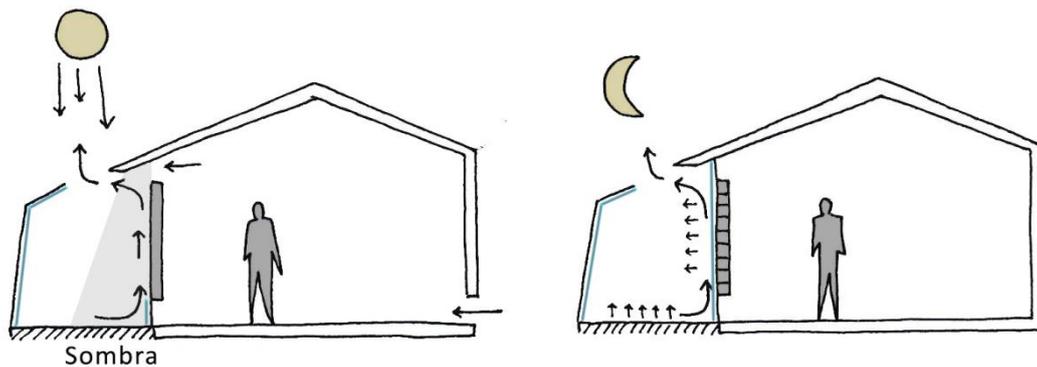
3.1.3. EL EFECTO INVERNADERO

El invernadero es una estrategia bioclimática muy similar a las mencionadas galerías de vidrio, que captura incluso más radiación solar debido a su superficie superior transparente. Trata de crear una habitación colindante al edificio en la que se aproveche la energía solar para calentar la casa o el local.

El fenómeno del efecto invernadero permite que se caliente el espacio debido a la radiación que ha incidido sobre él.

Las cualidades del vidrio, entre ellas, la de ser transparente a la radiación visible y opaco a la radiación infrarroja, hacen que el calor desprendido en forma de radiación infrarroja por los objetos ya calientes del interior del invernadero no se escape ya que el vidrio es opaco a dicha radiación.

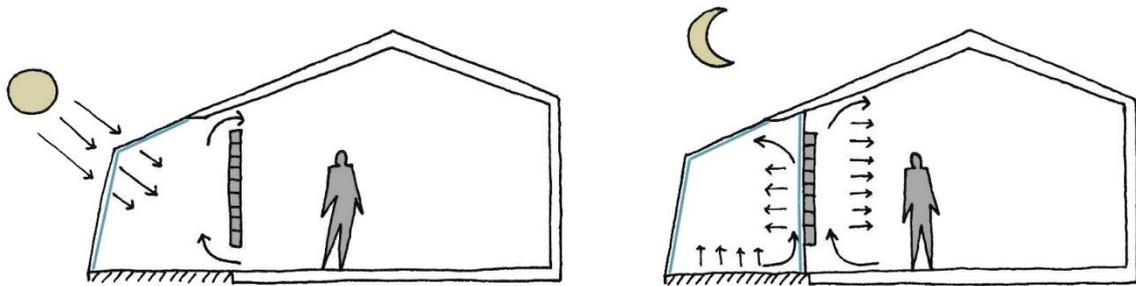
En verano, el efecto invernadero, tiene un funcionamiento algo distinto que en el invierno. En los meses más calurosos ayuda a la ventilación y a extraer calor durante el día y de noche, el calor que se ha acumulado en el invernadero, se evacúa por corrientes convectivas.



[Figura 11]. Funcionamiento del efecto invernadero en verano.

Fuente: *Elaboración propia.*

En invierno, como el sol incide más paralelamente, durante el día se acumula el calor que por la noche es desprendido.



[Figura 12]. Funcionamiento del efecto invernadero en invierno.
Fuente: *Elaboración propia*.

Otra estrategia muy similar que se profundizará, es el muro Trombe, un sistema pasivo de recolección de energía solar de forma indirecta, que se puede utilizar para el calentamiento interno de viviendas por medio de la transferencia de calor, ya sea por conducción, convección y/o radiación.

3.1.4. MURO PARIETODINÁMICO

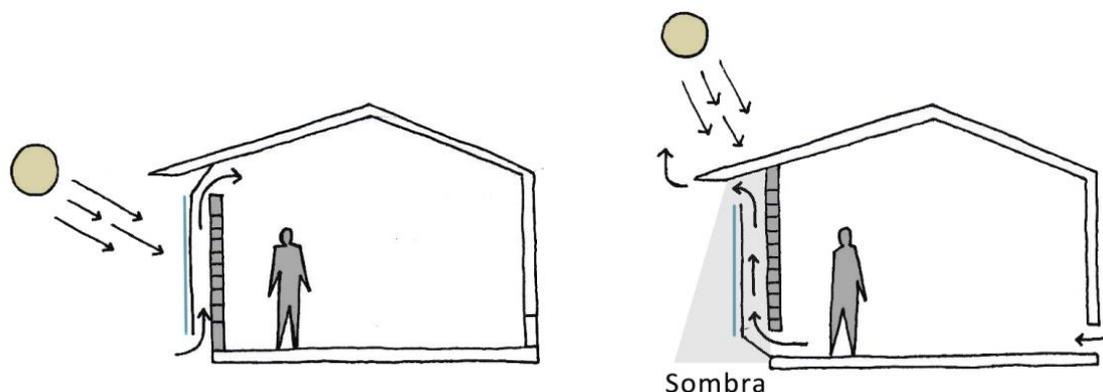
Se define como una interpretación del muro Trombe y se denomina así a los cerramientos que aprovechan la energía solar para el calentamiento del aire exterior de ventilación. Generalmente está formado por una hoja interior de fábrica, una cámara de aire y una hoja exterior acristalada o metálica que absorbe la radiación solar. La circulación del aire puede ser natural o forzada. (CTE – DB HE)

El sistema permite ventilar un espacio sin que al aire de renovación afecte al confort interior, por lo que las paredes suelen tener mucha masa térmica.

Su funcionamiento en invierno consiste en dirigir el aire exterior frío por las trampillas colocadas y dicho aire se climatiza debido a la radiación solar. En verano se altera la dirección de las trampillas permitiendo que se extraiga el aire caliente hacia el exterior del local gracias al efecto de la succión.

Los sistemas pasivos por sí solos no pueden conseguir condiciones cómodas en el espacio, pero pueden ayudar a reducir el consumo de energía.

En tales casos, las construcciones arquitectónicas deben diseñarse para permitir la entrada de radiación durante los momentos en que sea necesario y evitar que esta radiación salga de la envoltura del edificio.



[Figura 13]. Funcionamiento del muro parietodinámico en INVIERNO – VERANO.

Fuente: *Elaboración propia.*

3.1.5. INERCIA TÉRMICA

En el diseño de la arquitectura bioclimática la inercia térmica juega un papel importante. Se utiliza para conseguir el confort térmico en el interior de los espacios.

“Consiste en la capacidad de determinados elementos, arquitectónicos en este caso, para almacenar calor, conservarlo y liberarlo de una manera paulatina permitiendo un menor uso de sistemas mecánicos de calefacción e incluso de refrigeración.”

(<https://www.certificadosenergeticos.com/inercia-termica-construccion-edificios-eficientes>)

La inercia térmica depende de las características del material en las que se encuentran:

- Su calor específico. Capacidad para almacenar el calor.
- Su masa. La capacidad calorífica de un cuerpo mide la energía transmitida y la variación de temperatura que experimenta dicho cuerpo. A más capacidad calorífica, mayor energía es necesaria transmitirle para que aumente su temperatura.

Al aumentar la masa, aumenta también su capacidad calorífica y a su vez, su inercia térmica.

- Su densidad. Relación entre la masa y el volumen del elemento. Es directamente proporcional a la inercia térmica por lo que a mayor densidad, mayor inercia.

Los materiales utilizados en la construcción de edificios permiten mantener una temperatura inalterable durante todo el día gracias a la inercia térmica. Los muros con gran inercia térmica facilitan el enfriamiento sin el uso de un equipo de refrigeración ya que absorben calor por el día y lo emiten por la noche de tal forma que mantienen una temperatura constante.

Los materiales con gran inercia térmica pueden ser por ejemplo el granito o el adobe, aunque también se utilizan algunos como la madera, el ladrillo o el hormigón, entre otros.

La inercia térmica en los materiales no siempre es conveniente. En el caso de edificios que no se usen continuamente, el sistema de una envolvente con gran inercia térmica no es un buen recurso ya que estos edificios necesitan más tiempo para calentarse.

En países fríos como en el norte de Europa se construyen los edificios con baja inercia térmica porque su forma de construcción se basa en la colocación de grandes espesores de aislante, carpinterías muy estancas y bien selladas, por lo que las pérdidas de calor son mínimas.

Por el contrario en España, el sistema constructivo que se utiliza integra materiales que facilitan la transmisión e intercambio de calor como el cemento, hormigón, yeso, cerámica... La inercia térmica del edificio hace que se almacene la energía en su masa pero se pierde por ese elevado intercambio de calor, por lo que sería conveniente utilizar sistemas de aislamiento por el exterior y elementos de inercia térmica por el interior.

3.1.6. MASA TÉRMICA

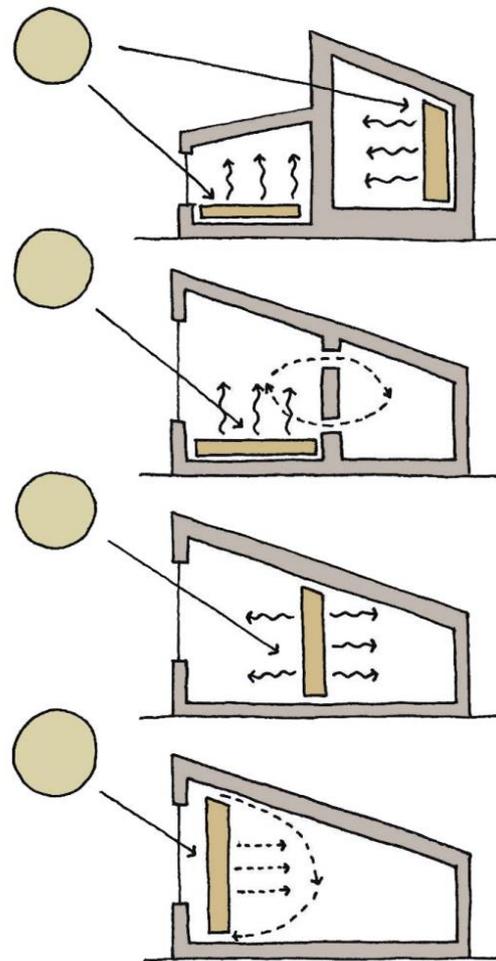
La masa térmica es la capacidad de un cerramiento para almacenar calor y depende de las características del material. Actúan como masa térmica materiales pesados como los muros, suelos o techos de espesores considerables de hormigón, piedra o ladrillo.

La masa térmica se debe colocar de manera estratégica. En las estaciones frías, dicha masa almacena calor solar y lo libera por la noche y en las más calurosas realiza el proceso inverso. Sin embargo, el calor que almacena durante el día es el del local y de esta manera lo mantiene fresco.

Los edificios con elevada masa térmica se comportan manteniendo una temperatura sin variaciones bruscas, relativamente estable frente a las condiciones externas.

El objetivo es conseguir que, mediante un buen diseño bioclimático, esta temperatura sea agradable.

En cuanto a la colocación del aislamiento, lo ideal es hacerlo por fuera de la masa térmica, es decir, como recubrimiento exterior de los muros, techos y suelos, de tal manera que la masa térmica actúe como acumulador eficaz en el interior, y bien aislado del exterior.



[Figura 14]. Lugares de colocación de la masa térmica en el edificio.

Fuente: *Elaboración propia.*

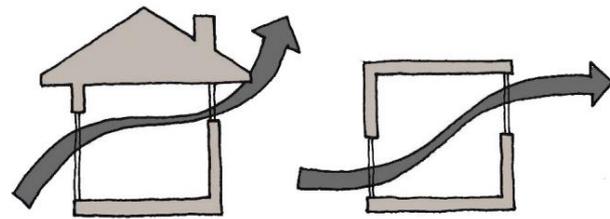
3.1.7. VENTILACIÓN

Esta estrategia corresponde a la zona ⑫ y está limitada por valores de temperatura entre 20°C y 31,5°C, humedades relativas entre 95% y 20% y una línea de puntos que se extiende desde una intersección a 31,5°C y 50% de humedad relativa hasta otra intersección a 26,5°C y 95% de humedad relativa.

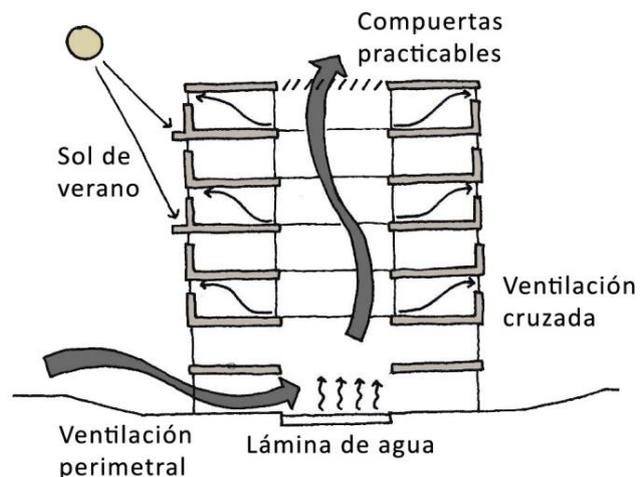
En la arquitectura bioclimática la ventilación desarrolla un papel fundamental y tiene a su vez varios usos. Se utiliza para renovar el aire por cuestiones higiénicas, para incrementar a su vez el confort térmico, y para la climatización del interior ya que el aire en movimiento puede llevarse el calor acumulado en techos o suelos gracias a la convección.

Según las diferentes formas para ventilar se pueden conseguir unos efectos u otros.

Con la ventilación natural, que existe cuando se crean corrientes de aire en el local al abrir las ventanas, conseguimos un descenso de la temperatura en verano, si ventilamos durante la noche. [Figura 15].



[Figura 15]. Ventilación cruzada de una vivienda.



[Figura 16]. Ventilación por corrientes de convección.

Ambas fuentes: *Elaboración propia*.

La ventilación convectiva se produce cuando el aire frío reemplaza al caliente que asciende a la parte alta del espacio o de la vivienda. De esta manera, si se calienta aún más ese aire con radiación solar, al aire saldrá aún con más fuerza (chimenea solar). [Figura 16].

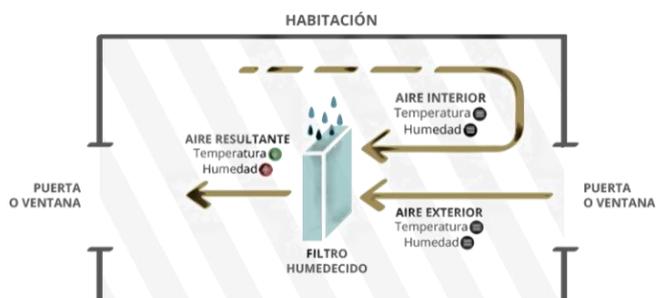
Se pueden conseguir mayores sensaciones térmicas mientras se limpia simultáneamente el aire interior. Esto se puede lograr de forma natural mediante técnicas como una planta diáfana y la ventilación cruzada de fachadas norte a sur, el efecto chimenea, una cámara solar, ventilación subterránea, torres eólicas, torres evaporativas, espacios verticales dentro de un edificio o patios... Además, este efecto se puede conseguir mecánicamente utilizando ventiladores. (F. Javier Neila, 2004)

3.1.8. ENFRIAMIENTO EVAPORATIVO

Esta estrategia corresponde a la zona ⑩ del diagrama de Givoni y está limitada por temperaturas entre 20,1°C y 40,51°C y una línea de puntos que se extiende desde la intersección de 25,5°C y 75% de humedad relativa a través de la intersección a 38,5°C y 20% de humedad relativa a una tercera intersección a 40,5°C y 10% de humedad relativa.

Esta estrategia es recomendable en climas secos y áridos. Su objetivo es conseguir la comodidad al reducir la temperatura a través de la evaporación del agua y al mismo tiempo aumentar la humedad relativa.

La humidificación se puede lograr utilizando vegetación exterior, agua estanques o fuentes; tuberías enterradas que se llenan con agua en un tercio, patios complementados por la presencia de agua y vegetación que ayudan a reducir la temperatura y aumentar la humedad relativa mediante la realización de un proceso de evapotranspiración, cubierta vegetal, la pulverización de agua en el techo, la pulverización de agua en interiores para reducir la temperatura del aire en el techo y la producción de circulación de aire a través de la convección.



[Figura 16]. Enfriamiento evaporativo.

Fuente: <http://www.aq.upm.es/Departamentos/Fisica/UD-instalaciones/Doc03.pdf>

3.1.9. ENFRIAMIENTO POR ALTA MASA TÉRMICA CON RENOVACIÓN NOCTURNA.

Esta estrategia corresponde a la zona ⑪ en el diagrama de Givoni y está limitada por temperaturas entre 20°C y 44°C y un punto que pasa desde una intersección a 44°C y 5% de humedad relativa a través de otra intersección a 31,5°C y 32% de humedad relativa a una intersección final a 24°C y 80% de humedad relativa.

Esta estrategia crea una diferencia de fase entre el efecto de las temperaturas exteriores diurnas y nocturnas para llevar a cabo una renovación nocturna.

Es efectivo cuando el clima muestra diferencias térmicas significativas entre los períodos diurno y nocturno, (clima continental de interior).

La envolvente del edificio debe comprender materiales capacitados para transmitir energía con la mayor diferencia de fase posible (aproximadamente 12 h) con algo de amortiguación.

Por la noche, la disipación y renovación deben realizarse a través de aberturas, patios y techos.

3.1.10. GANANCIAS INTERNAS DE CALEFACCIÓN

En un país como España las ganancias internas son significativas para variar la temperatura y acercarla a la zona de confort. Esta zona, se precisa por valores de temperatura entre 13.5 C y 20 C.

Las ganancias internas provienen de personas que ocupan el mismo espacio, iluminación artificial, cualquier maquinaria que genere energía térmica y cualquier proceso que también pueda generar calor. Esta ganancia interna se debe únicamente a las diferencias de temperatura y se describe como una carga sensible, un parámetro importante para el cálculo climático de un edificio.

3.1.11. HUMIDIFICACIÓN

La humidificación como tal consiste en la transferencia de masa y energía de una fase líquida a una mezcla gaseosa de aire y vapor. Además de las utilidades generales en procesos de enfriamiento de una mezcla, la humidificación puede tener varios usos entre ellos el acondicionamiento del aire. Esta estrategia corresponde a la zona de temperatura de hasta 22.5°C.

La falta de humedad del aire puede producir trastornos respiratorios en los seres humanos al causar una sequedad excesiva de las vías respiratorias y también puede inducir dermatitis, que se caracteriza por la sequedad de la piel.

Por esta razón, es necesario complementar el aire interior con vapor de agua en ciertas zonas climáticas. El objetivo de esta estrategia es lograr la comodidad elevando la humedad relativa. (Calavia, 2016)

Esto se logra introduciendo aire que ha pasado sobre una superficie de agua. Este aire se puede mover por diferencias de presión (pasivo) o por dispositivos mecánicos (activo).

3.1.12. APROVECHAMIENTO CLIMÁTICO DEL SUELO.

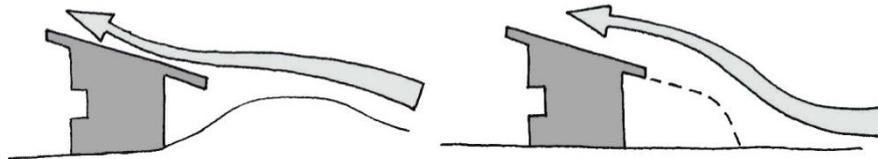
El suelo posee la capacidad, debido a su elevada inercia térmica, de tener una temperatura relativamente constante, de manera que en verano la temperatura exterior es mayor que la del suelo y en invierno menor.

Las desventajas de construir enterrando son varias, como la ausencia de iluminación y la excesiva humedad, pero se pueden aprovechar los efectos climáticos del suelo sin contar con dichos inconvenientes.

La estrategia de los llamados espacios “tapón” como garajes o trasteros y buhardillas o desvanes conlleva beneficios climáticos. Actúan como “cochón” térmico para el resto de dependencias del edificio aunque el confort térmico de dichos espacios tapón no sea el deseable.

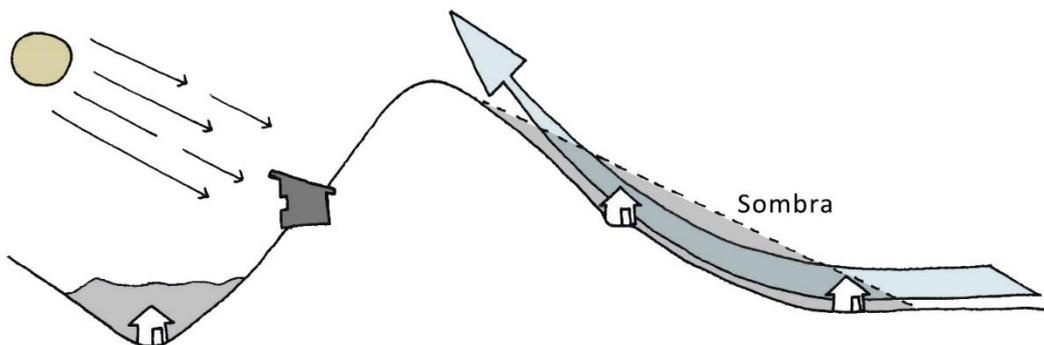
3.1.13. ORIENTACIÓN Y VEGETACIÓN

La ubicación y orientación del edificio ayuda también en términos bioclimáticos. La orientación influye en la cantidad de energía solar que se capta y en la influencia de los vientos dominantes. En verano se intentará evitar esa radiación mientras que en invierno se aprovechará porque actúa como fuente de climatización.



[Figura 17]. Aprovechamiento del terreno para sacar el mayor partido a la orientación. Fuente: *Elaboración propia*.

Según el tipo de clima de la península y de la ubicación, las aberturas y las orientaciones irán variando. Es más eficiente colocar las carpinterías en la zona sur si estamos en el área norte del país, debido a la falta de sol, mientras que en el sur, (clima mediterráneo - continental) se intenta colocar los acristalamientos evitando la orientación sur.



[Figura 18]. Inclinación de la cubierta y forma del terreno que favorece las corrientes de viento. Fuente: *Elaboración propia*

El diseño en cuanto a la forma de las construcciones también influye. La altura por ejemplo, es proporcional a la resistencia que ofrece el edificio frente al viento. La forma de la cubierta y la existencia de salientes en ella pueden hacer disminuir en invierno las infiltraciones y aumentar la ventilación en verano.

3.2. Principales tendencias en relación historia - arquitectura

3.2.1. CONSTRUCCIÓN DE LA ARQUITECTURA VERNÁCULA

La arquitectura bioclimática se basa a veces en la arquitectura vernácula. Pretende analizar la arquitectura tradicional basada en el clima y la cultura de un lugar y estudiar las soluciones arquitectónicas y de construcción.

Este tipo de arquitectura se adapta al clima del lugar sin utilizar dispositivos adicionales que consuman energía y dejen una huella ecológica.



[Figuras 19, 20 y 21]. Materiales utilizados en la arquitectura vernácula: Adobe - Madera – Piedra.

Fuentes: https://portal.uah.es/portal/page/portal/epd2_asignaturas/asig32954/informacion_academica/SDE2012%20%20%20Introducci%F3n%20a%20la%20construcci%F3n%20sostenible.pdf y Google Imágenes.

El conocimiento de la arquitectura vernácula implica la consideración de ciertos aspectos de la construcción de la siguiente manera:

(a) Las prácticas de construcción tradicionales están relacionadas con la sabiduría del conocimiento popular y se transmiten a través de la tradición con poca o ninguna intervención profesional en las fases de construcción.

(b) Los materiales son específicos del lugar de construcción y las tecnologías se adaptan a las características bioclimáticas locales. En este sentido, los diseños arquitectónicos regionales incorporarán el uso de madera o tierra como materiales de construcción. (Rodríguez, M. 2005)

(c) Su uso está relacionado principalmente con áreas rurales donde la tecnología moderna de construcción no tiene demasiado alcance. Para realizar un análisis, las primeras áreas de estudio son el clima dependiendo de la ubicación, la radiación solar e incluso la orientación predominante del viento, todo lo cual puede afectar la envolvente del edificio.

Un análisis necesario también abordará los materiales con los que se construyen los edificios y los correspondientes datos sobre el rendimiento térmico y la evolución de la temperatura en la arquitectura vernácula. A partir de un análisis arquitectónico de este tipo, se podría concluir que el diseño proporciona comodidad general climática, visual y sensorial, ayudando a controlar la iluminación natural y el mantenimiento natural de la temperatura. (Calavia, 2016)

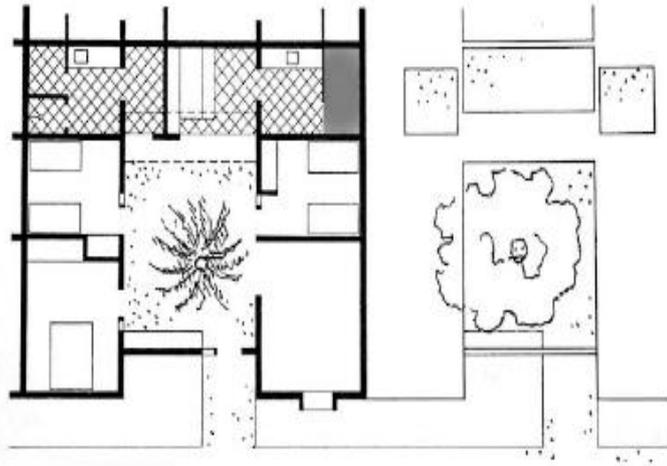
Las estrategias utilizadas se inspeccionan para facilitar la traducción posterior a la arquitectura moderna y contemporánea, o a los intentos de restauración y reconstrucción. Las estrategias y su correspondiente estudio implican un avance para adquirir confort arquitectónico sin consumo de energía. La variedad de estrategias es tan amplia como la variedad de climas, costumbres populares y culturas. (Carballeira, 2017)

La arquitectura actual se basa en dispositivos de control del clima para mantener la comodidad dentro de las estructuras. Esta estrategia produce un elevado consumo energético que afecta al medio ambiente. Las estrategias arquitectónicas vernáculas ayudan a reducir el consumo de energía y también representan la base desde la cual desarrollar otras estrategias para una mejor adaptación a las condiciones sociales de la arquitectura moderna.

Estas estrategias están vinculadas a condiciones específicas, aunque se pueden exportar como en el ejemplo del patio de la arquitectura mediterránea que también se ha utilizado en el continente americano. Por lo tanto, dada la naturaleza global, es interesante intentar estrategias de otros lugares para alcanzar objetivos similares.

[Figura 22]. Plano en planta de la Casa Patio en Chimbote, Perú
Arquitecto: Jose Luis Sert.

Fuente:
http://docshare.tips/casa-patio_5828de4db6d87f09628b4bec.html



En resumen, el análisis de la arquitectura vernácula es fundamental para comprender el comportamiento climático de un edificio en su entorno, cuyo conocimiento se ha acumulado durante siglos, y las adaptaciones de este conocimiento a las costumbres actuales de la sociedad.

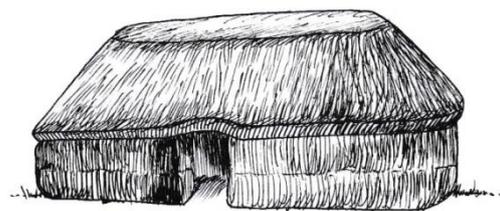
3.2.2. EJEMPLOS BIOCLIMÁTICOS DE ARQUITECTURA VERNÁCULA

Los diferentes sistemas utilizados en la arquitectura tradicional tienen mucha relación con la zona geográfica donde se encuentre la construcción. Las personas que habitaban en cada zona no disponían de tantos medios como se conocen ahora y solo utilizaban los materiales del territorio ayudándose del conocimiento que poseían para combatir el clima de ese lugar.

De este modo y en relación con los tres climas al principio explicados, se pueden mencionar algunos ejemplos que ayudan a la comprensión del avance posterior de la arquitectura en este ámbito complejo como es la sostenibilidad.

(a) El rancho marismeño (Clima mediterráneo).

El Parque de Doñana está situado al sudoeste de la Península Ibérica, con una superficie de 50.720 hectáreas. Sus terrenos pertenecen a las provincias de Huelva y Sevilla. La característica más acentuada de Doñana es el contraste biogeográfico.



[Figura 23]. Choza marismeña.

Fuente: *Elaboración propia*

Las chozas de Doñana constituyen una de las tipologías edificatorias más antiguas de Andalucía. Son un claro ejemplo de arquitectura vernácula, en las que sus habitantes utilizan los materiales de entorno para realizar construcciones que se adaptan al clima, proporcionando un espacio que soluciona de forma sencilla y económica las necesidades básicas, integrándose discreta y bellamente en el paisaje.



[Figura 24]. Ubicación Parque Natural de Doñana. - Fuente: *Google Imágenes*

El denominador común de la mayoría de los suelos de Doñana es la salinidad, que los convierte en no aptos para la agricultura. Sin embargo, el parque es un espacio muy productivo para la caza, la pesca, la apicultura, los aprovechamientos forestales y la ganadería.

En 1737 el VII Duque de Medina Sidonia realiza una repoblación masiva de pinos. Como consecuencia de esta intervención forestal se incrementa el número de personas que subsistían gracias a los aprovechamientos tradicionales como la recogida de la piña o la obtención de madera. Todo ello da lugar a la aparición de varios poblados de chozas en la zona del Coto.

Descripción formal y constructiva.

Los ranchos marismeños constan de dos chozas rodeadas por un cercado (unidad familiar). Una de las chozas se utiliza como cocina y la otra como vivienda y en su interior se encuentra un espacio único diáfano.

La estructura general es de troncos de madera, sobre la que se coloca un trenzado de juncos. La cubierta, consigue el efecto impermeabilizante debido al material con el que se construye, una mezcla de arcilla y estiércol colocados con gran pendiente. [Figura 25]

Aprovechamientos medioambientales y estrategias bioclimáticas.

Las maderas usadas tradicionalmente para las chozas eran la sabina y el enebro, muy resistentes a la humedad y a los insectos.

Los materiales utilizados para el revestimiento de las chozas son el junco, la castañuela, el brezo y el barrón. El primero es el más indicado para esta labor. El brezo se utiliza para los cercados de los ranchos o de los huertos, como protección frente a la entrada de animales. El barrón era utilizado por los colonos como revestimiento en las zonas bajas de la choza debido a que es más resistente.



[Figura 25]. Interior de la choza marismeña. Fuente: *Google Imágenes*

- Protección del sol y ventilación. - Las chozas tienen muy pocos huecos al exterior. Sin embargo, las paredes de juncos trenzados permiten una continua ventilación evitando el sobrecalentamiento.
- Aislamiento. - Se consigue también con la gruesa capa de juncos.
- Enfriamiento. - En verano, con las altas temperaturas, se humedece el suelo de arcilla batida para provocar el efecto de evaporación y así bajar la temperatura interior.
- Calentamiento. - En invierno se calientan las chozas quemando carbón. A tener en el interior un acabado de madera y juntos se produce un calentamiento rápido.

(b) El molino de viento. (Clima continental)

El molino de viento es una máquina para moler compuesta de una muela, una solera y los mecanismos necesarios para transmitir y regularizar el movimiento producido por la fuerza motriz del viento.

Los molinos de viento aparecieron en oriente próximo a principios del siglo VII.

La civilización islámica lo extendió por todo el mediterráneo hasta la mitad sur de la península ibérica.

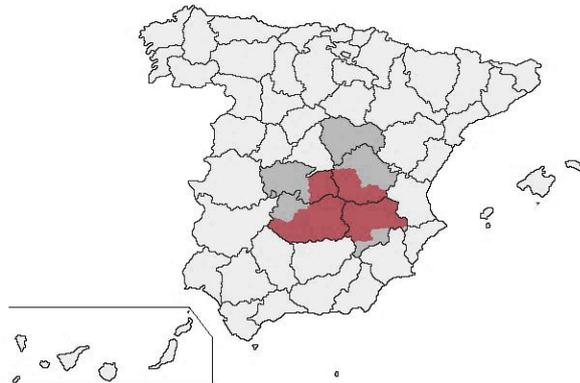
Aproximadamente hacia el siglo XII se extendió a Centroeuropa, probablemente traído por los cruzados.

El molino manchego se considera el nexo de unión entre ambas culturas: la mediterránea y la centroeuropea ya que en la disposición de las velas y en la arquitectura de la torre se parece a los molinos mediterráneos, mientras que la forma de las palas y su disposición son de influencia centroeuropea.

Durante siglos se construyeron en toda La Mancha molinos de viento por el escaso uso de los molinos de agua que no podían ser utilizados debido a la sequía de la zona.

Los molinos de viento poblaron todo el territorio de La Mancha.

Con el tiempo han ido desapareciendo muchos aunque se conservan principalmente en la localidad de Consuegra, provincia de Toledo, los del Campo de Criptanal en la provincia de Ciudad Real y también al sur de Cuenca.



[Figura 26]. Zonas geográficas de España con mayor número de molinos de viento. Fuente: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:LocationLa_Mancha.png

Todos están situados en colinas o elevaciones y en lugares donde nada obstaculice la mejor captación del viento y donde su velocidad sea más elevada.

Descripción formal y constructiva.

El molino manchego consta de una torre cilíndrica y una cubierta cónica.

La construcción mide 8 metros de altura y 5 de diámetro, y está formado por tres plantas.

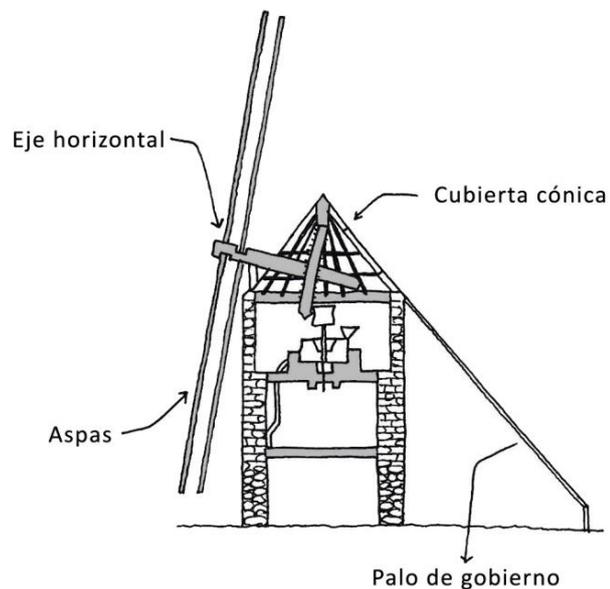
En la planta superior está toda la maquinaria que transmite la fuerza del viento para realizar la molienda del grano y una serie de pequeñas ventanas para facilitar la orientación de las aspas.

En la planta intermedia se recoge la harina y se limpia de las impurezas. También se guardan las herramientas.

En la planta baja está la desembocadura del canalón por donde sale la harina limpia y el contrapeso para actuar sobre el mecanismo del alivio, que sirve para controlar el grosor o finura de la harina.

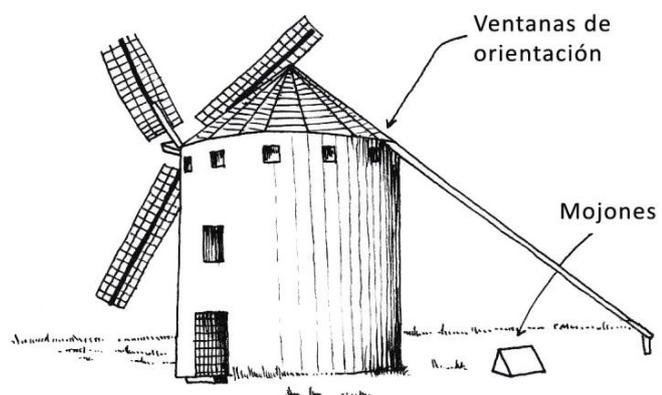
La torre que constituye el molino está realizada con mampostería de piedra y adobe sobre la cual se encuentra la cubierta cónica (de tela, paja o chapa de zinc) realizada sobre un entramado de madera. El eje horizontal de madera contiene las cuatro aspas y el palo de gobierno, cuya función es cambiar la orientación de la cubierta para aprovechar los vientos dominantes.

El movimiento de las aspas produce el giro del eje, que mediante un mecanismo interno de ruedas verticales y horizontales realizan el movimiento de la molienda.



[Figura 27]. Partes del molino de viento.

Fuente: *Elaboración propia*



[Figura 28]. Molino de viento desde el exterior.

Fuente: *Elaboración propia*

Aprovechamientos medioambientales y estrategias bioclimáticas.

El enfoque bioclimático del molino de viento es de claro aprovechamiento de la energía.

La formalización del edificio (estructura cilíndrica) permite una mayor captación de viento disminuyendo la fachada expuesta al mismo. Las aberturas de escaso tamaño que se encuentra en la zona superior servían a los maestros molineros para conocer los parámetros del viento, ya que en esa época carecían de dispositivos tecnológicos de medición.

En el interior de los molinos de viento, la temperatura es considerablemente estable gracias a la gran inercia de los muros.

Los materiales empleados eran autóctonos, y se trataban blanqueando la superficie para una menor incidencia de la radiación solar.



[Figura 29]. Molinos de viento de la zona de Consuegra, Toledo.

Fuente: <https://www.hoy.es/20100104/sociedad/molinos-mancha-pasan-20100104.html>

(c) El hórreo. (Clima oceánico)

El hórreo es una construcción destinada fundamentalmente a despensa y granero que servía para guardar y conservar los alimentos alejados de la humedad y de los animales (principalmente ratones y otros roedores) para mantenerlos en un estado óptimo para su consumo.

En todo el planeta se encuentran graneros aéreos sobre pies: en Europa se pueden encontrar en Noruega, Polonia, Suecia o España.

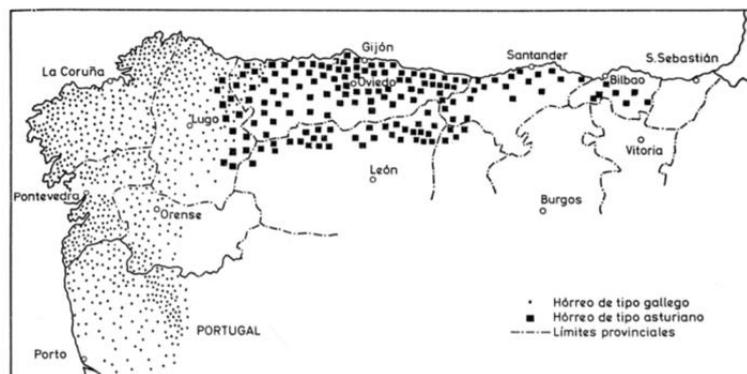
Se cree que el hórreo tiene su origen en graneros elevados y ventilados que existían en los poblados celtíberos antes de la llegada de los romanos. Pero la primera referencia documentada de la existencia de los hórreos es del año 800 relativo a la fundación de un monasterio en la provincia de Burgos. Al principio estaban ligados a casas grandes y monasterios, pero la consolidación del hórreo se produce en el siglo XVII favorecido por la difusión del cultivo del maíz.

El hórreo fue una construcción auxiliar indispensable en la vida campesina del norte húmedo peninsular.

La mayor proliferación será a partir de la desamortización del siglo XIX porque reestructura la propiedad de la tierra y de las rentas hasta la mecanización de las áreas agrícolas a mediados del siglo XX.

Su buena adecuación a unas necesidades climáticas muy específicas de lluvias frecuentes y humedad abundante hizo que se extendiera en áreas muy diferentes del norte de la península con adaptaciones según las zonas.

En la Península Ibérica hay dos grandes áreas: la primera la del hórreo cuadrado asturiano y la de los “garaixes euskeras”, que va de Vizcaya a Santander, León y Palencia, llegando a zonas montañosas de Galicia oriental, la segunda es la del hórreo rectangular gallego que va de las comarcas occidentales asturianas hasta áreas situadas al sur del Duero, a la altura de Aveiro.



[Figura 30]. Situación geográfica de los hórreos en el norte de España.

Fuente: <http://www.residencia.csic.es/teran/img/obra/cantabria.pdf>

Descripción constructiva

Los hórreos suelen situarse en zonas donde, generalmente, no es necesaria una cimentación. Si fuera así se construiría una solera.

En ese caso, sobre la solera se colocarían los soportes que sirven para separar la cámara del suelo y así aislar el grano y los alimentos de la humedad. Dichos soportes pueden ser de sistemas constructivos diferentes como por ejemplo:

Columnas de piedra o madera (mínimo cuatro), muros de carga transversal, o cuatro muros de mampostería.

El prisma donde se guardan los alimentos se soporta mediante un entramado de cuatro vigas en las que se apoyan las columnas y los paramentos verticales. La longitud de las vigas depende del material. Si son de madera, su longitud será de unos 4 o 5 metros, mientras que si son de cantería, irán de 1,5 a 1,8 metros. La cubierta apoyada sobre una viga longitudinal, posee un diseño tradicional a dos aguas que normalmente vuela para proteger de la lluvia.

Los materiales empleados en su construcción son muy variados, aunque siempre se utilizan materiales autóctonos usados en la arquitectura popular: cantería, madera especialmente de castaño, teja de cerámica en cubierta o losas de pizarra.



[Figura 31]. Hórreo situado en Allariz, Ourense.

Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Horreo_de_madeira,_en_Allariz.jpg

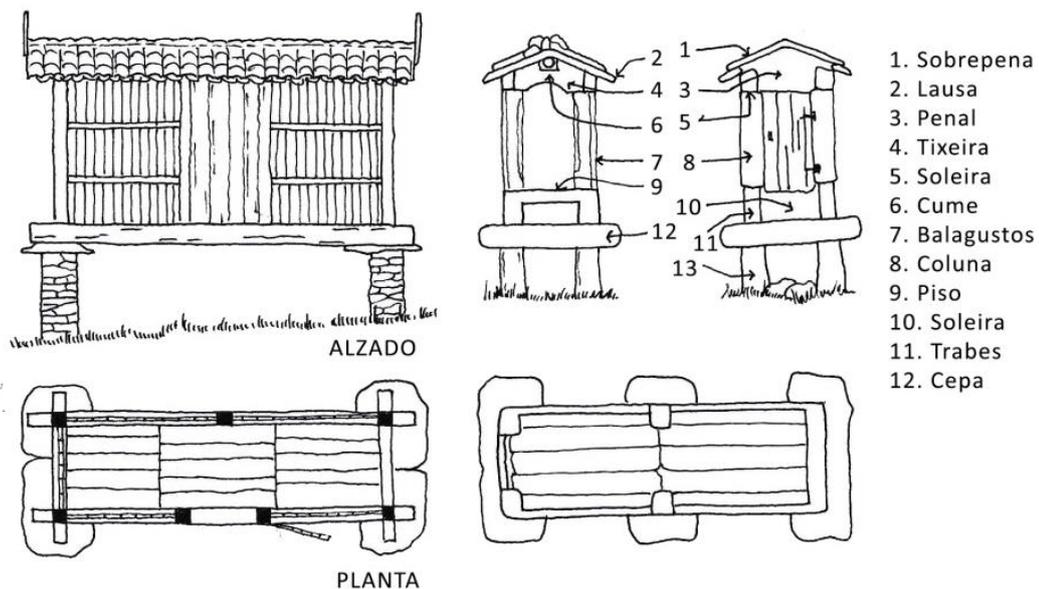


[Figura 32]. Sujeción de la parte inferior del hórreo.

Fuente: NEILA GONZÁLEZ, F.J., (2004) *Arquitectura bioclimática en un entorno sostenible*.

Aprovechamientos medioambientales y estrategias bioclimáticas.

- Geometría y material. - La forma del hórreo viene condicionada por su función de espacio de curación y secado del cereal. La provincia donde se ubique también influye aunque siempre está construido con materiales autóctonos y adaptados al clima.
- Ventilación. - Están dotados de ranuras situadas en las paredes perimétricas. La ventilación es lo más difícil de conseguir en el proceso constructivo del hórreo. De no ser óptima, la construcción no serviría para el uso deseado. A veces se mejora aumentando la altura.
- Roedores. - Para evitar su entrada a la cámara se colocan en las columnas bases planas (tornarratos) y las escaleras de acceso están separadas del cuerpo del hórreo. [Figura 32]
- Agrupación. - Por lo general se encuentran agrupados al resto de construcciones y ubicados con una orientación donde el viento circule con facilidad.



[Figura 33]. Partes del hórreo.

Fuente: *Elaboración propia*

3.2.3. EXPERIMENTACIÓN EN LA CONSTRUCCIÓN DE LA ARQUITECTURA BIOCLIMÁTICA

Esta tendencia comprende la traducción del conocimiento de la arquitectura bioclimática en proyectos de construcción para nuevos edificios, proyectos de rehabilitación o construcción de estructuras existentes.

Cada área ha incorporado estrategias que se adaptan a sus respectivos climas para lograr la comodidad. En algunos casos, los materiales y elementos arquitectónicos que conforman una estrategia fueron estudiados previamente mediante la realización de simulaciones e incluso con estimaciones de ahorro bastante significativas. (Carballeira, 2017)

Se realiza un análisis de beneficios de la construcción bioclimática una vez que se ha completado la estructura. Las estrategias más tradicionales incluyen el uso de materiales reflectantes para cubrir superficies, lo que reduce la demanda de energía de enfriamiento, el uso de vegetación cercana para proporcionar humedad y la presencia de estanques, enfriamiento pasivo y ventilación pasiva.

La construcción existente también se puede rehabilitar mediante la reinterpretación o reconstrucción, siempre que se interpreten las estrategias de confort iniciales del edificio auténtico. Los métodos de provisión de confort diseñados en el momento de la construcción deben ser restablecidos a través de un enfoque más actualizado. (Carballeira, 2017)

Como se ha mencionado anteriormente, sin la arquitectura tradicional y su estudio no se podría haber llegado a los sistemas sostenibles que se utilizan en la actualidad y que consiguen una arquitectura cada vez más eficiente.

Hoy en día se siguen teniendo en cuenta los mismos parámetros que hace años, por lo que según los climas de la península podemos citar algunos ejemplos.

(a) Casa Bioclimática GG (Barcelona) - Alventosa Morell Arquitectes
CLIMA MEDITERRÁNEO

La Casa Bioclimática GG en Barcelona se configura como una construcción energéticamente eficiente.

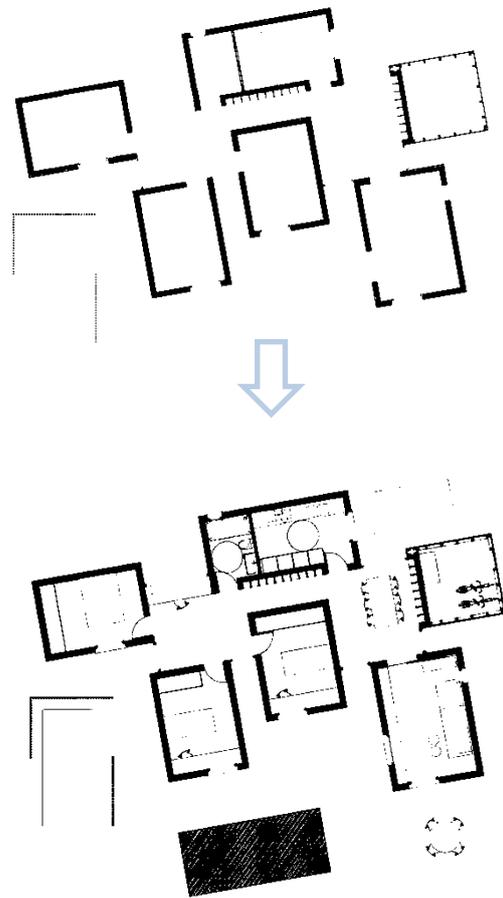
Para el levantamiento de esta vivienda se utilizó un presupuesto muy reducido y plazos de ejecución ajustados, pero aun así se consiguió una vivienda que funcionara de forma bioclimática.

Es una construcción modular de madera (6 módulos) totalmente prefabricada sin necesidad de acabados posteriores en la obra. Dichos módulos son lo suficientemente flexibles para adaptarse a la morfología del solar, respetando y enmarcando los árboles existentes.

El espacio intersticial que los une se transforma en un captador solar durante el invierno, (efecto invernadero) y en una terraza exterior cubierta vinculada al jardín durante las épocas de mayor temperatura.

El uso de madera así como un envolvente con mucha resistencia térmica han generado unas prestaciones inmejorables:

- Reducción de la huella ecológica debido al uso de materiales próximos a la zona donde se ha construido y un impacto natural mínimo (madera de abeto, celulosa,...)



[Figuras 34 y 35]. Vista en planta y transición desde la idea de módulos hasta el resultado final.

Fuente:

<https://www.archdaily.com/511922/g-g-bioclimate-house-alventosa-morell-arquitectes>

- Se evitan condensaciones mediante el uso de materiales transpirables.
- Reducción de un 76,77% de la demanda energética en calefacción.



[Figura 36]. Vista desde el los alrededores de la vivienda.



[Figura 37]. Vista interior.

Fuente de ambas: <https://www.archdaily.com/511922/gg-biomatic-house-alventosa-morell-arquitectes>

(b) Edificio EREN (León) - CLIMA CONTINENTAL

El edificio EREN es un ejemplo de construcción destinada al uso administrativo aplicando la arquitectura bioclimática y de alta eficiencia energética. Alberga la Sede Central del Ente Regional de la Energía de Castilla y León, Organismo Regional promotor de la eficiencia energética y las energías renovables.

El objetivo principal es reducir los consumos energéticos, aprovechando la energía gratuita mediante la incorporación de fuentes de energía renovables.



[Figuras 38 y 39]. Vistas exteriores del edificio. Fachada norte (izq.), Fachada sur (dcha.).

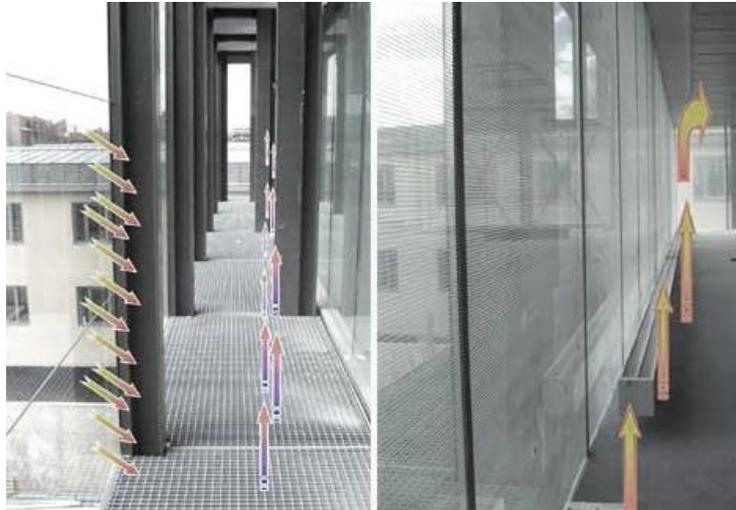
Fuentes: <https://www.diariodeleon.es/articulo/leon/edificio-eren-obtiene-maxima-certificacion-energetica-espanola/201605030400011593540.html> y Google Imágenes.

El edificio consta de seis alturas (semisótano, baja y 4 plantas) con una superficie de 2.500 m² y orientado al sur, para recibir una mayor aportación solar desde las primeras horas del día hasta las últimas.

La orientación hace que haya 10 grados de diferencia entre la fachada Sur, captadora de energía solar y la fachada Norte, fachada aislante.

Incorpora instalaciones de energías renovables en la fachada y cubierta, energía solar térmica con colectores solares planos para producción de A.C.S., y en el tejado de los laboratorios, paneles solares fotovoltaicos para el apoyo en calefacción, además de contar con farolas fotovoltaicas para favorecer el ahorro en el sistema de alumbrado público en el exterior.

Desde el punto vista energético, los forjados son continuos de hormigón y debido a su elevada inercia térmica actúan como acumuladores de calor.



[Figuras 40 y 41]. Vistas interiores de la galería que permite crear un efecto Muro Trombe.

Fuente:

<https://www.construible.es/2007/08/12/edificio-eren>

En la fachada Sur, Este Oeste, existe una gran cámara formada por dos paredes de vidrio separadas un metro entre sí. Este espacio configura la posibilidad de acondicionar el aire de ventilación en la zona de oficinas y servicios. La cámara acristalada dispone de rejillas inferiores y superiores permitiendo la circulación de aire. En invierno, la radiación calentará gratuitamente el aire de ventilación y en verano, el aire circulará por convección hacia el exterior.

La fachada Norte, construida con materiales de bajos coeficientes de transmisión de calor, dispone de ventanas embebidas para evitar pérdidas por infiltración. [Figura 34]

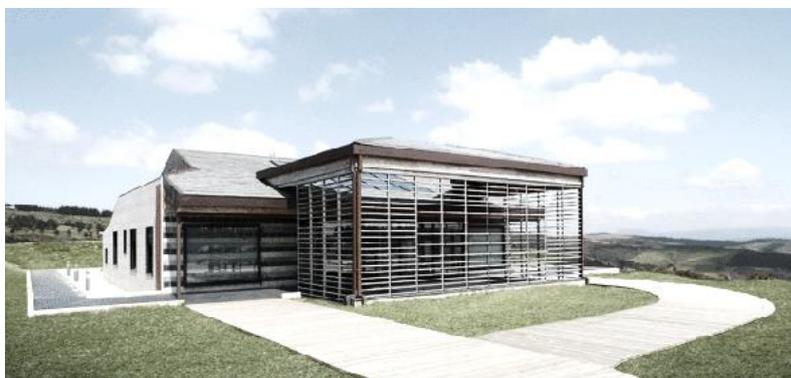
(c) Casa Bioclimática de Sotavento (Lugo) - CLIMA OCEÁNICO

La construcción de la Casa Bioclimática de Sotavento (Lugo) supone hablar de clima, de calor y de frío, de procesos de transmisión de calor, de los usos energéticos en la vivienda, electrodomésticos, iluminación, etc. También de confort y de cómo este se consigue y se mejora... y de los resultados energéticos y ambientales que cabe esperar.

El objetivo medioambiental y energético consiste en conseguir que en el interior de la vivienda o edificio se mantenga una temperatura de confort lo más constante posible gracias a los sistemas de energías renovables y a la propia edificación, consumiendo la menor cantidad de energía. Por ello son muy importantes los factores como la orientación, el tipo de aislamiento o la climatización natural.

El interior de la vivienda se concibe como un espacio escénico, con una plataforma central elevada respecto del perímetro. Gracias a la flexibilidad de su uso facilita la visión a grupos de hasta quince personas y a visitantes en silla de ruedas y puede ser usada como aula para presentaciones, comedor, o espacio de estancia y relax.

Tanto el edificio bioclimático como los sistemas energéticos de apoyo, tienen un sistema de monitorización permanente, como parte de su instalación domótica y de control, para conocer su funcionamiento y sus aportaciones, de modo que puedan ser extrapolables a otros edificios similares de mayor o menor tamaño.



[Figura 42]. Casa Bioclimática de Sotavento

Fuente:<http://rwesvia.inforce.dk/eficiencia+energ%C3%A9tica/casas+de+bajo+consumo+energ%C3%A9tico/vivienda+bioclim%C3%A1tica+de+sotavento>

4. FASE PRÁCTICA

4.1. Propuesta

En esta parte práctica se abordará en profundidad uno de los sistemas citados en la fase anterior, el muro Trombe.

Para describir su funcionamiento se plantarán tres problemas prácticos según las zonas tres de las diferentes áreas geográficas de la península, y sus respectivos climas: mediterráneo, continental y oceánico. Estas distintas ubicaciones (concretamente Valencia, Valladolid y A Coruña) servirán para conocer las ventajas e inconvenientes de esta técnica según sus características ambientales diseñando hipotéticas viviendas con gastos energéticos por calefacción nulos.



[Figura 39]. Ubicación del área de estudio.

Fuente: *Elaboración propia.*

4.2. Estrategia bioclimática: el muro Trombe

En la antigüedad, muchas de las construcciones de viviendas se realizaban con muros gruesos de piedra o adobe que captaban el sol durante el día y lo emitían durante la noche calentando de esta forma el interior. Estas técnicas se han mejorado con muros que almacenan y distribuyen el calor de manera controlada, llamados, muros Trombe.

Aunque el muro Trombe se diseñó (por Edward Morse) en la década de 1880, no fue hasta los años 60 del siglo XX cuando se popularizó de la mano del ingeniero Félix Trombe y el arquitecto Jacques Michel, de ahí su nombre común, muro Trombe o Trombe – Michel.

Los antiguos muros, que conseguían esa arquitectura pasiva, comparten algunas ventajas con los modelos actuales, como por ejemplo la variedad de materiales relativamente asequibles que se utilizan para su construcción, además de no poseer demasiado mantenimiento.

4.2.1. EL MURO TROMBE: FUNCIONAMIENTO

Este sistema pasivo que recoge energía solar de forma indirecta se utiliza para el calentamiento del interior de viviendas y edificios mediante transferencia de calor por convección, conducción o radiación.

La técnica se basa en el efecto invernadero, mencionado anteriormente. Dicho muro, se debe orientar al sur si la construcción se encuentra en el hemisferio norte, y viceversa, al norte si se encuentra en la zona sur del planeta. En los ejemplos de la península, el muro se orientaría hacia el sur por la ubicación de España.

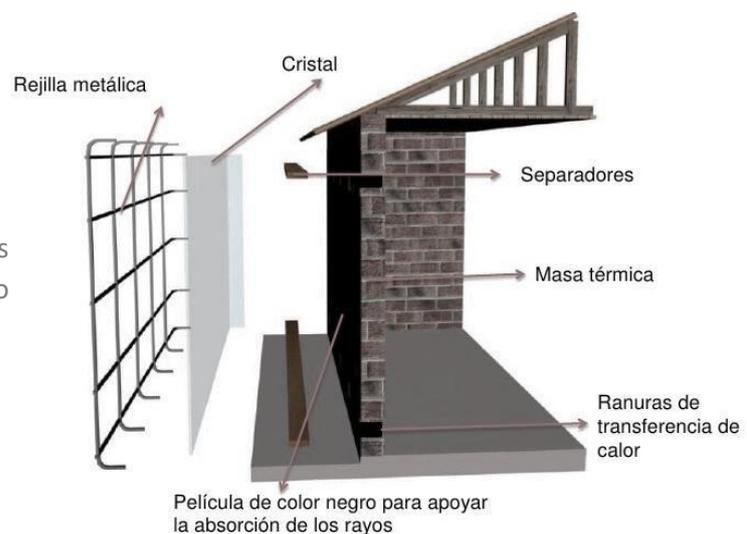
El sistema está compuesto (de exterior a interior) principalmente por cinco elementos:

- (a) Un vidrio lo más espeso posible, doble o triple con cámara de aire interior.
- (b) Una cámara de aire, delimitada por el muro y el vidrio.
- (c) Un alero superior para que proteja el espacio interior entre el muro y el vidrio de la caída de algún elemento.
- (d) Un muro interior que debe tener alta masa e inercia térmica, por lo que se utilizarán materiales tales como fábrica de ladrillo, hormigón o piedra... Debe ser o estar pintado de un color oscuro, o recubierto de una lámina metálica que refleje el calor y siempre protegido con un aislante al interior.

[Figura 40]. Principales elementos del muro Trombe.

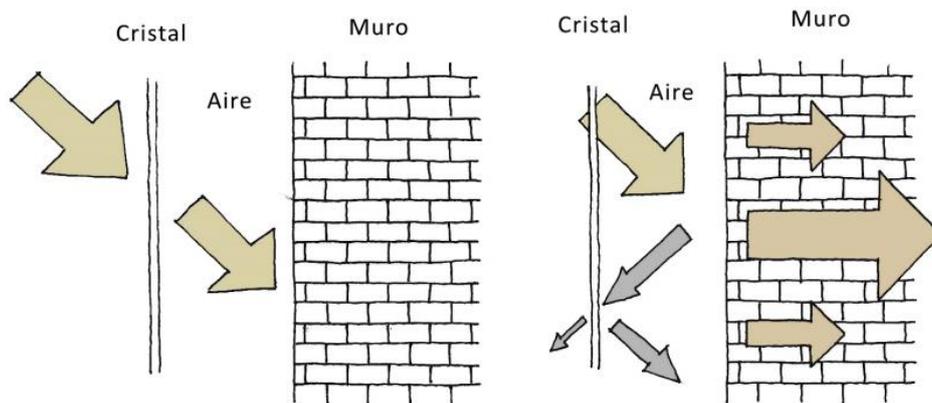
Fuente:

<http://mrbimarchitects.com/blog-es/muro-trombe-climatizacion-pasiva/>



El muro trabaja desarrollando principalmente dos funciones. La primera, absorbiendo la radiación solar por el cristal exterior. Este vidrio se debe colocar a una distancia de entre 20 y 150 cm de la pared para generar esa cámara de aire. La segunda sería transfiriendo ese calor por conducción a través de la pared. Dicha pared, de unos 20-40 centímetros, se calienta por la radiación que incide en el vidrio y almacena el calor en su masa térmica.

La radiación que el muro ha absorbido durante el día y que emite por la noche no puede volver a atravesar de nuevo el vidrio porque tiene una onda demasiado larga, por lo que se produce el efecto invernadero y el aire que se encuentra en la cámara se calienta.



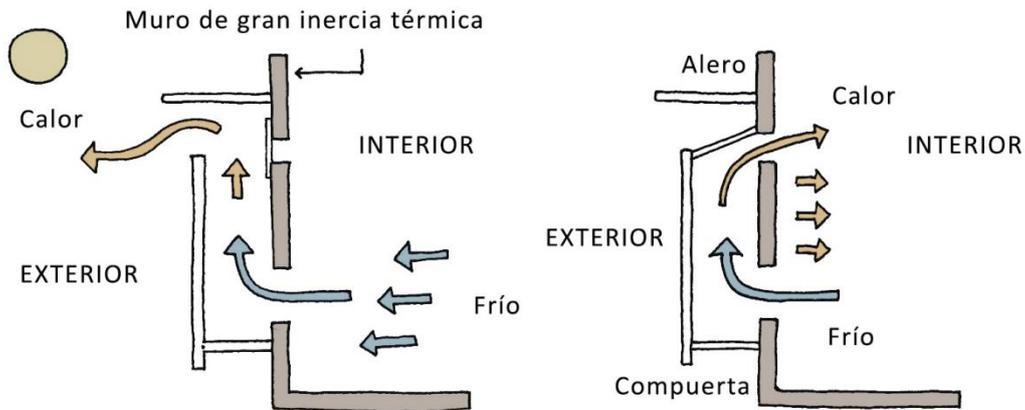
[Figura 41]. Aprovechamiento de la radiación solar para el sistema pasivo muro Trombe. Fuente: *Elaboración propia*

Se incluyen en la superficie del muro orificios con sus respectivas válvulas. Unas aberturas en la parte superior y otras en la inferior, que crean un bucle de aire convectivo, donde el aire frío que se ubica en el interior del espacio circula por la zona inferior hacia la cámara de aire, donde se calienta y vuelve a entrar al interior del local.

En arquitectura, los muros Trombe se combinan con ventanas, voladizos y otros elementos constructivos que regulen el flujo de radiación solar.

Las ventanas permiten una absorción solar directa durante el día, mientras que el muro Trombe desprende el calor almacenado durante la noche por lo que su combinación resulta excelente.

En los meses de verano es necesario el uso de voladizos que protegen al muro de acumular calor que no es necesario y de sobrecalentamientos.



[Figura 42]. Distintas posiciones y formas de funcionamiento en verano y en invierno. Fuente: *Elaboración propia*.

4.2.2. DISEÑO

Las condiciones climáticas (latitud, temperatura, viento...) se relacionan con la necesidad de calefacción en el interior de los edificios. Todos ellos son factores externos que se deben tomar en cuenta para el dimensionado del muro Trombe.

- (a) El clima: La cantidad de calor perdido por el muro depende necesariamente de la diferencia entre la temperatura externa e interna de la estancia. Cuanto más grande sea la diferencia mayor serán las pérdidas, por eso, para climas muy fríos se deberá sobredimensionar el muro.
- (b) Latitud y orientación: Las dimensiones del muro depende de la latitud de la zona donde se encuentre el edificio, de manera que cuando aumenta la latitud es preciso aumentar el espesor del muro. En las zonas del hemisferio norte.

Los factores internos de los materiales también influyen en el dimensionado y en la eficiencia del sistema, entre ellos, el espesor del muro, la superficie del vidrio, el número y las dimensiones de las aberturas...

4.2.3. MODELOS

Aunque normalmente se utiliza un tipo de muro Trombe conocido como tipo ventilado, existen en realidad dos variantes de este sistema pasivo que puede responder a distintos resultados para diferentes zonas climáticas.

(a) Muro Trombe no ventilado

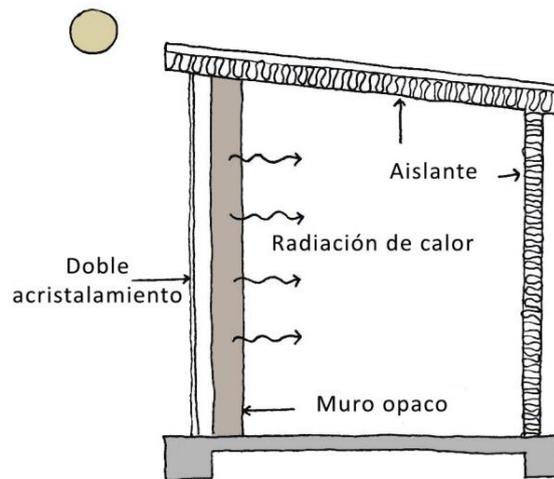
Es el modelo más sencillo ya que consta únicamente de una pared con gran masa térmica trasdosada al exterior con el correspondiente vidrio y dejando en su interior una cámara mínima de entre 2 y 5 centímetros ya que no es necesaria la convección de aire.

La pared únicamente absorbe el calor que proviene de la radiación solar y lo irradia hacia el interior del local, por lo que la temperatura del muro es siempre inferior a la de la cámara de aire.

Como no existe cámara de aire, la inercia térmica del muro es un factor clave para que el sistema funcione. Al retardarse la entrada de calor del exterior hacia el interior de la estancia, el muro Trombe no ventilado se utiliza para viviendas en las que usan continuamente.

(b) Muro Trombe ventilado

Este es el modelo original, el cual tiene orificios de ventilación en las zonas inferior y superior del muro opaco. Estas aberturas permiten la entrada de aire caliente mediante los huecos superiores y la salida del aire frío por los inferiores hacia la cámara de aire, donde por efecto invernadero se vuelve a calentar.

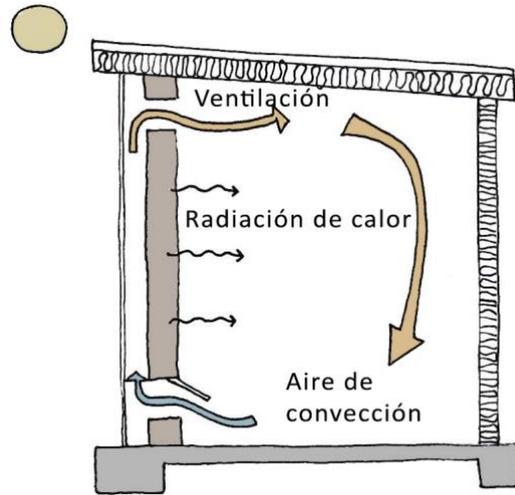


[Figura 43]. Posibilidad de funcionamiento del muro Trombe ventilado.

Fuente: *Elaboración propia.*

En invierno la radiación pasa por el acristalamiento y es absorbida y almacenada por el muro. Dicho muro, al calentarse, emite parte del calor al interior de la estancia y otra parte a la cámara de aire.

En verano es necesario modificar el cambio de dirección del aire en las aberturas del muro. Con esto se consigue la salida de aire caliente del interior y se descende la temperatura del interior.

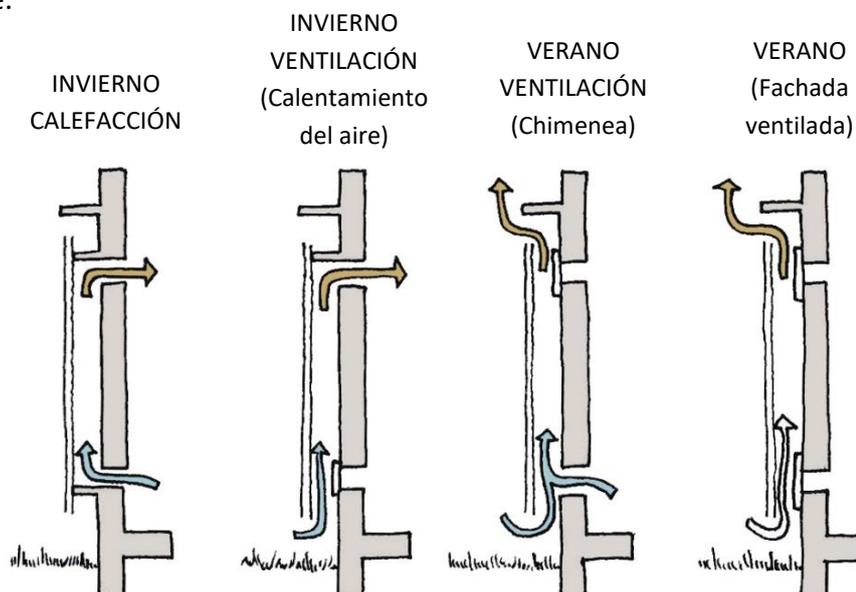


[Figura 44]. Modelo de muro Trombe no ventilado

Fuente: *Elaboración propia.*

Estas corrientes de aire caliente o templado pueden calentar o enfriar el espacio interior según cómo estén regulados los mecanismos de control en las ventilaciones. Debido a la diferencia de densidad del aire caliente y el frío se producen corrientes en una dirección u otra.

El nombre de muros Trombe ventilados se debe a la presencia de los orificios colocados en la parte opaca del sistema. Dichos orificios de termocirculación inducen la circulación natural de del aire caliente, que dura hasta 3 horas después de que la radiación del sol acabe.



[Figura 45]. Posibilidad de funcionamiento del muro Trombe ventilado.

Fuente: *Elaboración propia.*

4.3. Experimentación según área geográfica.

Para relacionar los distintos sistemas bioclimáticos con los climas escogidos de la península se presenta una tabla en la que se expresa el grado de conveniencia del tipo de sistema según la ubicación geográfica. Aunque más a fondo se profundizará el muro Trombe, es necesario conocer también cómo actúan las demás estrategias bioclimáticas que aparecen en el diagrama de Baruch Givoni anteriormente explicado.

Leyenda:

X → Muy apropiado

O → Bastante apropiado

-- → Poco apropiado

	MEDITERRÁNEO	CONTINENTAL	OCEÁNICO
(a) Muro Trombe	O	X	--
(b) Muro Parietodinámico	O	X	O
(c) Efecto invernadero	--	O	X
(d) Calefacción por ganancias internas	X	O	--
(e) Calentamiento solar	--	O	X
(f) Humidificación	--	X	--
(g) Protección solar	X	O	--
(h) Calefacción convencional			
(i) Enfriamiento por alta masa térmica	X	O	--
(j) Refrigeración por ventilación natural	--	O	--
(k) Enfriamiento evaporativo	O	X	--
(l) Aire acondicionado	X	O	--

[Figura 46]. Tabla sobre el grado de conveniencia de las distintas estrategias bioclimáticas.

Fuente: *Elaboración propia*.

4.3.1. CLIMA MEDITERRÁNEO (VALENCIA)

El clima mediterráneo se caracteriza por tener temperaturas suaves durante casi todo el año por lo que las sensaciones térmicas diurnas durante los inviernos son generalmente confortables.

Determinando la zona climática de Valencia como B3, se observa la relación de temperaturas medias y humedades relativas en cada mes del año.

B3	Ene.	Feb.	Marzo	Abril	Mayo	Jun.	Jul.	Ago.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
Tmedia	10.4	11.4	12.6	14.5	17.4	21.1	24	24.5	22.3	18.3	13.7	10.9
HRmedia	63	61	60	62	64	66	67	69	68	67	66	64

[Figura 47]. Tabla temperaturas medias y humedades relativas zona B3.

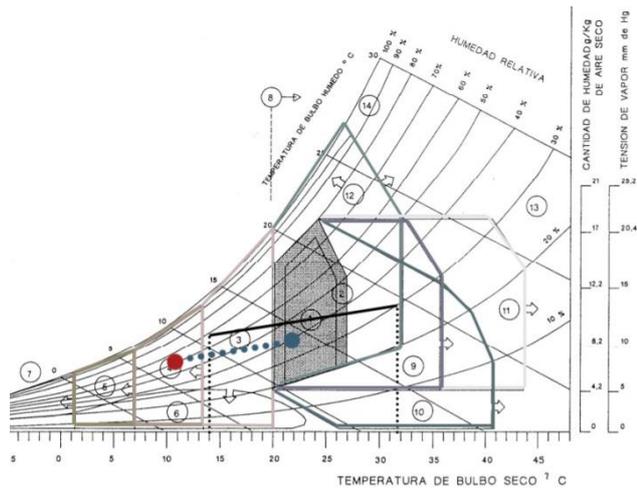
Fuente: *Elaboración propia y datos obtenidos del Código Técnico de la Edificación, en su Documento Básico de Ahorro Energético (DB-HE-CTE)*

La localización en este primer caso en la ciudad de Valencia, posee una temperatura media de 10,9°C y una humedad relativa de 62,3% (entre Diciembre, Enero y Febrero, los meses más afectados por bajas temperaturas) y de 23,6°C y 68% en verano (Julio, Agosto y Septiembre).

En términos generales se tratará el uso de las estrategias que aparecen en el diagrama de Givoni según los distintos climas por lo que se analizarán temas de protección solar, refrigeración por alta masa térmica, por evaporación, calefacción por ganancias internas o por calentamiento solar entre otros. Se representa en puntos de mayor tamaño las posiciones inicial (color rojo) y final (color azul), y en línea de puntos de menor tamaño los datos de temperaturas y humedades relativas (color rojo) y el recorrido a realizar (color azul).

El clima mediterráneo tiene unas temperaturas estables durante todo el año pero la necesidad de controlar unos factores u otros dependerá también de la estación en la que se ubique el estudio.

En invierno las temperaturas no son demasiado bajas y las humedades relativas se mantienen de forma casi uniforme pero no existen unas condiciones de bienestar térmico por lo que simplemente con aumentar la ganancia solar (zonas ④ y ⑤) sin modificar excesivamente la humedad relativa llegaríamos a un punto de temperatura ideal del bulbo seco entre 21°C y 25°C.

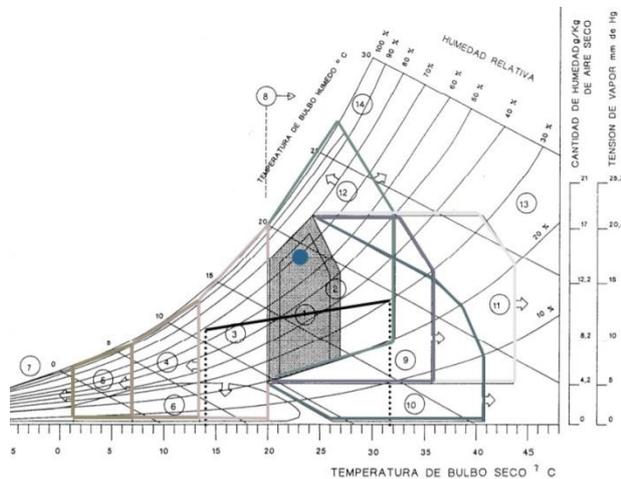


[Figura 48]. Diagrama de Givoni en condiciones de invierno. Clima mediterráneo.

Fuente: *Elaboración propia.*

La excepción de algunas noches donde las temperaturas descienden a los 3°C – 4°C crea la necesidad de utilizar la calefacción solar pasiva. Por ser una zona costera no necesitaría humificación, el punto se encuentra fuera de la zona ⑥.

En verano la situación es ligeramente diferente. Por temperatura y humedad se hallaría rápidamente el confort térmico pero la continuada radiación solar hace que se necesite protección. Sería necesaria dicha protección pero únicamente en los meses más calurosos, cuando se sobrepasa el límite de la zona ⑧, por lo que es recomendable utilizar por ejemplo árboles de hoja caduca, que en invierno permitan el paso de la radiación y en los meses calurosos proteja con sombra.



[Figura 49]. Diagrama de Givoni en condiciones de invierno. Clima mediterráneo.

Fuente: *Elaboración propia. Todos los diagramas:*

<https://idus.us.es/xmlui/bitstream/handle/11441/59473/Bote%20Alonso%2C%20inmaculada%20%28espa%29.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

En ocasiones no es suficiente para alcanzar el bienestar los medios naturales. Debido a que durante las horas del día se suelen alcanzar las zonas ⑬ o ⑭ es precisa la utilización de medios mecánicos como aire acondicionado.

4.3.2. CLIMA CONTINENTAL DE INTERIOR (VALLADOLID)

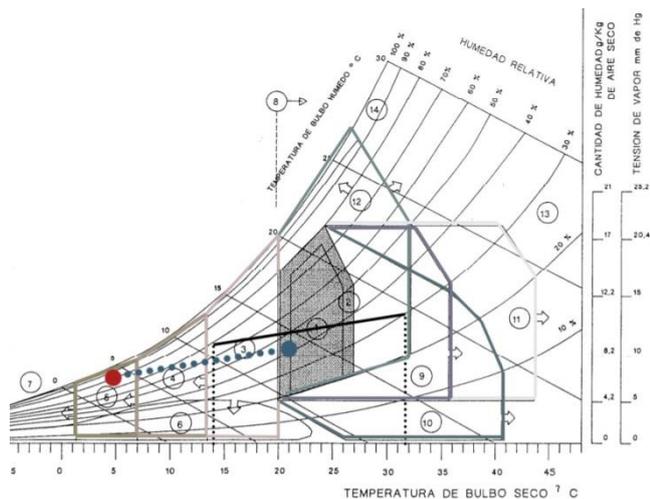
El clima continental de interior de la Península Ibérica se caracteriza por unas grandes diferencias de temperatura entre el día y la noche. Debido a esto se necesita proporcionar calor suplementario en espacios estanciales y reducir así la demanda de calefacción.

La ciudad de Valladolid se sitúa en la zona climática D2 con unas temperaturas y humedades relativas como las siguientes:

D2	Ene.	Feb.	Marzo	Abril	Mayo	Jun.	Jul.	Ago.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
Tmedia	4.1	6.1	8.1	9.9	13.3	18.0	21.5	21.3	18.6	12.9	7.6	4.8
HRmedia	82	72	62	61	57	52	44	46	53	67	77	83

[Figura 50]. Tabla temperaturas medias y humedades relativas zona D2.
Fuente: Elaboración propia y datos obtenidos del Código Técnico de la Edificación, en su Documento Básico de Ahorro Energético (DB-HE-CTE)

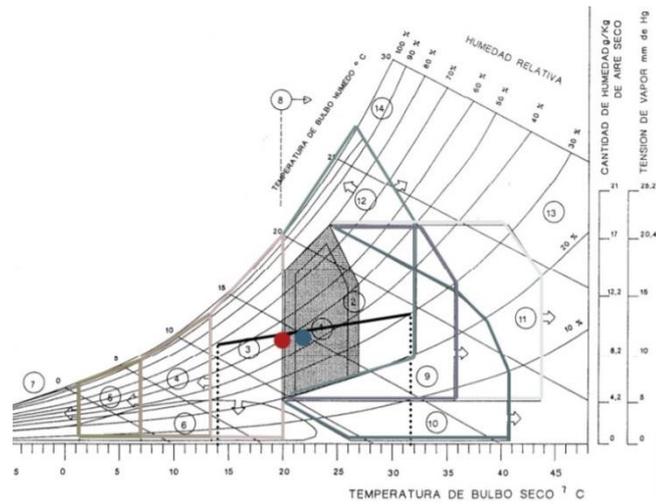
En la situación de invierno, la temperatura media se encuentra en 5°C y humedad relativa en 79%. Estas condiciones sitúan el punto inicial en la zona ⑤ y para mejorar el bienestar es necesario utilizar todos los recursos de calefacción: calefacción convencional, captando el máximo la radiación solar (zonas ③ y ④), incluso calefacción con ganancias internas.



[Figura 51]. Diagrama de Givoni en condiciones de invierno. Clima continental.

Fuente: *Elaboración propia.*

En los meses más calurosos del año la temperatura media es de 20,46°C y la humedad relativa de 47,6%. La protección solar se convierte en un factor clave en el transcurso de los meses de verano. Si se utiliza la vegetación de hoja caduca se consigue el objetivo antes buscado durante el invierno. Por ser una zona interior seca, puede ser conveniente algunos días utilizar humidificadores con el fin de reducir la sequedad del ambiente y de la piel.



[Figura 52]. Diagrama de Givoni en condiciones de verano. Clima continental.

Fuente: *Elaboración propia.*

La masa térmica tiene gran importancia en este tipo de clima debido a sus diferencias de temperatura es recomendable resguardarse del calor en verano y del frío en invierno y una elevada masa atenúa esas diferencias en el interior del local.

El clima continental requiere en la construcción materiales de elevada inercia térmica para que se almacene energía en su masa. Incluir sistemas de aislamiento por el exterior facilita el alcance de la zona de confort sin necesidad de utilizar en muchos casos sistemas de aire acondicionado. Con las altas temperaturas y la escasa humedad, el local se situaría en condiciones de zonas ⑨, ⑩ u ⑪, pero con una buena construcción del edificio se puede evitar llegar a la zona ⑬ y así reducir el gasto energético contribuyendo al cuidado del medio ambiente.

La refrigeración se puede conseguir también a través de la ventilación natural si se realiza cuando las temperaturas exteriores desciendan, por ejemplo durante la noche. Además, si se utiliza vegetación exterior, cubierta vegetal o elementos de agua que humidifiquen el ambiente se aumenta la humedad relativa y con ella el confort.

4.3.3. CLIMA OCEÁNIO (A CORUÑA)

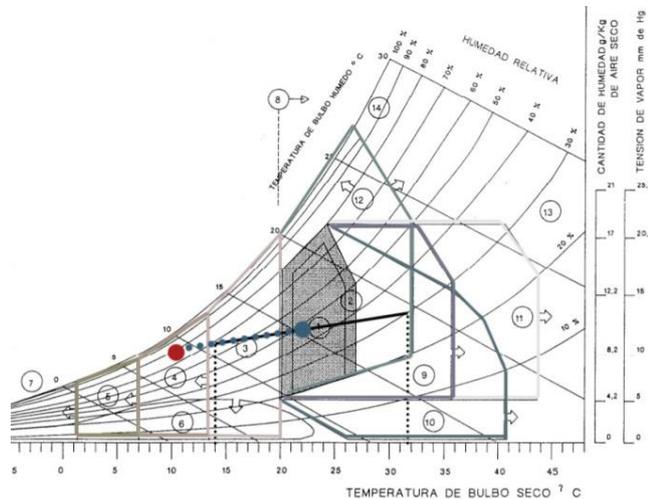
El clima oceánico se caracteriza por tener temperaturas bajas durante casi todo el año, veranos templados e inviernos húmedos. Las zonas del norte de la península poseen estas características ambientales que disfrutan de las temperaturas de montaña y del mar atenuante al mismo tiempo.

A Coruña se encuentra en la zona geográfica C1 cuyos datos son:

C1	Ene.	Feb.	Marzo	Abril	Mayo	Jun.	Jul.	Ago.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
Tmedia	10.2	10.5	11.3	12.1	14.1	16.4	18.4	18.9	18.1	15.7	12.7	10.9
HRmedia	77	76	74	76	78	79	79	79	79	79	79	78

[Figura 53]. Tabla temperaturas medias y humedades relativas zona C1.
 Fuente: *Elaboración propia* y datos obtenidos del Código Técnico de la Edificación, en su Documento Básico de Ahorro Energético (DB-HE-CTE)

Las temperaturas medias en invierno son de 10,53°C y la humedad relativa es de 77% por lo que la situación inicial se encuentra en la zona ④. Para alcanzar la zona de confort es necesario conseguir el máximo calentamiento solar y la mínima humificación, que no será necesaria en ninguna de las estaciones del año. Tampoco lo será la protección solar en invierno ya se no se sobrepasa en ningún momento la zona ⑧.

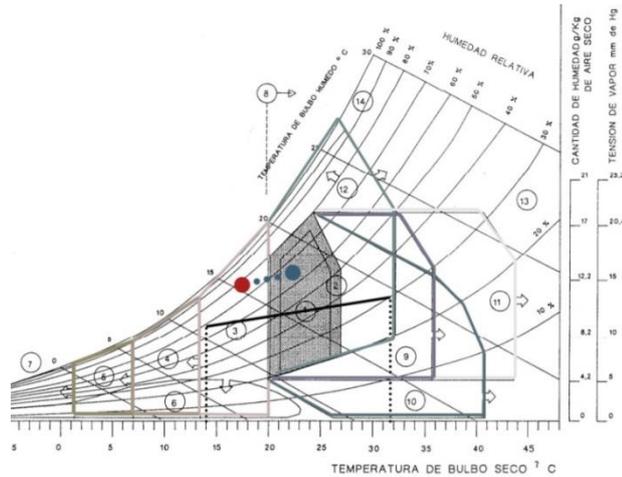


[Figura 54]. Diagrama de Givoni en condiciones de invierno. Clima oceánico.

Fuente: *Elaboración propia*.

Los materiales también cobran importancia, ya que los aislantes permiten una escasa entrada de humedad y suponen ahorro energético al no escaparse el calor interior.

En los meses calurosos la humedad relativa no varía demasiado, siendo de un 79% y las temperaturas medias de 18,4°C. Se está cerca del área de confort de las zonas ① y ②, y por ello no es necesario aumentar la humedad relativa ya que son zonas costeras frías. Simplemente bastaría con elevar la temperatura mediante una captación solar durante las horas del día. La refrigeración por tanto es mínima y no sería adecuado el uso de protección solar con toldos o parasoles.



[Figura 55]. Diagrama de Givoni en condiciones de verano. Clima oceánico.

Fuente: *Elaboración propia.*

Cabe añadir que el diagrama es una herramienta que expone de manera general el clima de un lugar y muestra un primer acercamiento sobre qué debería ofrecer un edificio en términos bioclimáticos. Dependiendo de las condiciones de la parcela o de la sensación térmica corporal de cada persona se requerirán unas modificaciones u otras para conseguir el confort térmico.

4.3.4. MURO TROMBE EN LOS DIFERENTES CLIMAS

Entre todos los sistemas pasivos de la arquitectura, el muro Trombe es el más recomendable para estancias que se usen tanto durante el día como durante la noche, por lo que es apropiado por ejemplo para edificios residenciales, y más concretamente en estancias como dormitorios o zonas de estar.

En edificios que tengan un uso no regular, tales como edificaciones de fines administrativos o escolares, que solo se utilizan durante el día, se deberá incluir el sistema de muro Trombe si la construcción tiene muros con espesores reducidos.

Con cerramientos de aproximadamente 15 cm, se permite el rápido calentamiento de estos, que ceden el calor al interior en un espacio pequeño de tiempo.

En los pocos casos donde los sistemas de ganancia interna deben evitarse es en los edificios que se utilizan de manera esporádica, como teatros, auditorios, salas de reunión...

En general, el sistema se podría emplear en todo tipo de climas pero es más conveniente en unas zonas geográficas que en otras.

Para analizar esta solución pasiva de la arquitectura en las diferentes partes de España, se ha utilizado como base el diagrama de Givoni, con el cual se sintetizarán las soluciones más idóneas para alcanzar la zona de confort.

Las condiciones hipotéticas de temperatura y humedad se estudiarán en los tres climas elegidos, (mediterráneo, continental y oceánico), de forma que permita examinar las ventajas e inconvenientes de su uso y sus posibles mejoras.

(a) Valencia (clima mediterráneo)

La escasa diferencia de temperaturas en el clima mediterráneo hace que las aberturas del muro no sean estrictamente indispensables porque la calefacción no es tan necesaria en esas horas como puede suponerse en un clima continental de interior.

Para asegurar que existe una convección constante y uniforme, deben calcularse también las dimensiones de las aberturas. Para ello, no existe como tal una fórmula que permita hallarlo pero su área debe ser suficiente para garantizar dicho flujo sin que se produzcan movimientos bruscos en la circulación del aire. Se toma aproximadamente $0,01 \text{ m}^2$ por cada metro cuadrado de muro.

Según las observaciones de otros edificios que utilizan este sistema pasivo, cabe destacar que en muros de hormigón y ladrillo, los más comunes, se usan

espesores de entre 30 - 40 cm y 25 – 35 cm respectivamente. Mientras que, un material como el adobe, solo necesita muro de entre 20 y 30 cm de espesor.

La conductividad térmica de los materiales es clave para determinar el grosor. Un muro con una alta conductividad transfiere de manera más rápida el calor desde el exterior hacia el interior. Por tanto, para que el calor se desprenda justo en el momento adecuado y cuando vaya a ser requerido (por la noche) se debe sobredimensionar el muro. Por el contrario, si el muro posee una conductividad baja será necesario que el grosor disminuya.

Con estas conclusiones parece evidente lo trascendente que es el material con el que se construya el muro y el color que este tenga hacia el exterior, ya que una pared oscura capta de mayor manera la energía solar obteniéndose un mayor rendimiento. Además, los materiales pesados como hormigón, ladrillo o piedra, absorben y acumulan mejor la energía. Por el contrario, los materiales más ligeros como el aislante tienen una baja capacidad de almacenamiento.

Lo más apropiado es elegir materiales tradicionales como los mencionados anteriormente o sus alternativas actuales como pueden ser el caucho sintético, que se asemeja al caucho natural y que tiene alta resistencia a la abrasión, desgarró y flexión y con permeabilidad a los gases.

El vidrio también consta de su importancia en el sistema y aunque existen diversos tipos de acristalamiento, algunos están más orientados al ahorro energético. Dependiendo de la capacidad de reflejar, transmitir o absorber la energía, los vidrios son más o menos convenientes para el sistema. Un vidrio adecuado debe tener una alta resistividad, que representa la capacidad de los materiales para oponerse al paso de calor y es la inversa de la conductividad térmica.

El calor debe ser retenido en la cámara de aire por lo que el vidrio totalmente transparente deberá tener también baja emisividad para que la radiación de onda corta atraviese el muro y la de onda larga se conserve en el interior.

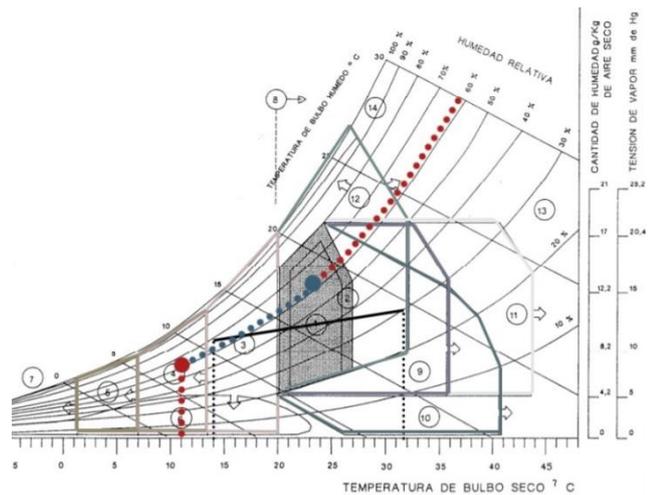
En el caso de los meses de invierno, si se proyecta la estancia con el muro combinado con ventanas, se aprovecha también la energía proveniente del sol durante el día.

De esta manera y una distribución diáfana interior se consigue confort térmico sin necesidad de calefacción.

El muro necesita transmitir a lo largo del día la suficiente energía térmica como para que en el interior se consiga una temperatura media de entre 18 y 22°C.

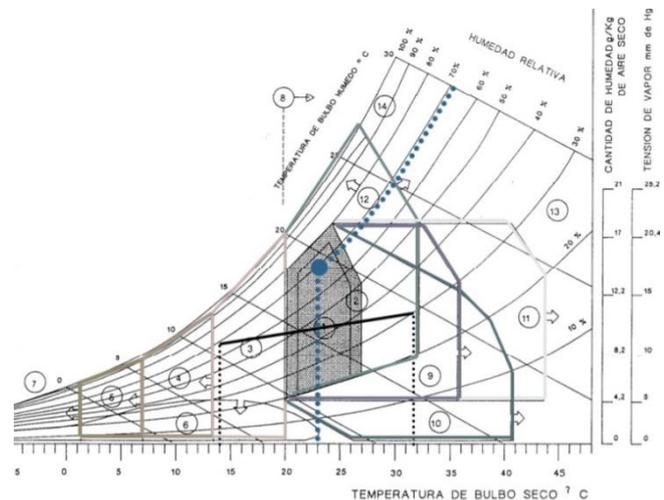
Según el diagrama de Givoni se debería modificar varios elementos, como la regulación de la ganancia y protección solar, humidificación y cantidad de masa térmica.

En verano, sin embargo, teniendo en cuenta las temperaturas y las humedades relativas medias, se alcanzaría la zona de confort sin necesidad de aumentar el calentamiento solar, tanto activo como pasivo.



[Figura 56]. Diagrama de Givoni en condiciones de invierno.

Fuente: *Elaboración propia.*



[Figura 57]. Diagrama de Givoni en condiciones de verano.

Fuente: *Elaboración propia.*

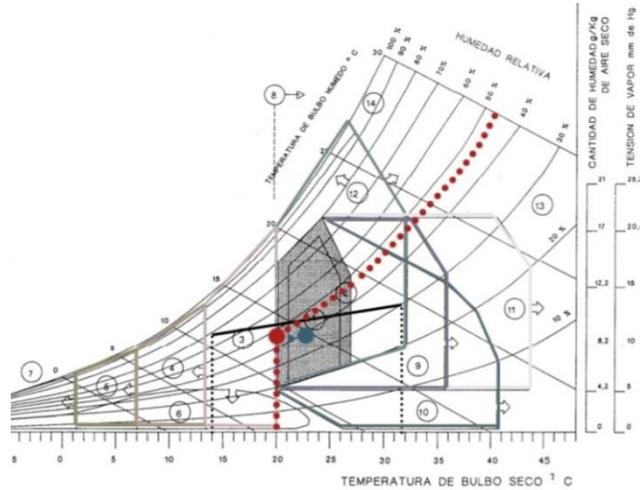
(b) Valladolid (clima continental)

Sin modificar la humedad relativa no se podría alcanzar la zona de confort por lo que el muro Trombe no satisfaría las necesidades de bienestar ya que solo modifica las temperaturas.

Para alcanzar una situación óptima se debería modificar primero la temperatura, aumentándola y disminuyendo a la vez la humedad relativa.

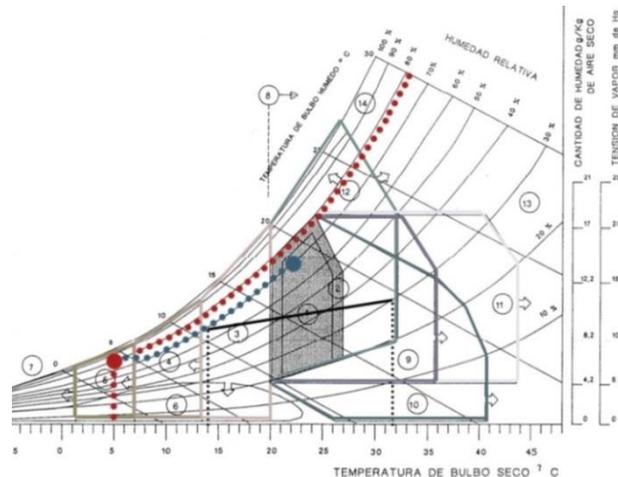
Se alcanzaría la zona de confort al límite por lo que para las personas que normalmente tengan una sensación térmica inferior a la común entre los demás individuos se debería aumentar la temperatura.

En el ejemplo del invierno, el muro opaco del sistema deberá ser de materiales con una elevada masa térmica, ya que estos aprovechan los aportes de calor diurnos y lo expulsan al interior durante la noche debido al retraso térmico del material (unas 8 – 12 horas).



[Figura 58]. Diagrama de Givoni en condiciones de invierno.

Fuente: *Elaboración propia.*



[Figura 59]. Diagrama de Givoni en condiciones de verano.

Fuente: *Elaboración propia.*

Además, la eficacia es mayor ya que el muro ha descargado durante la noche la energía que contenía y por tanto, al día siguiente es capaz de captar de nuevo el aporte calorífico de la radiación solar. Todo ello se debe acompañar de una buena ventilación natural durante la noche.

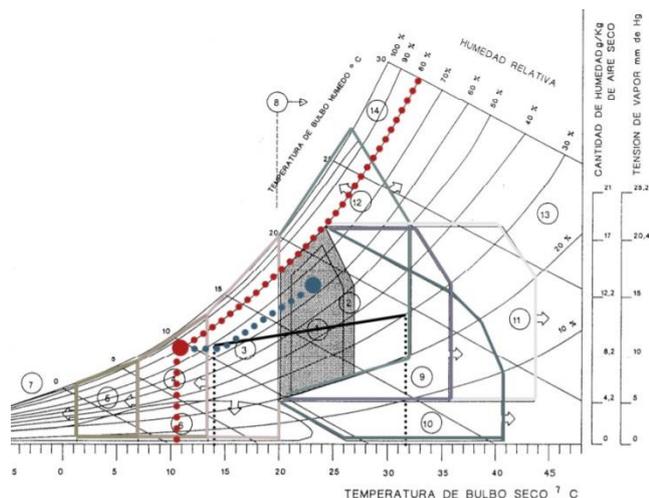
(c) A Coruña (clima oceánico)

Es evidente que en estas áreas geográficas, el sol no índice las mismas horas ni con la misma fuerza que en otros lugares, por lo que a priori, el sistema de muro Trombe puede parecer menos eficaz. Sin embargo, se pueden modificar parámetros y características en los materiales que hagan de este sistema pasivo, un aliado en la reducción de energía.

En esta zona climática es muy importante el tipo de vidrio, para que permita la máxima entrada de radiación posible. Además no debe dejar escapar el calor del muro haciendo que el sistema funcione satisfactoriamente.

Las temperaturas medias en invierno son de 10,53°C y la humedad relativa es de 77%. Estas son condiciones demasiado frías y de larga duración como para que el muro Trombe tenga un efecto directo en la estancia. Por el día se necesitaría más radiación solar para que por la noche se pudiera desprender la suficiente energía como para no hacer uso de calefacción por medios mecánicos.

Como se observa en el trayecto azul de la figura 60 lo importante es aumentar la sensación térmica y no la humedad, por lo que las aberturas del muro Trombe no serían indispensables, ya que, aunque las temperaturas no sean muy altas, la diferencia entre ellas tanto e invierno como en verano es escasa.



[Figura 60]. Diagrama de Givoni en condiciones de invierno.

Fuente: *Elaboración propia.*

5. CONCLUSIONES

A través de lo expuesto en este Trabajo de Fin de Grado se puede colegir cómo los sistemas bioclimáticos influyen en el diseño de los edificios y la forma en la que los antepasados, con recursos no tan tecnológicos, han conseguido desarrollar tácticas que sirven de precedente para estudios actuales.

Como menciono en mi introducción el bienestar humano es considerado como uno de los factores más importantes para la sociedad, pero en muchos casos, cobra más o menos importancia dependiendo de la situación geográfica. El alcance del bienestar puede realizarse de distintas formas pero es necesario tener en cuenta el cuidado del medio ambiente y ser responsables con la sostenibilidad del planeta.

En el trabajo se ha tratado de sintetizar las diferentes herramientas que nos permiten entender cómo funciona hoy en día la arquitectura bioclimática. Los diagramas son los encargados de analizar las condiciones climáticas de un lugar en cuanto a su temperatura y humedad relativa, y con dichos datos, hemos encontrado las soluciones más pertinentes para alcanzar la zona de confort.

A parte de los parámetros más desarrollados en el trabajo como son los que integran el diagrama de Givoni, se estudia en profundidad uno de los sistemas más completos y sostenibles, el muro Trombe. A través de este sistema se puede entender cómo influye el clima de una zona en relación a los materiales utilizados teniendo en cuenta factores como la masa térmica, el calentamiento solar o la ventilación.

Se ha profundizado en el estudio de diseños arquitectónicos, desde los más primitivos, que aprovechan técnicas variadas, como contemporáneos, que se basan en los anteriores y consiguen resultados más sostenibles. Analizar ejemplos ayuda a comprender el funcionamiento de otros sistemas y a interpretar su eficacia según la zona geográfica donde se lleven a cabo.

El clima de un lugar es uno de los factores más importantes para entender el funcionamiento de los parámetros que rigen cómo ha de ser el diseño de un edificio. En todo el trabajo me he centrado en tres de los más importantes climas de la península, porque según sean cálidos, templados o fríos será adecuado utilizar unas técnicas u otras.

En las zonas de clima mediterráneo, aunque la zona de confort se alcance en diversos puntos del año sin necesidad de modificar muchos parámetros, es necesario pensar en el uso de materiales y de aislantes que no permitan escapar el calor, sin olvidar recursos tan naturales como la propia vegetación.

En climas secos como el continental de interior resulta indispensable la ventilación y la humidificación para alcanzar el bienestar. En los meses más calurosos sobre todo, el diseño debe adaptarse para evitar el masivo calentamiento solar que irradia sobre la meseta peninsular.

En el litoral norte, cuyas condiciones climáticas son húmedas, la protección solar no es necesaria pero sí la captación solar tanto pasiva como activa así como la masa térmica del edificio, que influye en las condiciones interiores de la estancia.

Describiendo las estrategias bioclimáticas arquitectónicas empleadas en la arquitectura y analizando las existentes según las condiciones climáticas de España, se es capaz de analizar soluciones efectivas aplicadas a nuevos proyectos.

En lo que se refiere a la intención original de mi trabajo sobre los sistemas bioclimáticos en España, concluyo que es necesario tener en cuenta todos los factores que formalizan una solución final a la hora de proyectar un edificio bioclimático. El futuro de la arquitectura, a mi parecer, es un futuro sostenible, preocupado por el confort de las personas y cuidadoso con el planeta, por lo que la arquitectura debe ser partícipe y responsable de alcanzar los objetivos sostenibles.

6. BIBLIOGRAFÍA

LIBROS

- GUYOT, A., IZARD, J.L., (1980) Publicado por GILL, G., *Arquitectura bioclimática*. Ed. Construcción alternativa.
- JONES, D.LL., CANO CAMARASA, R., (2002) *Arquitectura y entorno: El diseño de la construcción bioclimática*. Ed. BLUME
- NEILA GONZÁLEZ, F.J., (2004) *Arquitectura bioclimática en un entorno sostenible*. Ed. Munilla – Leria
- NEILA GONZÁLEZ, F.J. (2013) *Acondicionamiento ambiental y habitabilidad del espacio arquitectónico*. Ed. Munilla – Leria
- OLGAYAY, V. (1998) *Arquitectura y clima. Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas*. Ed. Gustavo Gili S.A.
- PIESIK, S., (2017) *HÁBITAT. Arquitectura vernácula para un planeta cambiante*. Ed. BLUME.
- RODRIGUEZ, M., FIGUEROA CASTREJÓN A., FUENTES FREIXANET, V., CASTOREJONA ESPINOSA, G., (2005) *Introducción a la arquitectura bioclimática*. Ed. Limusa SA
- WRIGHT, D. (2008). *The Passive Solar Primer. Sustainable Architecture*. Ed. Schiffer.

TEXTOS PERIODÍSTICOS ELECTRÓNICOS

- Barranco, O. (2015). “La arquitectura bioclimática” Módulo Arquitectura CUC, Vol.14 N°2 31-40.
<https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:NPo4t072D5sj:https://revistascientificas.cuc.edu.co/moduloarquitecturacuc/article/download/733/pdf_77/+&cd=1&hl=en&ct=clnk&gl=es> [Consulta 05/07/2019]

- Calavia, Á. R. (2016). “La arquitectura bioclimática”
Revistascientificas.Cuc.Edu.Co.
<<http://revistascientificas.cuc.edu.co/index.php/moduloarquitecturacuc/article/view/733>> [Consulta 04/07/2019]
- Carballeira, I. G. (2017). “Arquitectura de tierra contemporánea: tendencias y desafíos”. *Revistas.Javeriana.Edu.Co.*
<<https://revistas.javeriana.edu.co/index.php/revApuntesArq/article/view/8989>> [Consulta 05/07/2019]
- Zafra Pinacho, D. (2012) “Antología del diseño arquitectónico sustentable”
<https://issuu.com/marcoax/docs/antolog_a_dise_oarquitect_nico_sustentable> [Consulta 05/07/2019]

PÁGINAS WEB

- A.R.Q.A., Casa Bioclimática GG, en Barcelona.
<<https://arqa.com/arquitectura/casa-bioclimatica-gg-en-barcelona.html/>>
[Consulta 16/07/2019].
- ÁNGEL SÁNCHEZ INOCENCIO – INGENIERO DE EDIFICACIÓN, *Diferencias entre un muro Trombe y un muro Parietodinámico.*
<<https://angelsinocencio.com/diferencias-entre-un-muro-trombe-y-parietodinamico/>> [Consulta 16/07/2019].
- ARCH DAILY, *En Detalle: Muro Trombe*
<<https://www.archdaily.mx/mx/02-68622/en-detalle-muro-trombe>>
[Consulta 16/07/2019].
- ARQUITECTURA SOSTENIBLE, *Cinco casas ecológicas de España.*
<<https://arquitectura-sostenible.es/5-casas-ecologicas-de-espana/>>
[Consulta 16/07/2019].
- ARQUITECTURA SOSTENIBLE, *Cuatro ejemplos de arquitectura bioclimática en España.*
<<https://arquitectura-sostenible.es/4-ejemplos-de-arquitectura-bioclimatica-en-espana/>> [Consulta 16/07/2019].

- ARQUITECTURA + ACERO, LIBERTAD & DISEÑO, *Diseño pasivo, envolvente térmica.*
<<http://www.arquitecturaenacero.org/sustentable/disenio-pasivo-envolvente-termica>> [Consulta 10/09/2019].
- CERTIFICADOS ENERGÉTICOS, *La inercia térmica en la construcción de edificios eficientes.*
<<https://www.certificadosenergeticos.com/inercia-termica-construccion-edificios-eficientes>> [Consulta 16/07/2019].
- CONSTRUIBLE, *Casa Bioclimática Sotavento.*
<<https://www.construible.es/2007/06/17/casa-bioclimatica-sotavento>> [Consulta 16/07/2019].
- CONSTRUIBLE, *Edificio EREN.*
<<https://www.construible.es/2007/08/12/edificio-eren>> [Consulta 16/07/2019].
- ECOHABITAR, *Arquitectura bioclimática, conceptos y técnicas.*
<<http://www.ecohabitar.org/conceptos-y-tecnicas-de-la-arquitectura-bioclimatica-2/>> [Consulta 16/07/2019].
- ENERGY NEWS, *El edificio bioclimático del Ente Regional de la Energía de Castilla y León implantará un sistema de gestión energética.*
<<https://www.energynews.es/el-edificio-bioclimatico-del-ente-regional-de-la-energia-de-castilla-y-leon-implantara-un-sistema-de-gestion-energetica/>> [Consulta 16/07/2019].
- IES JUAN CARLOS PRIMERO, *Tipos de clima en España.*
<http://ies.juancarlosprimero.ciempozuelos.educa.madrid.org/departamentos/gh/recursos/geografia/indice/temario/2_climas/4.-Tipos_de_climas_en_espana.pdf> [Consulta 16/07/2019].
- INGENIEROS Y ARQUITECTOS ZIGURAT, *Arquitectura solar pasiva: invernaderos, muros Trombe y muros Parietodinámicos.*
<<https://www.e-zigurat.com/blog/es/arquitectura-solar-pasiva-invernaderos-muros-trombe-muros-parietodinamicos/>> [Cta. 16/07/2019].

- META 2020 ARQUITECTOS, *Arquitectura bioclimática*.
<<https://www.meta2020arquitectos.com/arquitectura-bioclimatica/>>
[Consulta 16/07/2019].
- OVACEN, *Arquitectura climática, principios esenciales*.
<<https://ovacen.com/arquitectura-bioclimatica-principios-esenciales/>>
[Consulta 16/07/2019].
- PARQUE EÓLICO EXPERIMENTAL SOTAVENTO, *Instalaciones renovables, Vivienda Bioclimática*.
<<http://www.sotaventogalicia.com/es/area-tecnica/instalaciones-renovables/vivienda-bioclimatica>> [Consulta 16/07/2019].
- PEDRO J. HERNÁNDEZ ARQUITECTURA Y DISEÑO, Diagrama Bioclimático de Olgyay.
<<https://pedrojhernandez.com/2014/03/03/diagrama-bioclimatico-de-olgyay/>> [Consulta 23/08/2019].
- PRO EMPLEO INGENIEROS, *Aprovechamiento energético de los molinos de viento tradicionales de las Islas Canarias*.
<<http://www.tecnicaindustrial.es/TIFrontal/a-8921-aprovechamiento-energetico-molinos-viento-tradicionales-islas-canarias.aspx>>
- SIMULACIONES Y PROYECTOS, *Estrategias de diseño bioclimático según el clima existente*.
<<https://www.simulacionesyproyectos.com/blog-ingenieria-arquitectura/estrategias-de-diseno-bioclimatico/>> [Consulta 16/07/2019].
- SOLDEVILA, *Casa Bioclimática GG*,
<http://www.soldevila.es/proyectos/pdf/proyectos/2014/bioclimatica/Soldevila_casa_bioclimatica.pdf> [Consulta 16/07/2019].
- SUSTENTABLE Y SOSTENIBLE, *Los diagramas bioclimáticos*.
<<https://blog.deltoroantunez.com/2018/12/los-diagramas-bioclimaticos.html>> [Consulta 23/08/2019].
- WIKI EQI, *Conceptos físicos en construcción sostenible 3*.
<https://www.eoi.es/wiki/index.php/Conceptos_F%C3%ADsicos_en_Construcci%C3%B3n_sostenible_3> [Consulta 23/08/2019].

TESIS DOCTORAL

- ARAUZA FRANCO, M. (2010) *Adecuación de los triángulos de confort, para las condiciones climatológicas dominantes en la república Mexicana*. Tesis. México: Universidad Autónoma Metropolitana de México
<http://zaloamati.azc.uam.mx/bitstream/handle/11191/5541/Educacion_triángulos_confort_Arauza_2010_MAB.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
[Consulta 25/08/2019]

VÍDEOS DE INTERNET

- YOUTUBE, “Muro Trombe - Col·legi Sagrada Família PJO (Valencia)”
en youtube <<https://www.youtube.com/watch?v=TCsf7kG4Nyg>>
[Consulta 10/08/2019]
- YOUTUBE, “Muro Trombe Movie”
en youtube <<https://www.youtube.com/watch?v=Fn7T5zYM71s>>
[Consulta 10/08/2019]