



MCAS - Máster en Ciudad y Arquitectura Sostenibles

Escuela Técnica Superior de Arquitectura

ARQUITECTURA VERNÁCULA AFRICANA

**Directrices para la implementación de estrategias bioclimáticas
para el Solar Decathlon África**

Trabajo Fin de Máster

**Autor: Diogo Luiz Chagas Santos
M.Arch. Medio Ambiente y Arquitectura Bioclimática**



Escuela Técnica Superior de Arquitectura

MCAS – Máster en Ciudad y Arquitectura Sostenibles

Arquitectura Vernácula Africana

**Directrices para la implementación de estrategias bioclimáticas para el
Solar Decathlon África**

Trabajo Fin de Máster

Arq. Diogo Luiz Chagas Santos

Tutor

Rafael Herrera-Limones

2020

**Arquitectura Vernácula Africana. Directrices para la implementación de
Estrategias Bioclimáticas para el Solar Decathlon África**

Trabajo Fin de Máster presentado a la Escuela
Técnica Superior de Arquitectura de la Universidad
de Sevilla como requisito parcial para la obtención
del título Máster en Ciudad y Arquitectura
Sostenibles.

Tutor: **Rafael Herrera-Limones**

España

2020

El control del entorno y la creación de condiciones adecuadas a sus necesidades y al desarrollo de sus actividades son cuestiones que [la humanidad] se ha planteado desde sus orígenes.

Victor Olgyay

RESUMEN

En el presente trabajo se investigarán las estrategias bioclimáticas y los materiales más adecuados para utilización en las futuras ediciones de Solar Decathlon en África, llevándose en consideración que la primera edición ocurrió en el año de 2019, en la Ciudad de Ben Guerir.

La ciudad anfitriona del evento está ubicada en Marruecos, que es un país de clima predominantemente cálido-seco. No obstante, en el local del evento que ocurrió en 2019, el clima es semiárido frío, aunque casi siempre se observan características muy similares al clima cálido-seco, de forma general, teniendo veranos muy calurosos e inviernos más fríos que el normal para la región.

Teniendo en cuenta que la competición podrá ocurrir en una franja climática diferente en las próximas ediciones, serán estudiadas y expuestos los climas predominantes en el continente e las estrategias más adecuadas para cada uno, incluyendo a Ben Guerir, como forma de ejemplificación del proceso, realizando un análisis de las estrategias para condiciones de verano e invierno, tal como analizar las estrategias y materiales utilizados por la arquitectura vernácula en África, que pueden ser utilizadas, de igual manera, en otras regiones del continente.

La idea central es generar un documento que pueda servir como base para los avances del equipo Solar Decathlon África de la Universidad de Sevilla.

Palabras Clave: Solar Decathlon África, Estrategias bioclimáticas.

RESUMO

No presente trabalho serão investigadas as estratégias bioclimáticas que poderão ser implantadas nas edições do Solar Decathlon África, levando-se em consideração que a primeira edição ocorreu no ano de 2019, na cidade de Ben Guerir.

A cidade anfitriã do evento está localizada no Marrocos. Apesar da predominância do clima quente e seco no território de este país, o local do evento possui clima semiárido frio, mas que mantém as características do clima predominante de forma geral, com verões quentes e invernos mais frios que o normal, o que cria o cenário ideal para o estudo das estratégias que possam ser implantadas nas condições de verão e inverno. Por isso, será dada atenção especial às estratégias bioclimáticas que se deve adotar em uma residência para alcançar o conforto dos seus usuários.

Tendo em conta que a competição poderá ocorrer em uma zona climática diferente nas próximas edições, serão estudadas e expostas as estratégias mais adequadas para a latitude e a longitude de Ben Guerir, como forma de exemplificar o processo, realizando análises das estratégias para condições de verão e inverno que possam atender às necessidades de Ben Guerir, assim como a exposição e análise dos materiais utilizados pela arquitetura vernácula na África, que podem ser utilizadas, de igual maneira, em outras regiões do continente.

A ideia principal é gerar um documento que possa servir como base para a equipe Solar Decathlon África da Universidade de Sevilha.

Palavras-Chave: Solar Decathlon África, Estratégias Bioclimáticas.

ÍNDICE

Introducción.....	8
1. Antecedentes Históricos – Contextualización.....	13
1.1. ¿Qué es la Arquitectura Vernácula?	13
1.2. Arquitectura Vernácula Africana.....	13
1.3. La Relación con la Técnica.....	14
1.4. Ejemplos de la Arquitectura Vernácula Africana	15
2. Estado de la cuestión.....	19
2.1. Solar Decathlon África: ¿Qué es y cómo funciona?.....	19
2.2. Contexto Geográfico.....	24
2.3. Zonas climáticas	26
3. CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA.....	31
3.1. Parámetros Básicos	31
3.2. Análisis Psicométrico - Diagrama de Bienestar de Givoni.....	35
3.3. Gráfico de Isopleas	44
3.4. Geometría Solar	47
3.5. Régimen de Vientos.....	50
3.6. Precipitación	52
4. PRINCIPALES ESTRATEGIAS BIOCLIMATICAS PARA BEN GUERIR.....	54
4.1. Diseño Bioclimático – Orientaciones Solares Óptimas – Ganancias Solares:	54
4.2. Protecciones Solares:	56
4.3. Ganancias Internas:.....	57
4.4. Ventilación Natural:.....	58
4.5. Masa Térmica:	60
4.6. Vegetación para Protección de Fachadas:.....	61
4.7. Aislamiento Exterior:.....	62
5. CONSIDERACIONES SOBRE EL DISEÑO BIOCLIMÁTICO EN CONDICIONES DE VERANO	64
5.1. Huecos	64
5.2. Cubiertas	67
5.3. Paredes	69
5.4. Reducción de la Sensación de Calor.....	71
6. CONSIDERACIONES SOBRE EL DISEÑO BIOCLIMÁTICO EN CONDICIONES DE INVIERNO	73
6.1. Captación Directa	73

6.2.	Captación Directa con Lazo Convectivo	73
6.3.	Captación Retardada por Acumulación	75
6.4.	Captación Directa con Acumulación y Lazo Convectivo.....	75
7.	MATERIALES AUTÓCTONOS DE LA REGIÓN.....	77
7.1.	Tierra.....	77
7.1.1.	Técnica: Adobe	77
7.1.2.	Técnica: Tapial.....	81
7.2.	Paja.....	83
7.3.	Piedra	85
7.4.	Madera	86
8.	CONCLUSIÓN	88
	BIBLIOGRAFÍA	93
	ANEXO 1 – Sobre el Solar Decathlon África 2019	98
	ANEXO 2 – Análisis de los Prototipos Ganadores	117

Introducción

La Esencia de Habitar

Para el ser humano su vivienda es el centro de su universo, donde encuentra o debería encontrar paz y armonía. Es desde este espacio que el hombre se ubica y observa el exterior.

Pero es importante mencionar que existen muchas formas de viviendas en el mundo, no solo se puede considerar como una vivienda una casa o un apartamento, sino también todo espacio que esté habitado por alguien sea individualmente o en conjunto, como por ejemplo una habitación alquilada, los cuarteles generales, los albergues de estudiantes, las celdas conventuales, etc.

La arquitectura de una vivienda, siendo el universo de sus habitantes, debe de ser adecuada a las necesidades de estos, abarcando las demandas de bienestar y confort que sus usuarios deben sentir.

Hoy en día es importante que el arquitecto, cuando proyecte una vivienda, se mantenga preocupado con la salud, la seguridad y la habitabilidad de las personas que serán los protagonistas de la creación, más o menos lo que ocurría antiguamente con la arquitectura popular, pero en un nivel más primitivo y menos tecnológico.

La arquitectura vernácula de cada región del mundo tenía sus particularidades y nada era proyectado sin que tuviese una explicación. La forma, los huecos y los materiales siempre estuvieron pensados para que funcionasen bien dependiendo del clima, la vegetación y el régimen de lluvias de determinada región.

Lo que se puede extraer de la arquitectura vernácula al redor del mundo es como hacer frente a las particularidades del local y por eso el aprendizaje sigue valiendo.

Para esto, se hace menester profundizar el estudio en el ámbito del clima de la región en análisis, generando así, un documento que sea capaz de guiar y orientar a respeto de la aplicación de conceptos de arquitectura bioclimática en la competición de Solar Decathlon África, tomando como referencia la propia arquitectura vernácula africana.

La Competición

El concurso de Solar Decathlon es una competición organizada por el Departamento de Energía de los Estados Unidos de América con competencia académica a nivel internacional para el desarrollo de viviendas unifamiliares autosuficientes, donde alumnos son responsables por diseñar y construir un prototipo en una especie de villa solar con el intuito de someterlo a diversas pruebas, en concreto, diez.¹

La primera edición del concurso fue realizada en la ciudad de Washington en Estados Unidos y contó con la participación de catorce universidades americanas en el año de 2002.

El evento tuvo mucho éxito y en el año siguiente fue realizada nueva convocatoria para la realización de nueva edición en el año de 2005, que, de esta vez, contó con la participación de 18 universidades americanas de Estados Unidos, Canadá y Puerto Rico, además de la participación de la primera universidad no americana, la Universidad Politécnica de Madrid.

En el año de 2007, además de la Universidad Politécnica de Madrid, se sumó la Universidad alemana de Darmstadt, que fue la ganadora del concurso de esta edición.

La quinta edición de la competición se realizó, por primera vez, fuera de territorio americano, en Madrid, y contó con la participación de universidades de tres continentes, incluyendo la Universidad de Sevilla, como su primera participación.

La sexta edición vuelve a ser realizada en Estados Unidos, en Washington, y cuenta con la participación de universidades de Estados Unidos, Canadá, Nueva Zelanda, Bélgica y China.

La séptima edición, en el año de 2012, vuelve a suelo europeo, una vez más en Madrid, con universidades de cuatro continentes, incluyendo, por segunda vez en la competición, la Universidad de Sevilla, que de esta vez alcanza el segundo puesto en el ranking general.

En 2015, los alumnos de la Universidad de Sevilla unieron fuerzas con alumnos de la Universidad de Santiago de Cali, en Colombia, para participaren de la edición de

¹ Información extraída de: <https://www.solardecathlon.gov/>. Acceso en octubre de 2020.

Latinoamérica y Caribe (SD-LAC), que estaba estrenando en este año en la ciudad de Cali. En esta oportunidad, el proyecto desarrollado por los estudiantes de la Universidad de Sevilla logró alcanzar el tercer puesto en el ranking general, ganando el primer puesto en cuatro de las diez pruebas. En esta edición, diversas universidades de distintos países pudieron participar, como, por ejemplo: Colombia, México, Perú, Bolivia, Panamá, Chile, Uruguay, etc.

Con todo lo que fue expuesto, se nota un gran crecimiento de la competición a nivel internacional y cada vez más se despierta el interés por parte de los alumnos en el mundo por este tema, que viene ganando fuerza cada año.

En el año de 2019 otras tres competiciones se realizaron y los escenarios elegidos fueron: Europa (Hungría-junio), África (Marruecos-septiembre) y América (Colombia-diciembre). La edición africana ha sido la primera del continente y de ahí surgió la inspiración del tema.

Justificación

Ante todo lo que fue expuesto, se puede observar la importancia de este estudio de investigación, puesto que por primera vez la competición se realizó en África y, por tratarse de un clima distinto a los demás con exigencias proyectuales diferentes de las experiencias anteriores, se hace menester desarrollar un trabajo de investigación que di respecto a las estrategias bioclimáticas que pueden ser implementadas en la competición para el clima de la región africana, nunca antes experimentado por los equipos de la Universidad de Sevilla.

Por esto, el tema propuesto visa adelantar la Universidad de Sevilla en el ámbito de investigación a respeto de una posible participación en el solar Decathlon África en las próximas ediciones, dado el interés del departamento.

Este documento servirá como base para la implementación de estrategias bioclimáticas que visen el bienestar higrotérmico y el confort de los habitantes de una vivienda.

Por esta razón, el trabajo tendrá dos vertientes, una, que será la del local de la realización del evento en 2019, Ben Guerir, y otra, más general, que será en el ámbito del límite climático de la región del norte de África.

Objetivo General

Análisis de las estrategias pasivas que podrían ser implementadas para la competición de Solar Decathlon África a fin de generar confort higrotérmico y que la vivienda sea capaz de autorregularse térmicamente, teniendo como referencia la ciudad de Ben Guerir. La idea central es desarrollar un documento guía de arquitectura bioclimática que responda al clima correspondiente de la región.

Objetivos Específicos

- Analizar la arquitectura vernácula africana (características, funciones constructivas y materiales empleados);
- Analizar las características climáticas de la región, abarcando no solo el área de la competición, sino todo el continente;
- Analizar las características específicas del clima de la ciudad de Ben Guerir utilizando el programa *Climate Consultant* para generación de gráficos;
- Exponer y explicar las estrategias bioclimáticas filtradas por el programa;
- Hacer consideraciones, en un ámbito general, acerca de las estrategias bioclimáticas pasivas tanto para condiciones de verano, como para condiciones de invierno;
- Investigar los materiales autóctonos que podrían ser utilizados en la construcción de una vivienda en el continente, llevándose en consideración sus características, ventajas y desventajas.

Metodología

En el presente trabajo fue realizada una investigación bibliográfica con base, también, en experiencias personales y profesionales.

El documento está pensado para orientar a los lectores sobre la implementación de las estrategias bioclimáticas adecuadas para la región de Ben Guerir, pero, llevándose en consideración que estas estrategias pueden ser utilizadas en zonas de climas similares en el continente africano, sea adaptando las estrategias a otras regiones o utilizándose de los materiales autóctonos presentes en el continente.

De esta manera, la intención de este documento es la de generar un estudio, como un paso a paso, para definir las estrategias bioclimáticas más adecuadas para la región de Ben Guerir, además de analizar los materiales autóctonos utilizados por los pueblos antiguos del continente en la arquitectura vernácula africana.

Para esto el documento está estructurado de la siguiente manera: en el capítulo uno fue realizado un estudio sobre los antecedentes históricos de la arquitectura africana, abordando el tema de la arquitectura vernácula del continente, listando algunos ejemplos de técnicas utilizadas, apuntando sus características, materiales empleados, ventajas y desventajas.

En el segundo capítulo se aborda el estado de la cuestión, que habla del desafío de la Universidad de Sevilla con relación a la competición y el hecho de ser un ambiente nuevo para el equipo Solar Decathlon. También se introducen los estudios sobre la geografía y el clima del continente.

El tercer capítulo trata de hacer un análisis climático completo de la región de Ben Guerir, a través de herramientas informáticas, como el programa *Climate Consultant*, evaluando y explicando las condiciones necesarias para el logro del bienestar en los ambientes internos de una vivienda.

En la secuencia, se presentan las estrategias bioclimáticas más importantes y relevantes para alcanzar el bienestar higrotérmico en una vivienda en la región de Ben Guerir, generadas a través del programa mencionado anteriormente y explicado, uno por uno, a lo largo del capítulo.

Luego, los capítulos cinco y seis están dedicados a las consideraciones sobre las directrices generales relacionadas a las estrategias bioclimáticas, tanto para condiciones de verano, como para las condiciones de invierno.

Finalmente, antes de concluir, en el séptimo apartado, se introduce el tema de los materiales autóctonos que pueden ser empleados en las construcciones de la región.

1. Antecedentes Históricos – Contextualización

1.1. ¿Qué es la Arquitectura Vernácula?

Desde el principio, la humanidad ha construido refugios a fin de lograr protección y/o confort frente a las temperaturas (altas o bajas), a la necesidad de generación de sombra, de fomento de la ventilación en el hogar, de protección a fuertes vientos, lluvias, nevadas o inundaciones.

La arquitectura vernácula nace como forma de responder a la necesidad de hábitat de los pueblos antiguos y es la forma de construir más auténtica de una región, puesto que está constituida de la tradición regional y es resultado de la relación hombre-entorno.

Este modo autóctono de construir tiene su origen remontado a la necesidad de los pueblos de adaptarse a las intemperies y características climáticas de determinadas regiones. No eran arquitectos, no representaban épocas y tampoco era parte de una línea de estilo arquitectónico. Los encargados de modelarlas eran sus habitantes, donde su construcción respondía a algunas condicionantes, como sus costumbres, su política, su geografía y su economía.

Las condicionantes de cada región, sumada a la manera de los pueblos de interacción con el entorno resultarían en arquitecturas auténticas y dispares entre sí.

Por decirlo así, con relación al confort climático, los objetivos en las construcciones actuales son los mismos, pero ahora es posible contar con sistemas mecánicos para hacerlo y eso ha resultado en diseños de viviendas y edificios no muy eficaces y totalmente dependientes de los aparatos de climatización. Esas soluciones, por muchas veces, dependen de energías no renovables y, por veces, resultan caras para gran parte de la población mundial.

1.2. Arquitectura Vernácula Africana

El continente africano posee fuertes influencias culturales, religiosas y ambientales en todo su territorio y la arquitectura construida por los ancestrales del

pueblo africano se diferencia llevándose en consideración cada aspecto del contexto de las naciones que allí crecieron.

1.3. La Relación con la Técnica

A lo largo de los años las técnicas constructivas avanzaran en diversos aspectos con la sofisticación de instrumentos, la implementación de técnicas mejoradas que reducen el tiempo de la construcción y son capaces de optimizar la mano de obra necesaria a través de la inserción de equipos en lugar de la mano de obra humana.

El tiempo de construcción y la reducción de costes, muchas veces, son prioridad en la construcción de viviendas actualmente, pero, esta sustitución ha dejado de lado la arquitectura vernácula de cada región del planeta.

Antiguamente, el hombre era responsable por la construcción de su hábitat, de su mundo dentro de un mundo más amplio. Donde la integración con los elementos de la naturaleza era llevada en consideración y era una de las principales razones por la elección de las técnicas y de los materiales, que se diferenciaban en cada región del globo.

Los seres humanos han diseñado sus viviendas tomando en cuenta su clima, sus necesidades de bienestar y la cultura a la que pertenecían.

Casi todos los pueblos antiguos tenían la consciencia de la importancia de construir y habitar, considerando el sentido sagrado y la utilización razonable de los recursos relativos a su ocupación en el territorio. Construir una vivienda es anclarse en un lugar, es habitar en la tierra.

Pero también existieron casos de culturas que fueron extinguidas debido a la explotación excesiva e irracional de la naturaleza, como es el caso de la civilización de la Isla de Pascua. Donde no estuvo clara la idea de proporción y ocupación como en otras civilizaciones y eso ha llevado a la extinción de este pueblo.

Por lo tanto, para que se pueda desarrollar una arquitectura respetuosa con el lugar donde será implementada, respetando la naturaleza y las tradiciones de la arquitectura vernácula, se hace menester estudiar la disponibilidad y las características de los materiales, comparando sus comportamientos con el clima de la región y las

posibles técnicas que serían implementadas, además de investigar las características climáticas de la región para que sea posible hacer un análisis comparativo también con relación a las estrategias utilizadas por sus antepasados a fin de definir parámetros fundamentales para el diseño de viviendas que sean capaces de autorregularse térmicamente.

1.4. Ejemplos de la Arquitectura Vernácula Africana

Ejemplo 01: Niongono Village, Mali



Ilustración 1 – Vivienda en Mali. Obtenido de: <https://www.archdaily.com.br/br/768450/por-que-criei-um-banco-dados-para-documentacao-da-arquitetura-vernacular-africana/556efe72e58ecec91000265-why-i-created-a-database-to-document-african-vernacular-architecture-photo>

TÉCNICAS UTILIZADAS
Masa Térmica
Pequeñas aberturas

MATERIALES EMPLEADOS
Piedra
Tierra

Principales Ventajas:

- Estabilidad climática en el interior debido a la masa térmica de la edificación;
- Utilización de pequeñas aberturas para permitir el paso del viento y bloquear la entrada de la radiación solar.

Ejemplo 02: Cabaña en Zambia



Ilustración 2 – Vivienda en Zambia. Obtenido de: <https://www.archdaily.com.br/br/768450/por-que-criei-um-banco-de-dados-para-documentacao-da-arquitetura-vernacular-africana/556efed2e58ece956600022f-why-i-created-a-database-to-document-african-vernacular-architecture-photo>

TÉCNICAS UTILIZADAS
Cubierta Ventilada
Protección Solar

MATERIALES EMPLEADOS
Paja
Madera

Principales Ventajas:

- Aislante natural;
- Bajo coste y velocidad de construcción;
- Material que permite ventilación, provocando la salida del aire caliente del interior por la cubierta.

Desventajas:

- Inflamable;
- Permite el paso de agua

Ejemplo 03: Sudán del Sur



Ilustración 3 – Vivienda en Sudán del Sur. Obtenido de: <https://www.archdaily.com.br/br/768450/por-que-criei-um-banco-de-dados-para-documentacao-da-arquitetura-vernacular-africana/556efeae58ecec91000267-why-i-created-a-database-to-document-african-vernacular-architecture-photo>

TÉCNICAS UTILIZADAS
Masa Térmica

MATERIALES EMPLEADOS
Tierra

Principales Ventajas:

- Gran potencial de aislamiento térmico y acústico;
- Bajo coste;
- Material autóctono.

Desventaja:

- Mantenimientos constantes;
- Sensible a la humedad.

Ejemplo 04: Vivienda Pastoril en Namaqualand, Sudáfrica



Ilustración 4 – Vivienda en Sudáfrica. Obtenido de: https://ayudahispano-3000.blogspot.com/2014/08/arte-de-africa-antigua_89.html

TÉCNICAS UTILIZADAS
Construcción con Paja
Versatilidad/ adaptación

MATERIALES EMPLEADOS
Paja
Madera

Principales Ventajas:

- Bajo coste y fácil de construir;
- Material natural y autóctono que permite la ventilación natural;
- Versatilidad, puede moverse cuándo necesario, lo que permite aprovechar los vientos predominantes y protegerse del sol..

Desventaja:

- Sensible a la humedad.

2. Estado de la cuestión

La Universidad ha realizado estudios para el Solar Decathlon en diversos lugares, algunos en el continente americano y otros en el continente europeo, en diferentes países y regiones climáticas.

Como mencionado con anterioridad, en el año de 2019 la competición se ha realizado por primera vez en África, en la ciudad de Ben Guerir. No obstante, el equipo de Solar Decathlon de la Universidad de Sevilla no tiene un material propio del que pueda consultar sobre estudios climáticos, materiales autóctonos y estrategias bioclimáticas del continente africano con el enfoque en el diseño y desarrollo de viviendas para la competición.

Por esto, a partir de aquí, se explicarán los términos de la competición y, luego, se analizará el contexto geográfico del continente africano, para entonces empezar con la caracterización climática.

2.1. Solar Decathlon África: ¿Qué es y cómo funciona?

Como explicado anteriormente, el Solar Decathlon es una competición internacional donde estudiantes de todo el mundo pueden participar proyectando, construyendo y operando una vivienda energéticamente autosuficiente.

Las evaluaciones de los prototipos para definir la vivienda ganadora de la competición se realizan a través de diez pruebas², que son:

1) **Arquitectura:**

En esta prueba un equipo de jurados evalúa el diseño, el uso de materiales y la integración tecnológica. La construcción del prototipo debe probar que la vivienda funciona y está de acuerdo con los planos presentados.

² Información acerca de las pruebas obtenida en la página web oficial del Solar Decathlon África: <https://www.solardecathlonafrica.com/> - Acceso en Noviembre de 2020.

El objetivo para este concurso que fue realizado en África fue el de crear un espacio sostenible que tenga como inspiración la arquitectura tradicional de África, siendo compatible en términos climáticos y con la elección de los materiales.

Es importante crear una vivienda con un diseño arquitectónico flexible, transformable y adaptable a las necesidades de los habitantes de la región donde está inserido.

Así, la idea central es crear viviendas que sean capaces de aprovechar las técnicas y métodos utilizados en África. Por eso, los materiales locales y las tecnologías adoptadas deben demostrar una integración de calidad en el diseño.

Además, esta vivienda debe aportar coherencia en la relación entre el interior de la vivienda y el entorno.

2) **Ingeniería y Construcción:**

Esta prueba evalúa la construcción, tomando en cuenta el funcionamiento, la eficiencia, la seguridad, la fiabilidad y la solidez de los sistemas utilizados.

Por eso, los equipos participantes deben probar un conocimiento profundo sobre la estructura y los procesos técnicos de la construcción. El diseño estructural y las soluciones constructivas deben de ser innovadoras, además de incorporar técnicas avanzadas que lleven en consideración las técnicas locales.

En este punto, es interesante considerar estrategias de eficiencia energética para construir un prototipo de bajo consumo de energía. Así, el aislamiento de las paredes externas, el tipo de acristalamiento de las ventanas, la estanqueidad al aire, la protección solar y todas las estrategias bioclimáticas que ayuden a mejorar la eficiencia del edificio deben de ser consideradas.

Sin embargo, estas estrategias serán desarrolladas y explicadas más adelante, en los apartados cuatro, cinco y seis, cuando se entrará en el tema de las consideraciones bioclimáticas tanto para las condiciones de verano, como para las de invierno de las principales regiones en análisis.

3) **Marketing:**

Esta prueba trata de pensar en la viabilidad comercial de la vivienda, valorándose una buena relación entre factores técnicos y económicos para la vivienda sea sostenible y asequible al mismo tiempo.

El escenario adecuado son las casas atrayendo a los consumidores por su precio, por su diseño arquitectónico y por la innovación aportada.

Así, es parte de la competición, pensar en la viabilidad económica, al tiempo que proporcionan una vivienda confortable y autosuficiente para los habitantes.

4) **Confort y Condiciones de Bienestar:**

Esta prueba mide la capacidad de las viviendas en proveer bienestar interior a sus habitantes, mediante el control de la temperatura, la humedad, la acústica, la calidad del aire e iluminación a través de aparatos de medición.

Es importante garantizar la comodidad interior de los habitantes. Para eso, los equipos deben implementar en sus viviendas las medidas necesarias para alcanzar las condiciones de confort en el interior, lo que puede ser medido y solucionado con el uso de gráficos de bienestar, que será visto en el siguiente apartado, para entonces definir las estrategias más adecuadas para la región.

5) **Equipamiento y Funcionamiento:**

Estará a prueba también el funcionamiento de las viviendas a través de pruebas de la eficiencia de los equipos y electrodomésticos, simulando el funcionamiento cotidiano de una vivienda.

Los electrodomésticos que son evaluados en esta prueba son los siguientes: Refrigerador, Congelador, Lavadora, Secadora, Horno, Cocina, Licuadora y Lavavajillas. La conclusión de las tareas es necesaria para obtener la máxima puntuación en esta prueba.

6) **Sostenibilidad:**

La competición también examina la sensibilidad ambiental de los alumnos involucrados con el Solar Decathlon, puesto que se tiene que construir una vivienda con un bajo impacto ambiental.

Debe haber consciencia de las necesidades de la población local para equilibrar el edificio sostenible construido con el entorno existente, integrando tecnologías de ahorro de energía y adoptando estrategias bioclimáticas pasivas.

Así, una vivienda sostenible debe actuar como un organismo vivo, autorregulándose térmicamente, o sea, creando su propio microclima para reducir el uso de aparatos de climatización y los costos de energía, mejorando el confort interno para los habitantes.

7) **Entretenimiento:**

La prueba de entretenimiento tiene como objetivo medir el impacto social de este tipo de vivienda en Marruecos a través de pruebas, que deben ser completadas, como la realización de eventos como: cenas en las viviendas, noche de cinema. Para completar esta prueba, los estudiantes responsables por sus viviendas deben gestionar de manera eficiente el consumo de energía, sin comprometer la realización de las tareas asignadas.

8) **Comunicación y Sensibilización Social:**

El objetivo de esta prueba es hacer con que los equipos desarrollen su capacidad de comunicación y sensibilización social. Así, los equipos deben adoptar estrategias avanzadas y sofisticadas en la divulgación de los beneficios de la energía solar, la eficiencia energética de los edificios, la sostenibilidad, etc.

9) **Balance Energético Eléctrico:**

La prueba de Balance Energético pone a prueba el sistema fotovoltaico, que está conectado a la red eléctrica. Este sistema debe generar energía a todos los ambientes y sistemas de la vivienda.

No obstante, algunos factores como la meteorología, la suciedad, el polvo y el envejecimiento influyen en la producción de la electricidad y deben ser llevados en consideración durante la competición.

Además, los sistemas solares pueden utilizarse para proporcionar agua caliente a la vivienda, calefacción en invierno y otros servicios. De esta forma, los equipos deben ser capaces de equilibrar la producción de energía con el consumo necesario.

Cabe añadir que es posible almacenar el exceso de producción de energía para mantener los sistemas en funcionamiento durante la noche, sin embargo, los equipos participantes deben revelar al jurado las medidas adoptadas.

10) Innovación:

Esta prueba trata de evaluar, a través de un equipo de jurados, la adopción de soluciones innovadoras que creen las mayores sinergias entre eficiencia energética, funcionalidad y fiabilidad de los sistemas.

Como un buen ejemplo, el uso de sistemas de automatización asegura que la vivienda opere de la manera más eficiente, además de permitir el fácil control del ambiente por parte de los habitantes.

Puntuación

Es cierto que todas estas evaluaciones se realizan a lo largo de una semana en la Villa Solar y al final, el equipo ganador es el que suma más puntos, dentro de un total posible de mil.

Por lo tanto, hay tres posibilidades para puntuar en cada una de estas diez evaluaciones, que son:

- a) Por tareas completadas
- b) Por medición *in situ*
- c) Por Jurado

2.2. Contexto Geográfico

El continente africano es considerado la cuna de la humanidad, donde hace dos millones de años surgió la raza humana, según historiadores.

Posee un área de aproximadamente 30 millones de kilómetros cuadrados representando un 20% de la tierra del planeta. Es el segundo continente más poblado del mundo, atrás solamente de Asia, y cuenta con la presencia de 54 países en su territorio³, que se dividen en cinco regiones diferentes: África Septentrional, Meridional, Central, Occidental y Oriental, conforme imagen a seguir.



Ilustración 5 - Regiones del continente africano. Fuente: Google Maps, editado

La ubicación del continente en el planeta hace con que sea cortado por la línea de ecuador, el trópico de capricornio y el trópico de cáncer. Así, se nota que su ubicación es central en el globo, teniendo muchos países en la zona climática más cálida del planeta, conforme se puede observar en la imagen a continuación.

³ Información extraída en octubre de 2020 de la página web: <https://www.countries-of-the-world.com/countries-of-africa.html>

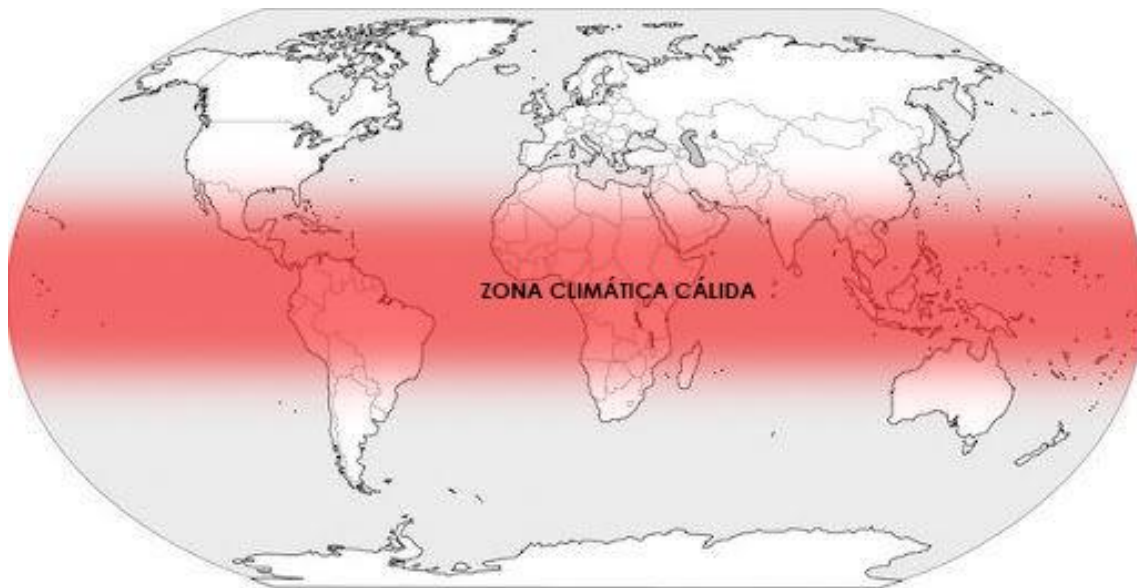


Ilustración 6 - Extraído de: <https://br.pinterest.com/pin/539798705318372589/> - modificado

Para efecto de análisis, la ciudad en la cual fue realizada la competición de Solar Decathlon África, Ben Guerir (Latitud: 32° 14' N/ Longitud: 7° 57' W), está ubicada en la región septentrional de África, en el centro de Marruecos, como se puede observar en la ilustración a continuación.



Ilustración 7 - Fuente de imágenes satelitales: Google Maps, editado.

2.3. Zonas climáticas

El clima ejerce una importante función en el comportamiento de los materiales de una determinada región y, por esta razón es importante investigar la clasificación climática del continente, para entonces abordar el tema de los materiales, para que se pueda seleccionar y entender mejor la dinámica de cada uno de ellos en su región correspondiente.

Para hacer este análisis, será utilizado el parámetro desarrollado por un climatologista alemán llamado Wladimir Köppen⁴, en colaboración con Rudolf Geiger⁵, donde la clasificación se basa en la ecología, siendo la vegetación natural considerada una expresión del clima que allí prevalece. De esta manera fueron seleccionadas las fronteras climáticas relacionadas al tipo de vegetación de cada región y clasificadas a través de leyendas creadas por ellos, que son divididas por grupos, tipos y subtipos.

Los grupos son representados por las letras de A a E y significan, Tropical, Seco, Templado, Continental y Polar, respectivamente. Los tipos son determinados por las letras f, m w y s, y varían conforme grupo donde estén insertados. Los subtipos están representados por diferentes letras, dependiendo de los grupos donde estén insertados, y existen para diferenciar las regiones por temperaturas, como caliente o fría.

Por lo tanto, la división está organizada conforme cuadro a continuación:

Clasificación climática de Köppen							
Dinámica de la temperatura		Dinámica de las precipitaciones					
		f, m Húmedo o lluvioso	Subhúmedo o húmedo-seco		B Seco		
			w de invierno seco	s de verano seco	S Semiárido	W Árido	
A Tropical o macrotérmico		Ecuatorial Af Monzónico Am	De sabana Aw	De sabana As	Semiárido cálido BSh	Árido cálido BWh	
C Templado o mesotérmico	a Subtropical	Oceánicos: Cfa	Subhúmedos Cwa	Mediterráneos: Csa	Estepario BSk	Árido frío BWk	
	b Templado	Cfb	de altitud: Cwb	Csb			
	c Subpolar/subalpino	Cfc	Cwc	Csc			
D Continental o microtérmico (de invierno gélido)	a Templado cálido	Continental: Dfa	Manchurianos: Dwa	Continental: Dsa	Estepario BSk	Árido frío BWk	
	b Templado hemiboreal	húmedos: Dfb	Dwb	mediterráneos: Dsb			
	c Subpolar/subalpino	Dfc	Dwc	Dsc			
	d Fuerte	Dfd	Dwd	Dsd			
E Polar	De tundra	Tundra polar ET o Alpino ETH					
	Gélido	Gélido o glacial EF					

Ilustración 8 - Clasificación Climática de Köppen. Imagen obtenida en wikipedia (acceso en enero de 2020)

⁴ Wladimir Köppen (San Petesburgo, 1846 – Graz, 1940) fue un Climatólogo alemán de origen rusa. En el año de 1900, Köppen desarrolló un sistema matemático para clasificación de climas en el mundo con base en las precipitaciones y en los promedios de temperatura. Biografía disponible en: <https://www.biografiasyvidas.com/biografia/k/koppen.htm>

⁵ Rudolf Oskar Robert Williams Geiger (Erlangen, 1894 – Múnich, 1981) fue un meteorólogo y climatólogo alemán. Su área de actuación era la aclaración de las complejas interacciones entre la vegetación y el clima. Biografía disponible en: <https://www.britannica.com/biography/Rudolf-Oskar-Robert-Williams-Geiger>

Para que sea posible entender la relación con las técnicas del pasado, se hace menester observar y analizar los diferentes tipos de climas existentes en el continente, como se puede observar a continuación, puesto que es un territorio muy extenso y que posee grandes relaciones entre las características climáticas y el uso de materiales en la construcción de viviendas.

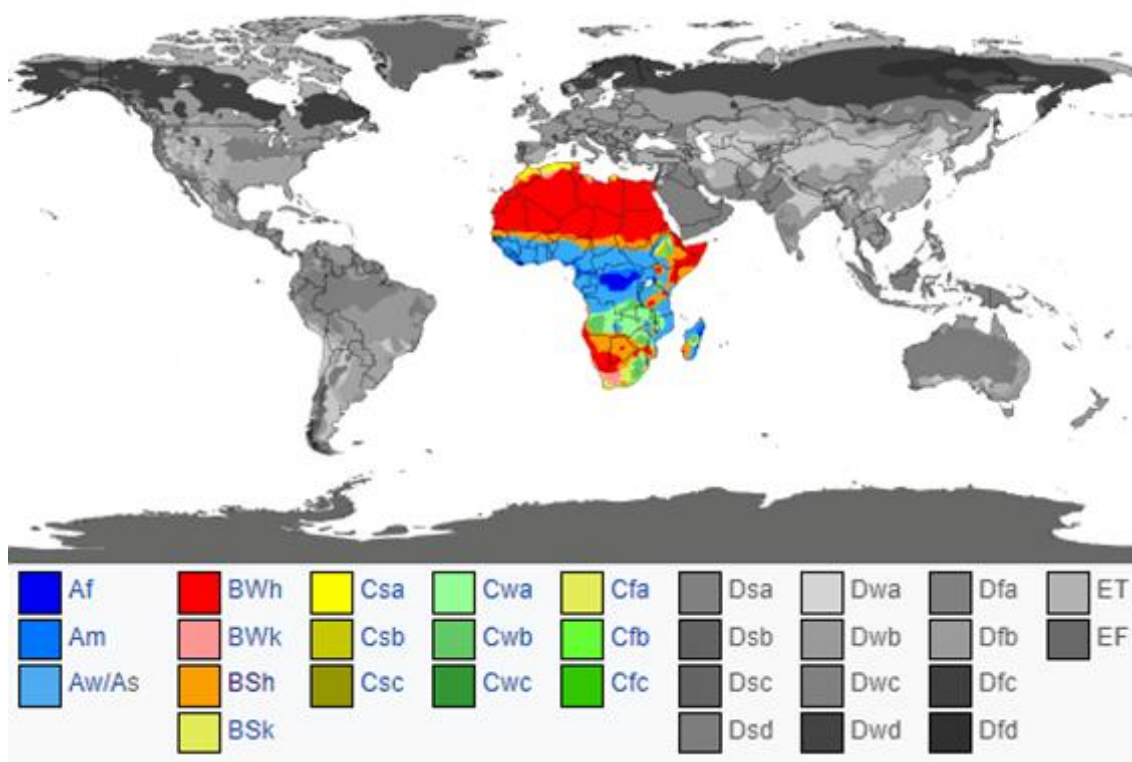


Ilustración 9 - Distribución de los tipos de clima, segundo la clasificación de Köppen-Geiger. Imagen obtenida en wikipedia, editada (acceso en febrero de 2019) .

De esta manera, con la categorización de los climas en el mapa del continente, se puede notar la gran influencia ejercida por el clima Bwh (árido caliente), Aw/As (húmedo-seco de sabana), entre otros, como el Bsh (Caliente seco), predominante en Marruecos.

El clima árido caliente (Bwh) es un clima de zonas desérticas, siendo un subtipo de clima seco. Tiene presencia en el continente africano gracias a los desiertos del Sahara, del Arábigo y del Kalahari.

Sus principales características son la escasez de precipitaciones y de vegetación, lo que genera un efecto de gran amplitud térmica. En verano, las temperaturas suelen llegar a los 40-45 grados durante el día, mientras que por la noche estas zonas pueden

registras temperaturas por debajo de cero, debido a las pérdidas nocturnas ocasionado por la falta de masa térmica de las superficies.

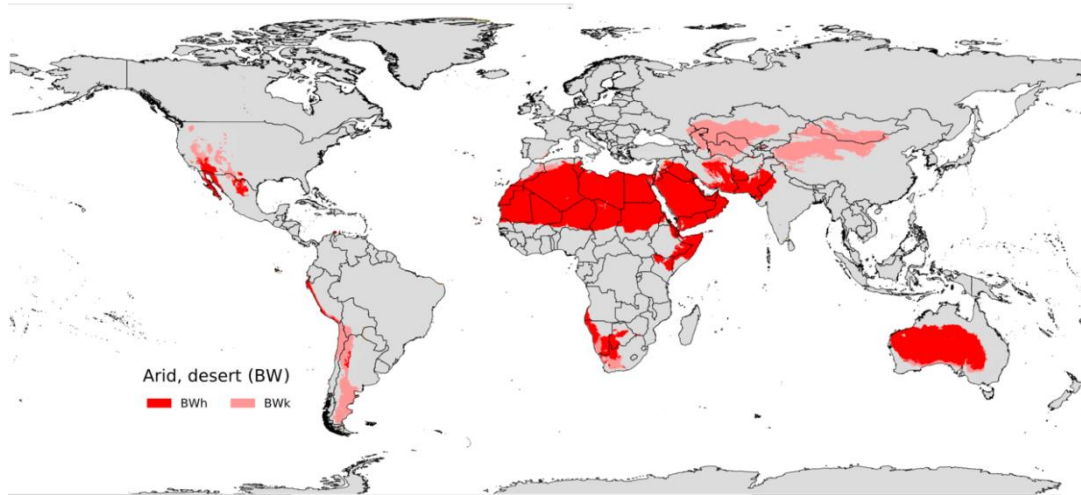


Ilustración 10 - Extraído de https://es.wikipedia.org/wiki/Clima_%C3%A1rido#/media/Archivo:BW_climate.png (acceso en febrero de 2019)

El clima húmedo-seco de sabana o tropical de sabana (Aw) es un subtipo de clima tropical que tiene como característica el hecho de poseer dos estaciones definidas (húmeda y seca). Es un clima de transición entre el tropical húmedo (Am) y el semiárido cálido (Bsh), llevando consigo características de ambos.

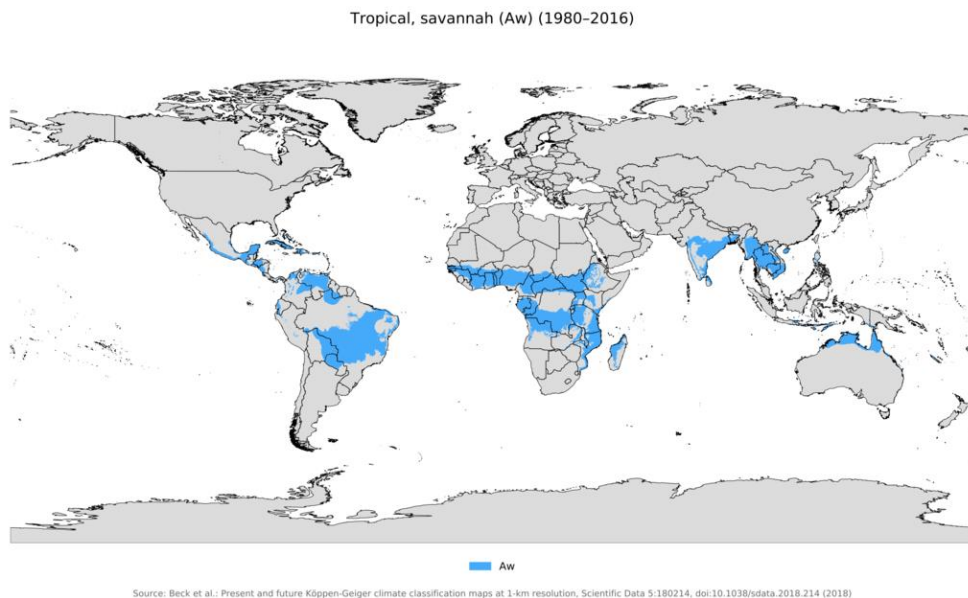


Ilustración 11 - Extraído de https://es.wikipedia.org/wiki/Clima_tropical_de_sabana#/media/Archivo:Clima_tropical_seco_Köppen-Geiger.png (acceso en febrero de 2019)

El clima caliente seco, conforme mencionado, es el clima de mayor predominancia en Marruecos, país anfitrión de la primera edición de Solar Decathlon África, siendo dividido en dos categorías, dependiendo de la ubicación en el globo, el clima semiárido caliente (Bsh) y el clima semiárido frío (Bsk), y encuentra conforme se observa a continuación.

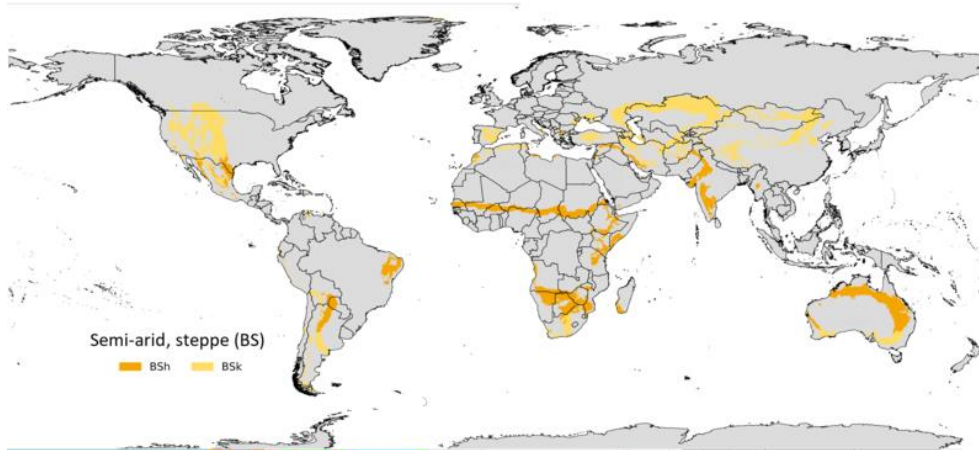


Ilustración 12 - Extraído de https://en.wikipedia.org/wiki/File:BS_climate.png (acceso en febrero de 2019)

La región de Ben Guerir, de clima semiárido frío (Bsk), no tiene gran presencia en el continente africano. Es un clima de zonas elevadas, cerca de regiones de clima templado y mediterráneo, y son más comúnmente encontrados en Asia y Norteamérica, Pero, pueden ser encontrados en partes de Europa, Norte de África y América del sur, como se puede observar en las imágenes a continuación.

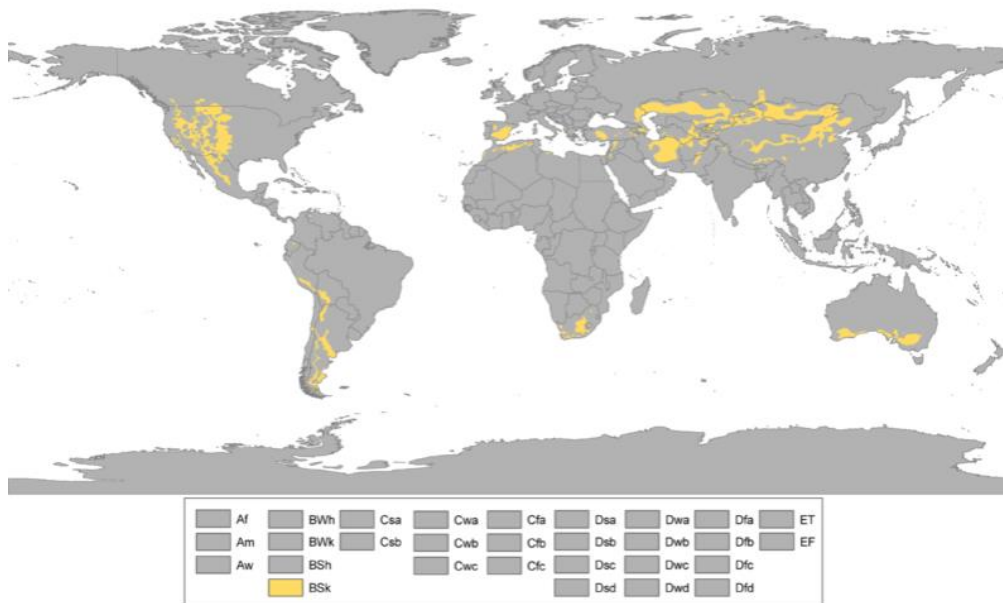


Ilustración 13 - Destaque para el clima semiárido frío en el mundo. Imagen obtenida en wikipedia, editada (acceso en febrero de 2019)



Ilustración 14 - Destaque para la región de Ben Guerir en la marcación del clima semiárido frío. Imagen obtenida en wikipedia, editada (acceso en febrero de 2019)

Este clima tiene como características las grandes variaciones de temperatura a lo largo del día, alcanzando valores muy elevados en verano. Posee baja humedad relativa del aire en grande parte del año y pluviosidad escasa, teniendo períodos largos de sequía.

La diferencia básica del clima semiárido frío, si comparado al clima semiárido caliente, está, básicamente, en las bajas temperaturas de los inviernos en que se pueden llegar las regiones del clima semiárido frío.

3. CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA

Utilizándose de herramientas fundamentales para el desarrollo del diseño bioclimático, a continuación, se podrá observar datos relativos a las principales ciudades en el continente africano ubicada en cada zona climática previamente expuesta en el apartado anterior.

Luego, se desarrollarán análisis, a través de climogramas, a fin de extraer conclusiones que permitan identificar las estrategias más adecuadas para lograr condiciones de confort en la ciudad de Ben Guerir. Este análisis está relacionado con la latitud y la longitud del lugar, tal como los vientos predominantes y sus características, siendo un estudio específico que debe de ser hecho individualmente para cada región en el globo.

Este análisis específico será realizado a partir de los datos de temperaturas y humedad relativa del aire, para obtener el climograma de bienestar de Givoni⁶, que indicará las estrategias necesarias para el logro del bienestar humano para la zona climática indicada.

Después de este análisis, se entrará en el estudio de la geometría solar, para tener en consideración, a la hora de proyectar, las características que deben tener las protecciones solares de cada fachada y para hacerse conocer el recorrido solar en la región. Finalmente, será analizado el régimen de vientos para que se pueda entender la dinámica y trazar las estrategias más concretas.

3.1. Parámetros Básicos

En este apartado fueron analizadas las principales ciudades de cada tipo de clima predominante en el continente africano a fin de comprobar las posibles similitudes entre los climas de la zona.

⁶ Baruch Givoni (Israel, 1920 – 2019) fue uno de los arquitectos especializados en arquitectura bioclimática más reconocidos del mundo. Su reconocimiento surgió años después de su primera publicación: *El Hombre, el Clima y la Arquitectura*. Fue el creador del Diagrama de Givoni, que es un diagrama psicométrico para evaluar el confort humano en ambientes internos. Biografía disponible en: <https://www.longdom.org/editor/baruch-givoni-15499>

Para, esto fueron seleccionadas cuatro ciudades africanas, una representando cada tipo de clima, como se puede observar a continuación.

Ciudades analizadas:

- Bwh – Árido Cálido – El Cairo, Egipto;
- Aw – Clima húmedo-seco de sabana o tropical de sabana – Abuya, Nigeria;
- Bsh – Semiárido cálido – Santa Cruz de Tenerife, España;
- Bsk – Semiárido frío – Marrakech, Marruecos (local de mismo clima de Ben Guerir que posee una estación de medición de temperaturas medias anuales).

Temperaturas medias anuales:

El Cairo, Egipto (Bwh):

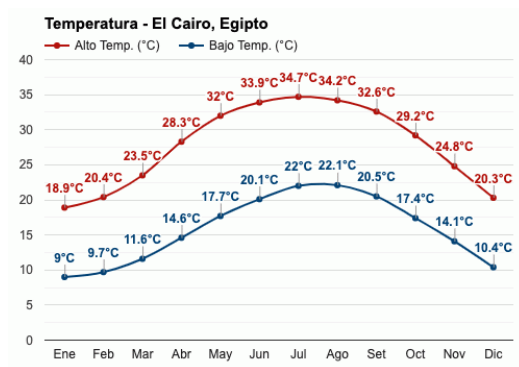


Ilustración 15 - Extraído de: <https://www.weather-atlas.com/es/egipto/el-cairo-clima>

Abuya, Nigeria (Aw):

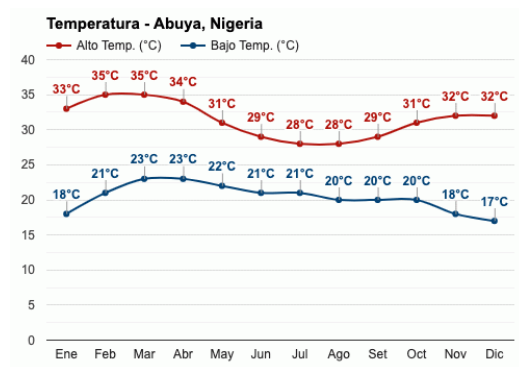


Ilustración 16 - Extraído de: <https://www.weather-atlas.com/es/kenia/mombasa-clima>

Santa Cruz de Tenerife, España (Bsh):

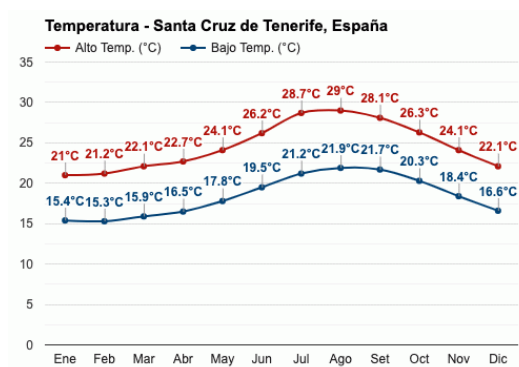


Ilustración 17 - extraído de: <https://www.weather-atlas.com/es/espana/santa-cruz-de-tenerife-clima>

Marrakech, Marruecos (Bsk):

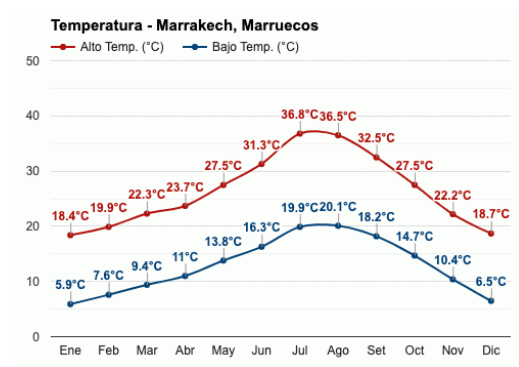


Ilustración 18 - Extraído de: <https://www.weather-atlas.com/es/marruecos/marrakech-clima>

Con excepción del clima húmedo-seco de sabana o tropical de sabana (Aw), de la capital nigeriana, que comprende la franja central del continente entre los trópicos de capricornio y cáncer, todos los otros poseen curvas semejantes con temperaturas que poco se diferencian.

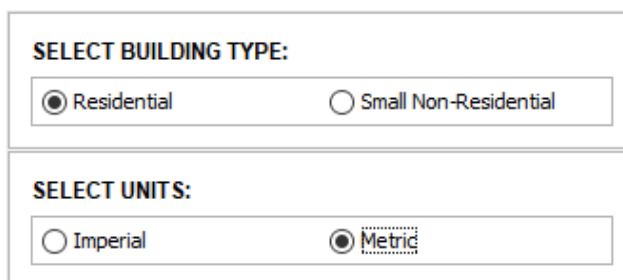
Tomaremos el clima de la última edición de Solar Decathlon (Bsk) como referencia, no solo por haber sido la anfitriona de la competición en 2019, sino que por la oportunidad de comparar las estrategias utilizadas por los equipos participantes (Anexo 2) con los analizados en este documento (Apartado 4).

Para seguir con el análisis será necesaria la toma de datos con el programa *Climate Consultant*⁷, que utiliza datos de *EnergyPlus* para hacer los cálculos necesarios con relación a temperaturas, humedad, vientos predominantes e insolación para alcanzar las estrategias arquitectónicas más adecuadas.

No obstante, la ciudad de Ben Guerir no posee una estación de medición climática y, por eso, no hay datos disponibles en *EnergyPlus*, pero, por poseer características similares y por la proximidad geográfica, será realizado el análisis con base en la estación de Casablanca, también en Marruecos.

Con base en esto, fue realizada la descarga de los datos referentes a Casablanca a través del siguiente enlace: https://energyplus.net/weather-region/africa_wmo_region_1/MAR%20%20.

Con la descarga realizada y el programa instalado, es necesario abrir *Climate Consultant* e iniciar un nuevo proyecto (*Start a new Project*). Así, el programa pedirá algunas informaciones, que deben ser rellenadas conforme se puede ver a continuación.



The image shows a screenshot of the Climate Consultant software interface. It consists of two main sections, each enclosed in a rectangular box. The first section is titled 'SELECT BUILDING TYPE:' and contains two radio button options: 'Residential' (which is selected) and 'Small Non-Residential'. The second section is titled 'SELECT UNITS:' and contains two radio button options: 'Imperial' and 'Metric' (which is selected).

Ilustración 19 - Inicio de un nuevo proyecto con *Climate Consultant*.

⁷ *Climate Consultant* es una herramienta gratuita que permite, a través de datos obtenidos, generar gráficos y el Climograma de Givoni para la región en análisis, siendo capaz de filtrar las principales estrategias bioclimáticas para la región. Descarga disponible en: <http://www.energy-design-tools.aud.ucla.edu/climate-consultant/request-climate-consultant.php>

Luego, se debe hacer clic en *Open Existing EPW Weather Data File* y seleccionar el archivo de *EnergyPlus* descargado, conforme se puede observar a seguir.

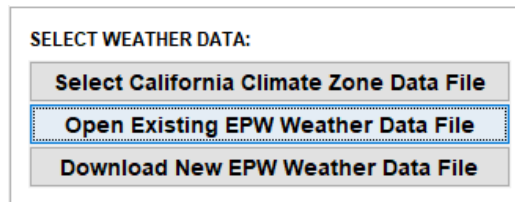


Ilustración 20 - Inicio de un nuevo proyecto con Climate Consultant.

Habiendo hecho eso, se debe elegir el archivo con extensión *.EPW* proveniente de la descarga de *EnergyPlus* y se abrirán los datos referentes a la estación climática de la región elegida, en el caso, el de Casablanca, en Marruecos, como se observa a seguir.

Climate Consultant 6.0 (Build 16, Jan 23, 2020)

File Criteria Charts Help

WEATHER DATA SUMMARY

LOCATION: CASABLANCA/NOUASSER, -, MAR
Latitude/Longitude: 33.37° North, 7.58° West, **Time Zone from Greenwich 0**
Data Source: IWECC Data 601560 WMO Station Number, **Elevation 206 m**

MONTHLY MEANS	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	
Global Horiz Radiation (Avg Hourly)	285	333	423	419	453	509	516	505	436	359	302	245	Wh/sq.m
Direct Normal Radiation (Avg Hourly)	323	351	402	294	331	401	437	464	386	293	323	270	Wh/sq.m
Diffuse Radiation (Avg Hourly)	128	148	174	217	206	193	173	149	168	188	143	125	Wh/sq.m
Global Horiz Radiation (Max Hourly)	612	712	928	985	1016	1010	1009	981	917	789	633	566	Wh/sq.m
Direct Normal Radiation (Max Hourly)	800	896	926	927	950	905	901	904	891	856	862	833	Wh/sq.m
Diffuse Radiation (Max Hourly)	307	379	476	647	663	546	479	443	447	431	374	312	Wh/sq.m
Global Horiz Radiation (Avg Daily Total)	2873	3573	4997	5400	6245	7213	7206	6666	5326	3999	3103	2409	Wh/sq.m
Direct Normal Radiation (Avg Daily Total)	3260	3736	4731	3782	4568	5692	6106	6128	4718	3272	3316	2663	Wh/sq.m
Diffuse Radiation (Avg Daily Total)	1286	1607	2073	2792	2830	2743	2423	1973	2059	2095	1479	1232	Wh/sq.m
Global Horiz Illumination (Avg Hourly)	30839	36164	45878	45967	49912	56045	57045	55783	48161	39256	32866	26656	lux
Direct Normal Illumination (Avg Hourly)	30162	33155	38635	28222	32068	38866	42605	45716	37102	26998	29933	24537	lux
Dry Bulb Temperature (Avg Monthly)	11	12	14	15	18	20	23	23	21	19	15	13	degrees C
Dew Point Temperature (Avg Monthly)	7	8	9	10	12	14	17	18	17	13	10	9	degrees C
Relative Humidity (Avg Monthly)	77	77	73	72	73	71	72	74	77	72	76	82	percent
Wind Direction (Monthly Mode)	40	40	40	40	0	0	340	0	40	320	0	220	degrees
Wind Speed (Avg Monthly)	1	2	2	3	3	3	4	3	3	3	2	3	m/s
Ground Temperature (Avg Monthly of 3 Depths)	13	12	13	14	16	18	20	20	20	19	17	15	degrees C

Back Next

Ilustración 21 - Inicio de un nuevo proyecto con Climate Consultant.

A partir de ahí se debe seguir avanzando y volviendo siempre cuando necesario. El programa es sencillo y, a través de los datos inseridos, se puede obtener los gráficos

y análisis necesarios para la implementación y adaptación de estrategias bioclimáticas al proyecto arquitectónico.

En el primer gráfico generado por el programa, se puede observar las temperaturas máximas y mínimas a lo largo del año.

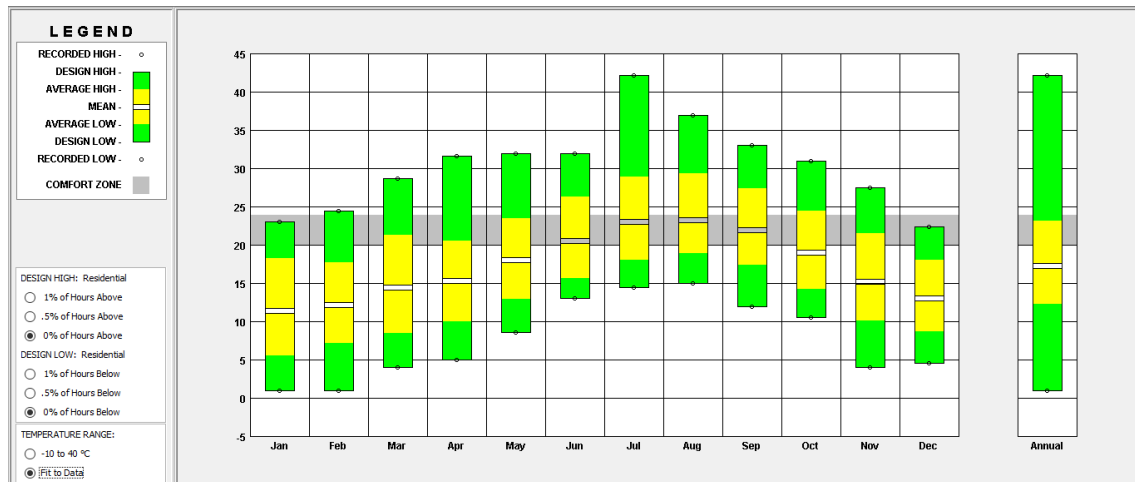


Ilustración 22 – Gráfico de temperaturas medias mensuales elaborado en el programa Climate Consultant

Se nota, destacada en gris, la franja de temperaturas de la zona de confort higrotérmico, observándose así, que a lo largo del año, el rango de temperaturas suele alcanzar esta franja horaria.

No obstante, con la variación entre temperaturas máximas y mínimas, se observan temperaturas fuera de la zona de confort. Existen momentos donde se hace demasiado frío y también momentos donde el calor es excesivo.

3.2. Análisis Psicométrico - Diagrama de Bienestar de Givoni

Con esto, se hace necesario iniciar el análisis a través del diseño del diagrama de Givoni, que está representado sobre una base de un diagrama psicométrico y fue elaborado a fin de indicar las principales estrategias bioclimáticas llevándose en consideración el confort higrotérmico para ambientes internos.

El diagrama es dibujado a través de informaciones del eje de abscisas (eje horizontal) y de las líneas curvas. El eje horizontal representa la temperatura en bulbo seco y las líneas curvas indican la humedad relativa del aire. Logrando la indicación de

estos dos valores, se logra obtener también los valores del eje vertical, que representa la tensión parcial de vapor de agua que contiene el aire.

A continuación, se puede observar el gráfico obtenido a través del programa *Climate Consultant*, donde los puntos (rojos y verdes) representan las horas de todos los días del año, calculados y distribuidos según los parámetros de temperatura y humedad de cada día para la región analizada.

La marcación en azul en el gráfico indica la zona de confort higrotérmico para la región seleccionada. En este sentido, se notan que los puntos verdes, que se encuentran dentro de demarcación azul, son los días del año donde se logra, naturalmente, sin ninguna estrategia bioclimática, el logro del bienestar. Mientras que los puntos rojos necesitan intervención arquitectónica para entraren en la zona de bienestar.

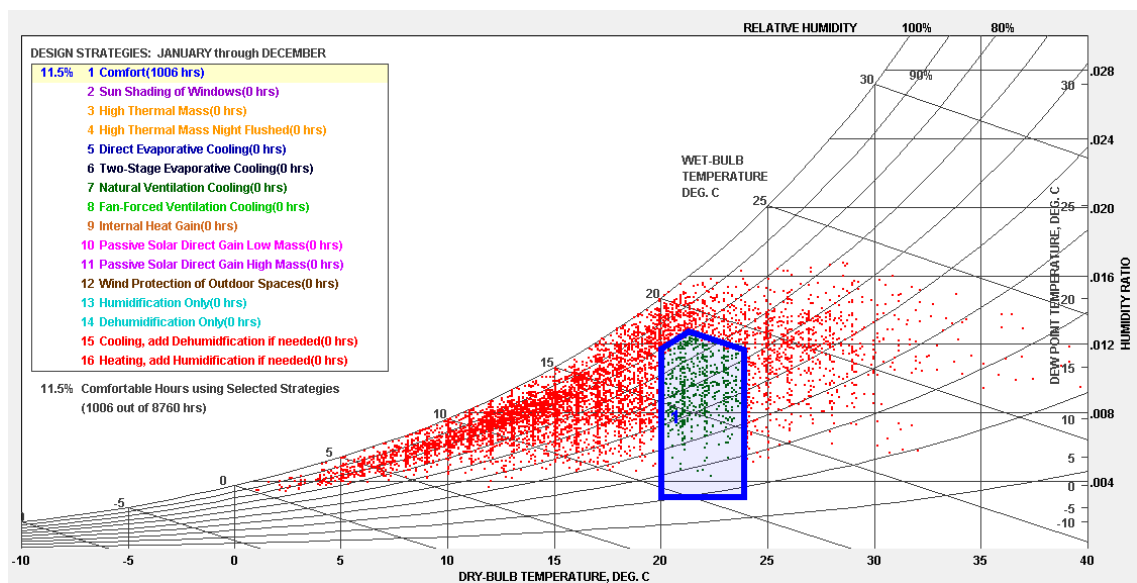


Ilustración 23 - Diagrama de Givoni elaborado en el programa *Climate Consultant*

Se puede notar en el cuadro en la imagen anterior que hay un cuadro con las posibles estrategias que pueden ser implementadas en este climograma para generar confort en los puntos rojos.

O sea, estas estrategias seleccionadas por el programa son necesarias para que sea posible expandir la zona de confort a fin de alcanzar al máximo de puntos rojos posibles, cambiándolos al color verde, conforme imagen a continuación.

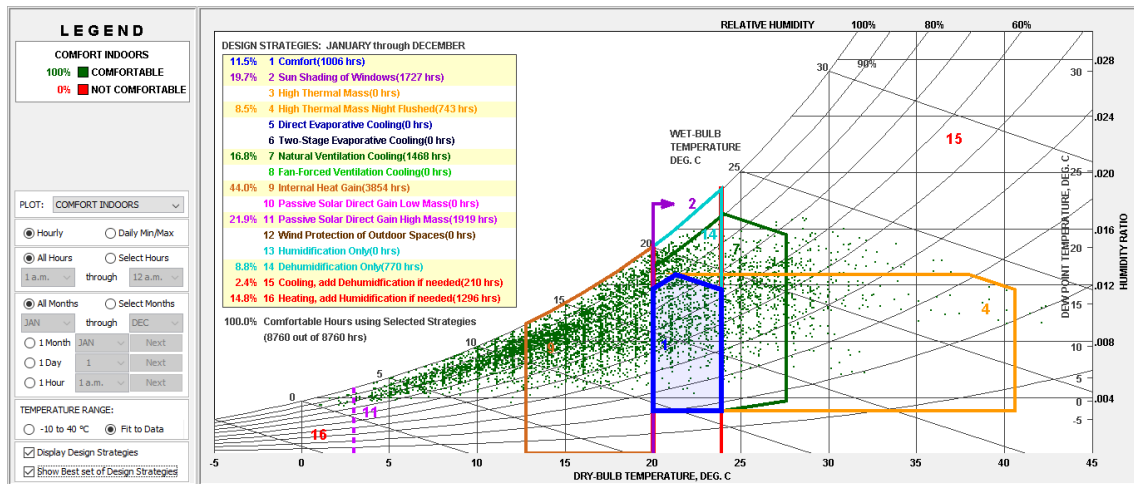


Ilustración 24 - Diagrama de Givoni con estrategias aplicadas. Elaborado en el programa Climate Consultant

En términos generales, en la parte derecha de la zona de confort inicial, se puede lograr la temperatura adecuada con las estrategias de masa térmica, mientras que a la izquierda se logra el bienestar con el calentamiento del ambiente, sea por el calentamiento del sol, por ganancias internas o, incluso, a través del uso de sistemas convencionales de calefacción.

Estrategias por meses:

Con la intención de agrupar las estrategias por meses, fue necesario realizar ajustes en el gráfico supra mencionado para organizar e identificar las mejores estrategias por períodos.

De esta forma, en los gráficos que serán presentados a continuación se pueden observar líneas, que son representaciones de variaciones de temperatura y de humedad de cada día de los meses indicados.

Invierno - diciembre, enero y febrero:

A continuación, en el primer gráfico se puede notar que se trata de un período frío. El mes de diciembre está representado por las líneas azules más oscuras, el mes de febrero está representado por las líneas azules más claras, mientras que enero está representado por una tonalidad de azul entre ambos.

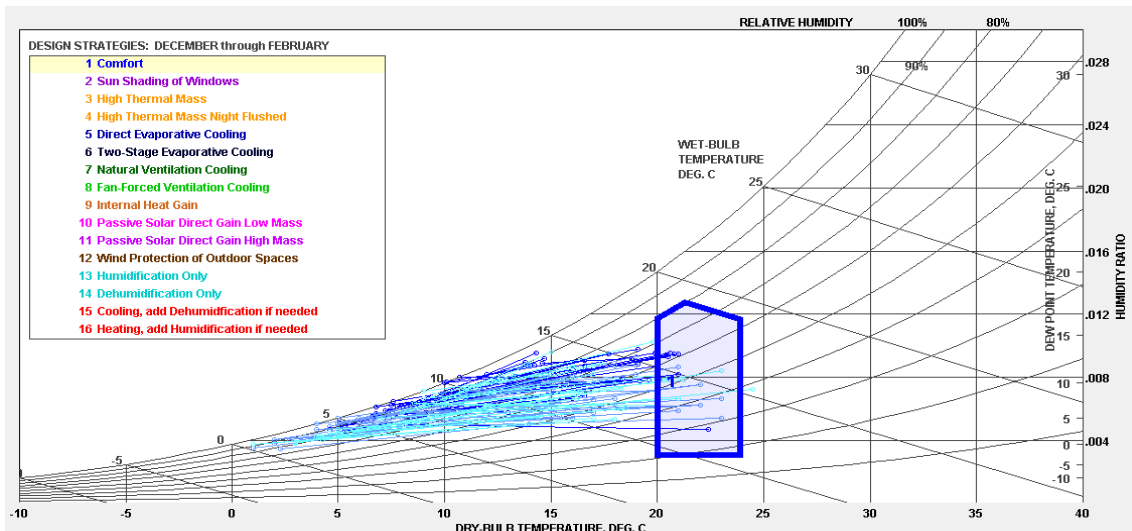


Ilustración 25 - Diagrama de Givoni para el período de invierno. Elaborado en el programa Climate Consultant

Las principales estrategias son relativas al calentamiento del espacio, como se puede observar en la imagen a seguir, donde el número 9 representa las ganancias internas de calor (zona amarilla) y el 11 representa la masa térmica (desde el rayado morado hacía la derecha).

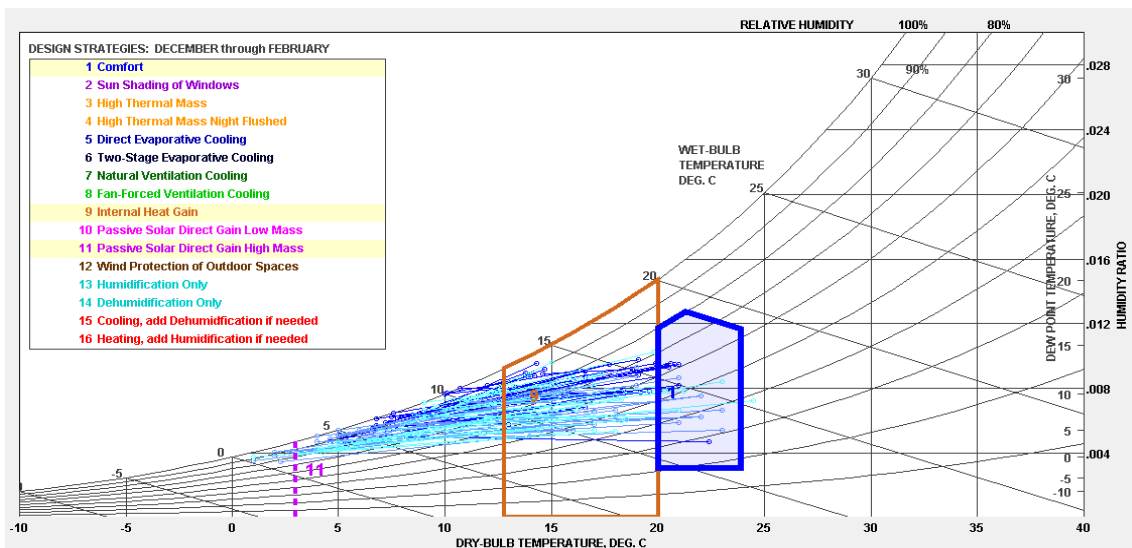


Ilustración 26 - Diagrama de Givoni para el período de invierno con estrategias aplicadas. Elaborado en el programa Climate Consultant

Las ganancias internas de calor se pueden lograr a través de aparatos de cocina en funcionamiento, como el horno, por ejemplo, o incluso, pueden ser logradas a través de la propia actividad humana dentro del espacio.

Las ganancias de masa térmica se logran a través de la combinación de paredes muy gruesas y materiales capaces de absorber el calor para liberarlo cuando el sol se ponga y necesite reequilibrar su temperatura interna con la externa. Liberando calor hacia el interior de las viviendas.

Primavera - marzo, abril y mayo:

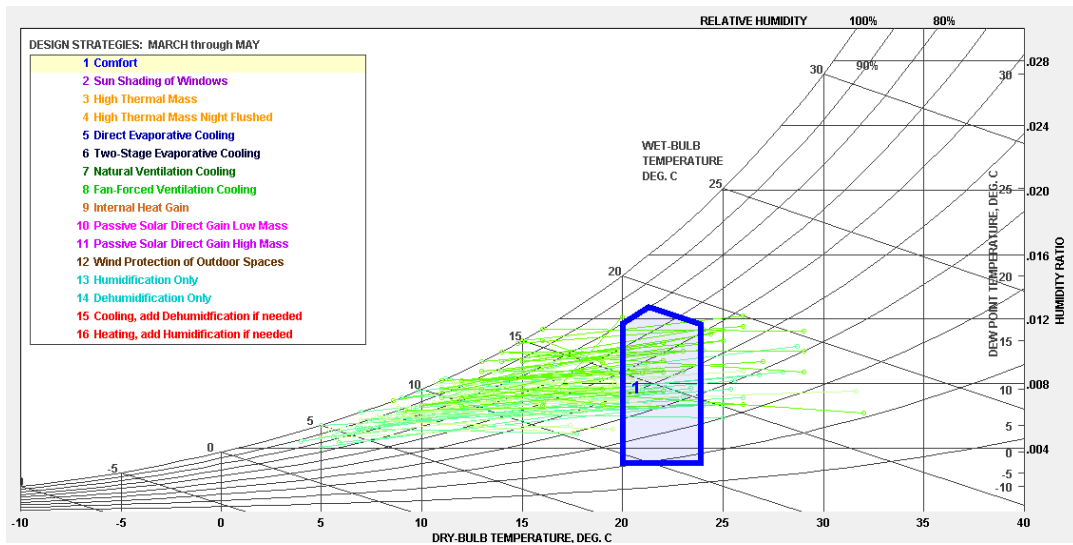


Ilustración 27 - Diagrama de Givoni para el período de primavera. Elaborado en el programa Climate Consultant

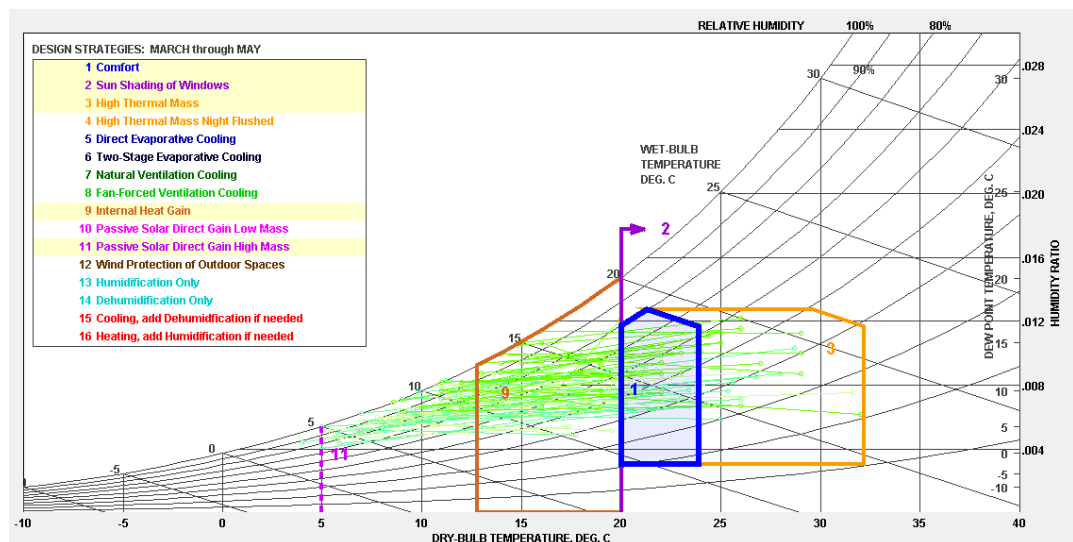


Ilustración 28 - Diagrama de Givoni para el período de primavera con estrategias aplicadas. Elaborado en el programa Climate Consultant

Con relación a los meses de marzo, abril y mayo, que es cuando las temperaturas empiezan a subir, pero todavía no extrapolan el límite del calor extremo, se notan dos

estrategias que pueden ser implementadas para sanar problemas de sobrecalentamiento en algunas horas del día, como se puede observar en el número 2 y 3, además de los presentados nos meses anteriores.

El numero 2 corresponde a estrategias de protección de la radiación solar de las partes internas, a través de voladizos, celosías y etc.

El número 3, hace referencia a las estrategias de masa térmica de la estructura de las viviendas propuestas.

Verano - junio, julio y agosto:

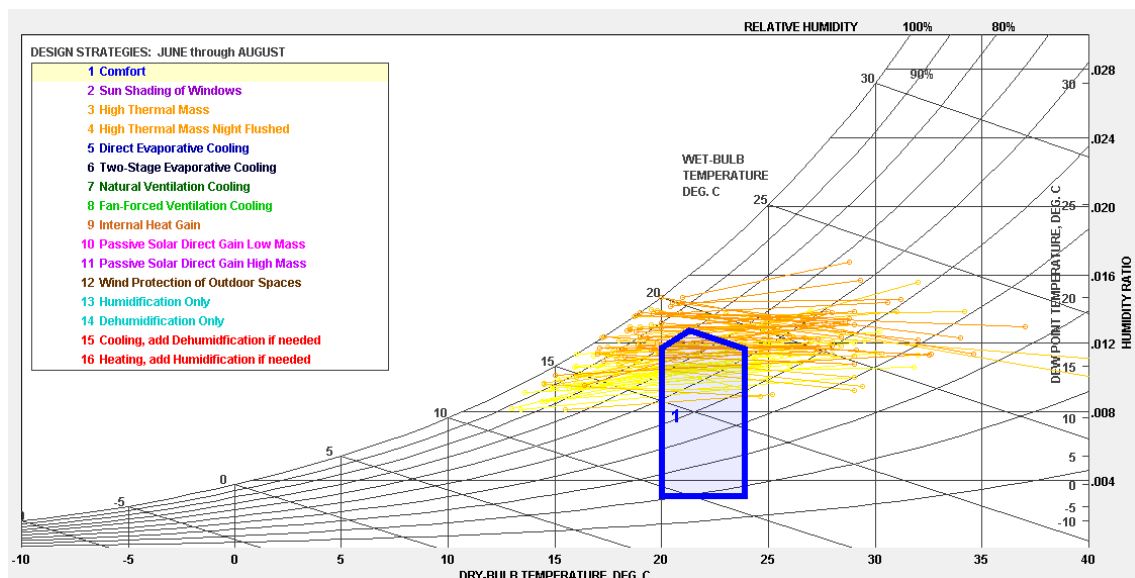


Ilustración 29 - Diagrama de Givoni para el período de verano. Elaborado en el programa Climate Consultant

Estos son los meses más calurosos del año, los que representan el verano en la ciudad analizada, y, por lo tanto, aquí estarán concentradas todas las estrategias referentes al enfriamiento del ambiente. Por esto, fue necesario demostrar estas estrategias en dos gráficos distintos, para evitar la sobreposición de líneas y colores en las imágenes.

Por lo tanto, a continuación, en el primer gráfico, se pueden observar las cuatro primeras estrategias seleccionadas para el verano, que son los números: 3, 4, 10 y 11.

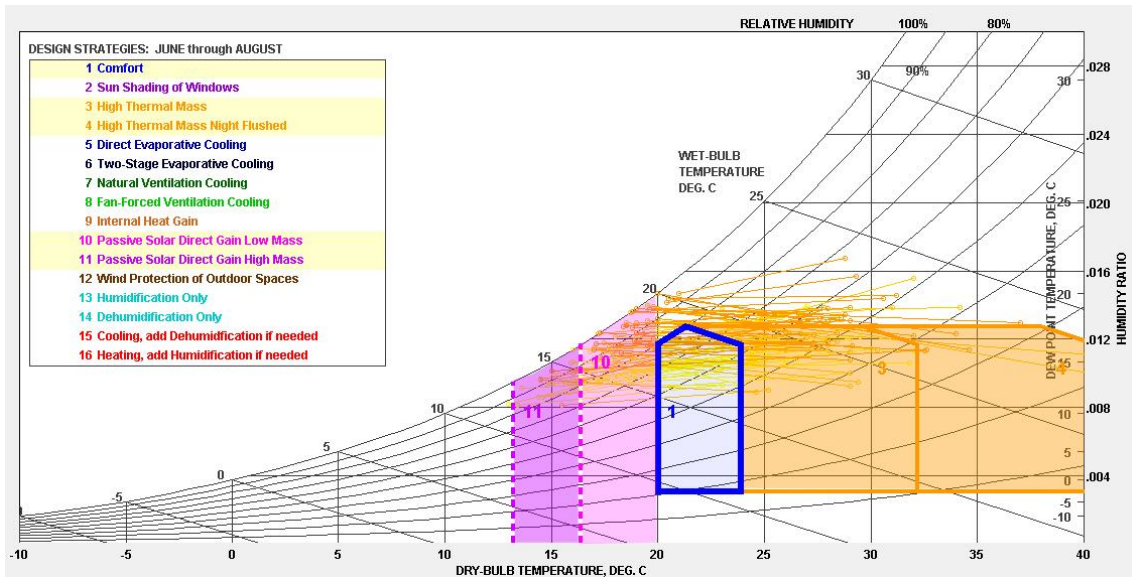


Ilustración 30 - Diagrama de Givoni para el período de verano, con estrategias aplicadas. Elaborado en el programa Climate Consultant

Los números 3 y 4 están representando las estrategias de masa térmica, siendo la zona del número 4 necesaria la ventilación natural asociada a la masa térmica del edificio, debido al alto calor. Los números 10 y 11 están representando estrategias de ganancias de calor a través de la entrada directa del sol en los ambientes.

A seguir, están representadas las estrategias para el mismo período, que son las de número 2, 7, 9 y 14.

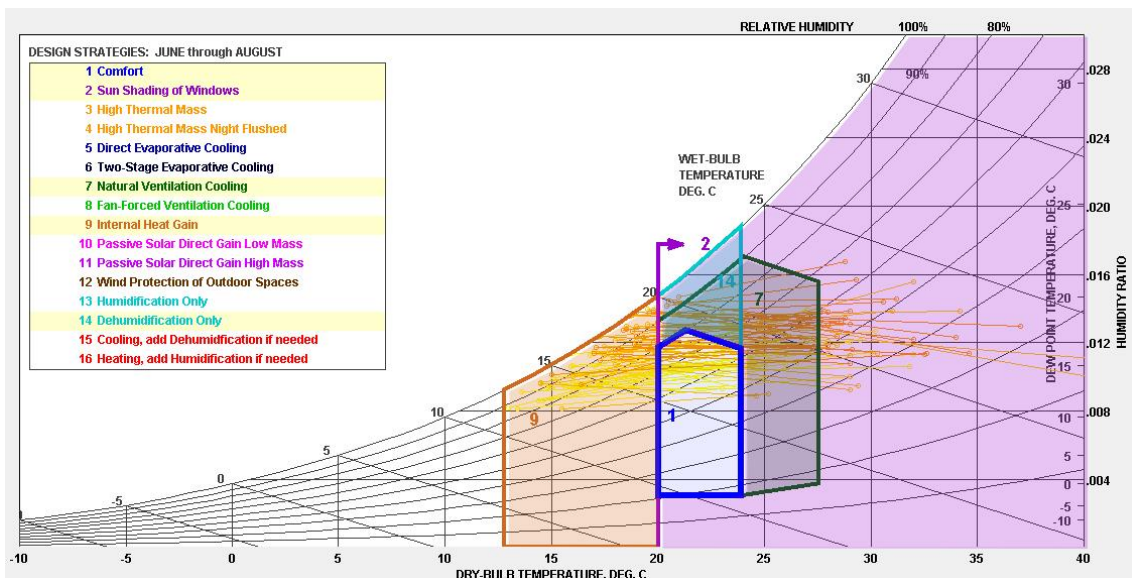


Ilustración 31 - Diagrama de Givoni para el período de verano, con estrategias aplicadas. Elaborado en el programa Climate Consultant

El número 2 indica la estrategia de protección solar, sea por voladizos, árboles, cubiertas, etc., mientras que el número 7 marca la zona donde se hace necesaria la ventilación natural de los espacios.

El número 9 indica que el bienestar puede ser alcanzado a través de las ganancias internas generadas por los equipos de la vivienda, como por ejemplo el horno, los ordenadores y cualquier motor en funcionamiento que pueda generar calor en el interior.

Es curioso estudiar y entender la necesidad de calefacción en verano, puesto que el clima es caliente, pero debido a otros factores que posibilitan el enfriamiento nocturno a través de grandes variaciones de energía, se hace menester implementar estrategias de calentamiento en verano, para una de las regiones más áridas del planeta.

Otoño - septiembre, octubre y noviembre:

Los meses de otoño en la región analizada, donde hace más frío que el verano y más calor que el invierno, necesita algunas estrategias básicas para alcanzar el bienestar.

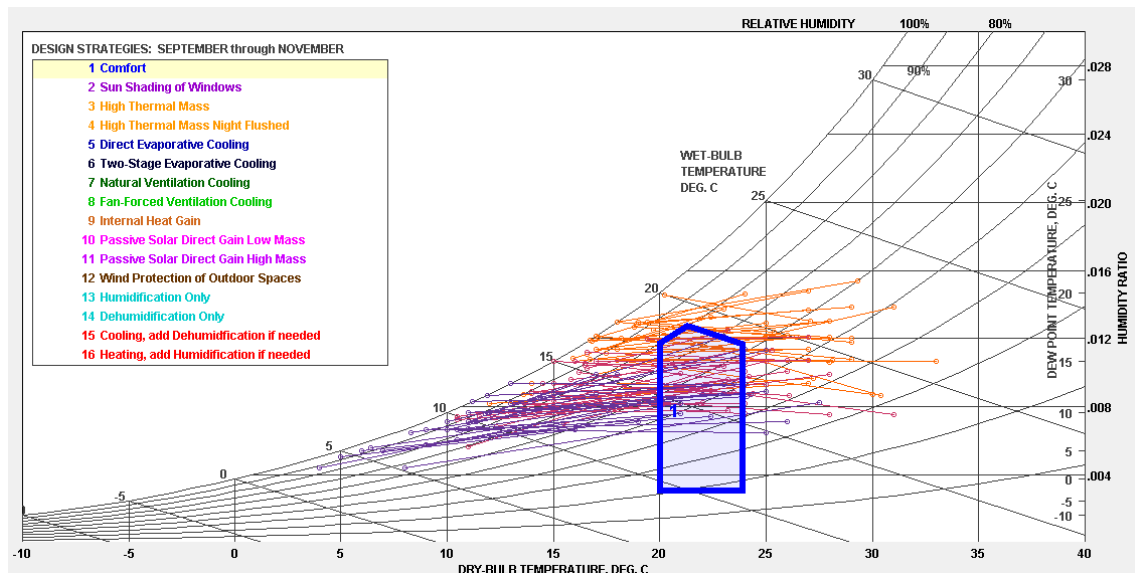


Ilustración 32 - Diagrama de Givoni para el período de otoño. Elaborado en el programa Climate Consultant

Por lo tanto, aplicando las estrategias bioclimáticas en este gráfico, se puede observar la necesidad de implementación de las estrategias 2, 3, 7, 9 y 11 para lograr el bienestar en el máximo de días posibles.

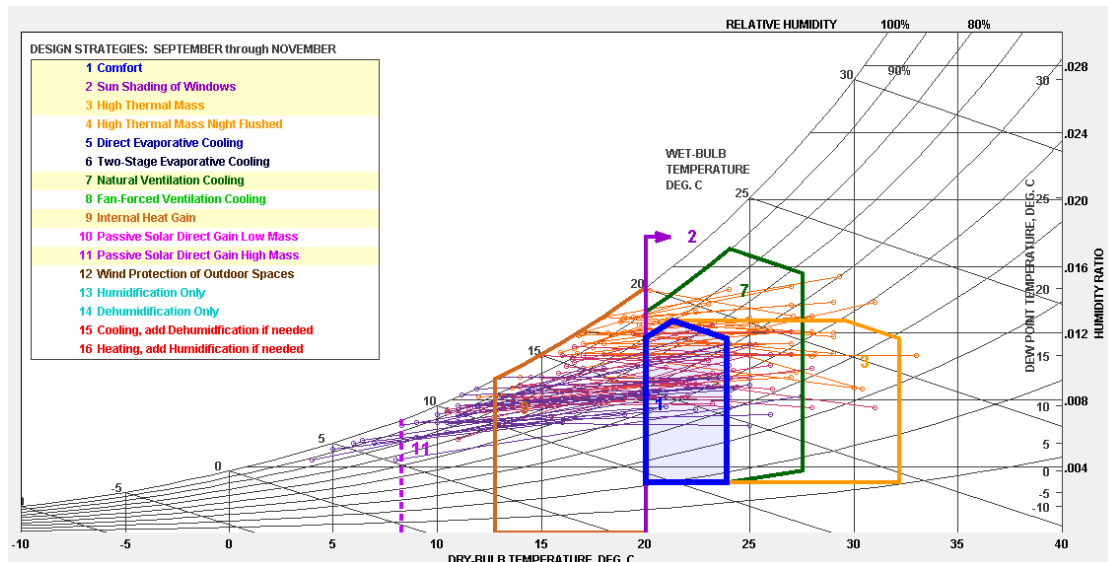


Ilustración 33 - Diagrama de Givoni para el período de otoño, con estrategias aplicadas. Elaborado en el programa Climate Consultant

Todas vistas y analizadas anteriormente, se asemeja mucho a las estrategias de primavera, añadiéndose el número 7, que aquí se hace necesario, pero en los meses de primavera, no.

Es importante mencionar que todas estas estrategias de todos los meses analizados deben ser utilizadas en conjunto, para que sea posible lograr el bienestar de forma más plena como sea posible.

A seguir, se puede observar un cuadro resumen conteniendo las principales estrategias apuntadas en el presente apartado relacionadas con las estaciones del año al cual fueron asignadas por el programa utilizado.

Tabla 1 - Cuadro Resumen de Estrategias Bioclimáticas Necesarias para el logro del bienestar en ambientes internos, segundo el diagrama de Givoni para la región de Ben Guerir.

CUADRO RESUMEN DE ESTRATEGIAS BIOCLIMATICAS NECESARIAS	
ESTRATÉGIA	PERÍODO DEL AÑO
Protección solar	Primavera/ Otoño/ Verano
Masa Térmica	Primavera/ Otoño/ Verano/ Invierno
Ventilación Natural	Otoño/ Verano
Ganancias Solares	Primavera/ Otoño/ Verano/ Invierno
Ganancias Internas	Otoño/ Verano/ Invierno

Así, el diseño de la vivienda será bioclimáticamente inteligente haciendo con que la temperatura interna se regule, dispensando la utilización de aparatos en gran parte del año, pero todas las estrategias presentadas dependen de un estudio relacionado a la Geometría Solar del local de implantación del proyecto, así como de un estudio de las precipitaciones y del régimen de vientos, conforme se podrá observar a continuación.

3.3. Gráfico de Isopletras

El llamado gráfico de isopletras, también obtenido en el programa *Climate Consultant*, ayuda al arquitecto a confirmar si las estrategias están adecuadas para los periodos del año indicados, y, ayuda también, a identificar la franja horaria del día en la cual son necesarias estrategias de protección solar o de calefacción de los ambientes internos para el logro del bienestar, conforme se puede observar a continuación.

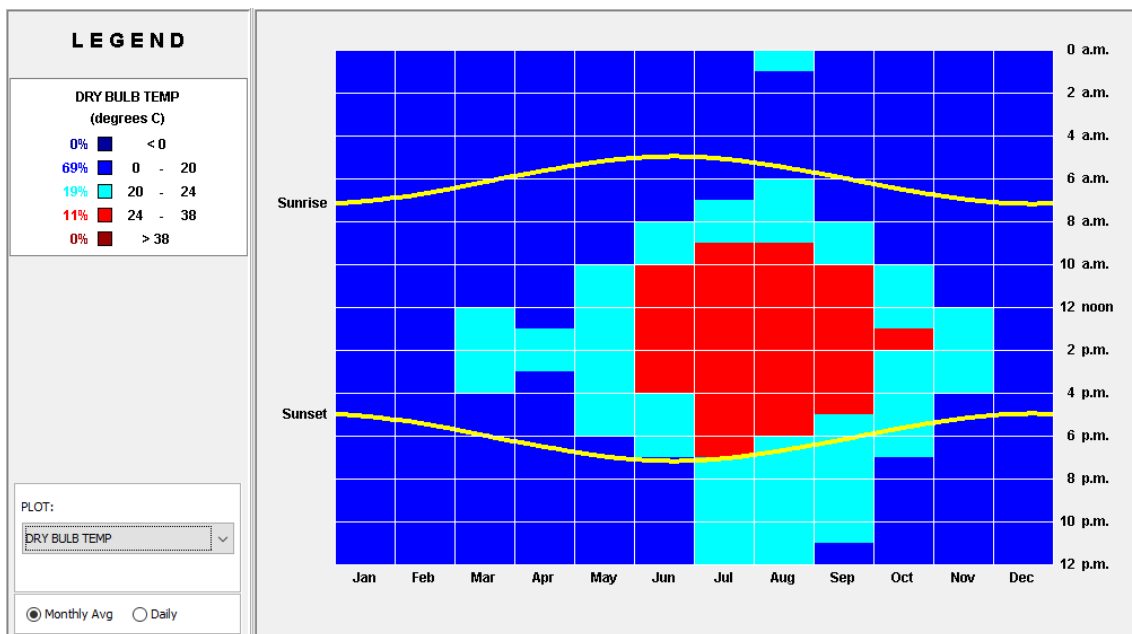


Ilustración 34 - Gráfico de Isopletras, elaborado con el programa *Climate Consultant*

Los colores indican las diferencias de temperaturas, clasificadas en cinco grupos (cuadro a izquierda), donde se pueden observar tres diferentes zonas indicadas en el gráfico. La mancha roja indica la necesidad de sombreado, mientras que la mancha azul oscura indica la necesidad de calefacción en los ambientes internos. El azul claro, indica la zona de confort.

Con relación a los ejes, el gráfico de isopletas está formado por un eje de abscisas (eje horizontal) formado por los meses del año, y por un eje vertical, formado por las horas del día. Así, se puede observar a qué hora de determinado mes se debe sombrear los ambientes internos y a qué hora se debe permitir el paso del sol.

Es importante destacar que las horas de naciente y poniente del sol están marcadas con la presencia de la línea amarilla en el gráfico.

Así, se puede confirmar que, en todas las estaciones del año, incluyendo el inicio de la mañana en verano, es necesario permitir el paso de la radiación solar, conforme se puede observar en el cuadro a continuación.

Tabla 2 - Cuadro Resumen de las horas del día en las que se debe permitir el paso del sol hacia el interior.

CUADRO RESUMEN DE LOS MESES POR LAS HORAS DEL DÍA EN LAS QUE SE DEBE PERMITIR EL PASO DEL SOL HACIA EL INTERIOR	
MESES	HORARIO
ENERO	Todo el día
FEBRERO	Todo el día
MARZO	Desde las 6 a.m. hasta las 12 p.m. Desde las 4 p.m. hasta las 6 p.m.
ABRIL	Desde las 6 a.m. hasta las 1 p.m. Desde las 3 p.m. hasta las 6 p.m.
MAYO	Desde las 5 a.m. hasta las 10 a.m. Desde las 6 p.m. hasta las 7 p.m.
JUNIO	Desde las 5 a.m. hasta las 8 a.m.
JULIO	Desde las 5 a.m. hasta las 7 a.m.
AGOSTO	Desde las 5 a.m. hasta las 6 a.m.
SEPTIEMBRE	Desde las 6 a.m. hasta las 8 a.m.
OCTUBRE	Desde las 7 a.m. hasta las 10 a.m.
NOVIEMBRE	Desde las 7 a.m. hasta las 12 p.m. Desde las 4 p.m. hasta las 5 p.m.
DICIEMBRE	Todo el día

También cubriendo la necesidad de calefacción internamente, pero no siendo posible por las ganancias solares, debido al hecho de que en determinadas horas es noche, se puede utilizar la estrategia de ganancias internas.

Esta estrategia puede ser aplicada conforme cuadro a continuación.

Tabla 3- Cuadro Resumen de las horas del día en las que se debe utilizar estrategias de ganancias internas.

CUADRO RESUMEN DE LOS MESES POR LAS HORAS DEL DÍA EN LAS QUE SE DEBE UTILIZAR ESTRATEGIAS DE GANANCIAS INTERNAS	
MESES	HORARIO
ENERO	Desde el anochecer hasta el amanecer
FEBRERO	Desde el anochecer hasta el amanecer
MARZO	Desde el anochecer hasta el amanecer
ABRIL	Desde el anochecer hasta el amanecer
MAYO	Desde el anochecer hasta el amanecer
JUNIO	Desde el anochecer hasta el amanecer
JULIO	Desde la media noche hasta el amanecer
AGOSTO	Desde la 1 a.m. hasta el amanecer
SEPTIEMBRE	Desde las 11 p.m. hasta el amanecer
OCTUBRE	Desde las 7 p.m. hasta el amanecer
NOVIEMBRE	Desde el anochecer hasta el amanecer
DICIEMBRE	Desde el anochecer hasta el amanecer

Mientras tanto, con relación a las protecciones solares, esta estrategia solamente debe de ser utilizada en algunos meses del año, conforme cuadro a seguir:

Tabla 4 - Cuadro Resumen de las horas del día en las que se debe utilizar estrategias de protección solar.

CUADRO RESUMEN DE LOS MESES POR LAS HORAS DEL DÍA EN LAS QUE SE DEBE UTILIZAR ESTRATEGIAS DE PROTECCIÓN SOLAR	
MESES	HORARIO
JUNIO	Desde las 10 a.m. hasta las 4 p.m.
JULIO	Desde las 9 a.m. hasta las 7 p.m.
AGOSTO	Desde las 9 a.m. hasta las 6 p.m.
SEPTIEMBRE	Desde las 10 a.m. hasta las 5 p.m.
OCTUBRE	Desde las 1 p.m. hasta las 2 p.m.

3.4. Geometría Solar

Teniéndose en cuenta lo expuesto sobre las horas del día donde se debe sombrear o dejar la radiación solar entrar en la vivienda, se hace menester estudiar la carta solar de la región y, considerando la latitud de $32^{\circ} 14' N$ y la longitud de $7^{\circ} 57' W$, conforme mencionado con anterioridad, el diseño de la carta solar será el siguiente:

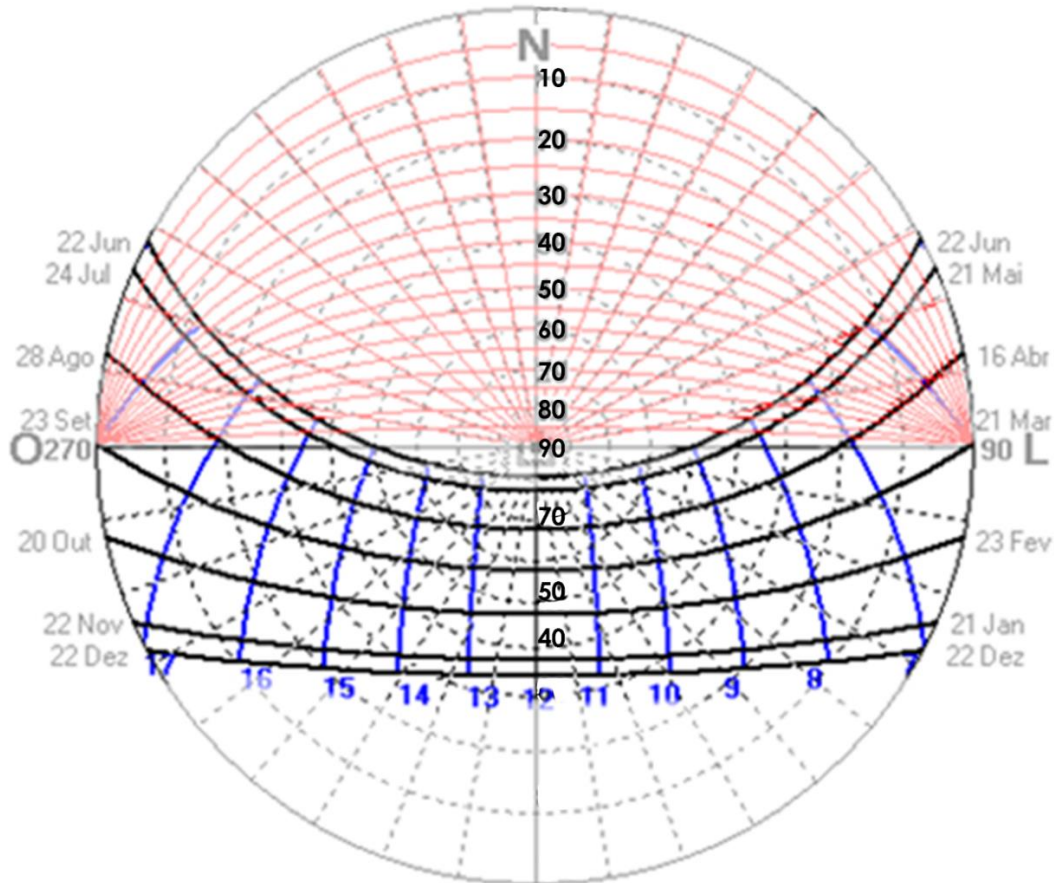


Ilustración 35 - Carta Solar elaborada con el programa SOL-AR, editado

En esta carta, es posible observar la trayectoria solar en los meses, sabiéndose que el mes de diciembre representa el solsticio de invierno (21 de diciembre), cuando el sol está más al sur y más bajo, y que el mes de junio representa el solsticio de verano, cuando el sol está más al norte y más alto.

A través de esta carta se pueden identificar los valores de los acimuts correspondientes de la región, que es importante para saber la máxima y mínima inclinación del sol con relación al suelo.

Estos valores están indicados por los círculos internos de la carta solar y corresponden a aproximadamente 35 grados para el solsticio de invierno y 80 grados para el solsticio de verano, conforme ejemplificado a continuación, lo que torna relativamente fácil la misión de proteger las aberturas de la casa de la entrada de la radiación solar en verano y permitir su paso en invierno.

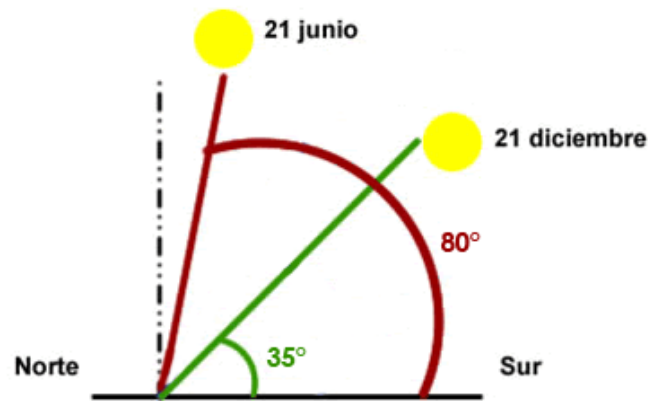


Ilustración 36 - Posición Solar a medio día en los solsticios

De forma práctica, a continuación, se puede observar el recorrido del sol en un esquema 3D, donde los solsticios están representados por la línea rosada (invierno) y por la línea azul (verano).

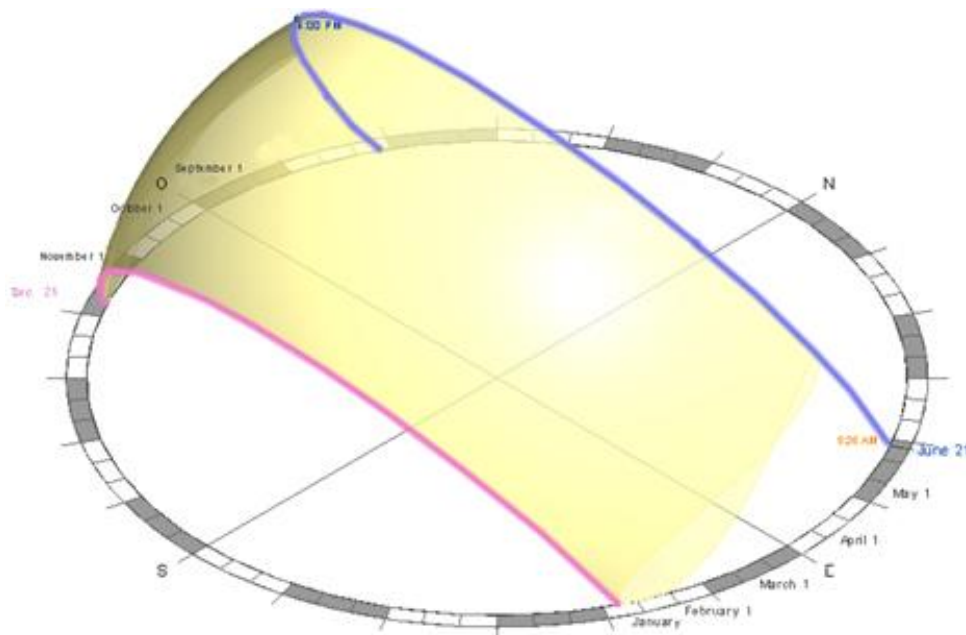


Ilustración 37 - Recorrido Solar en Ben Guerir, elaborado en el programa Autodesk Revit.

Uniendo las informaciones de la tabla 4 con la carta solar, logramos obtener informaciones acerca de los acimuts para la zona de sombra de donde es necesario protegerse del sol, conforme ejemplificado a continuación a través de la inserción de la mancha de sombra en la carta solar.

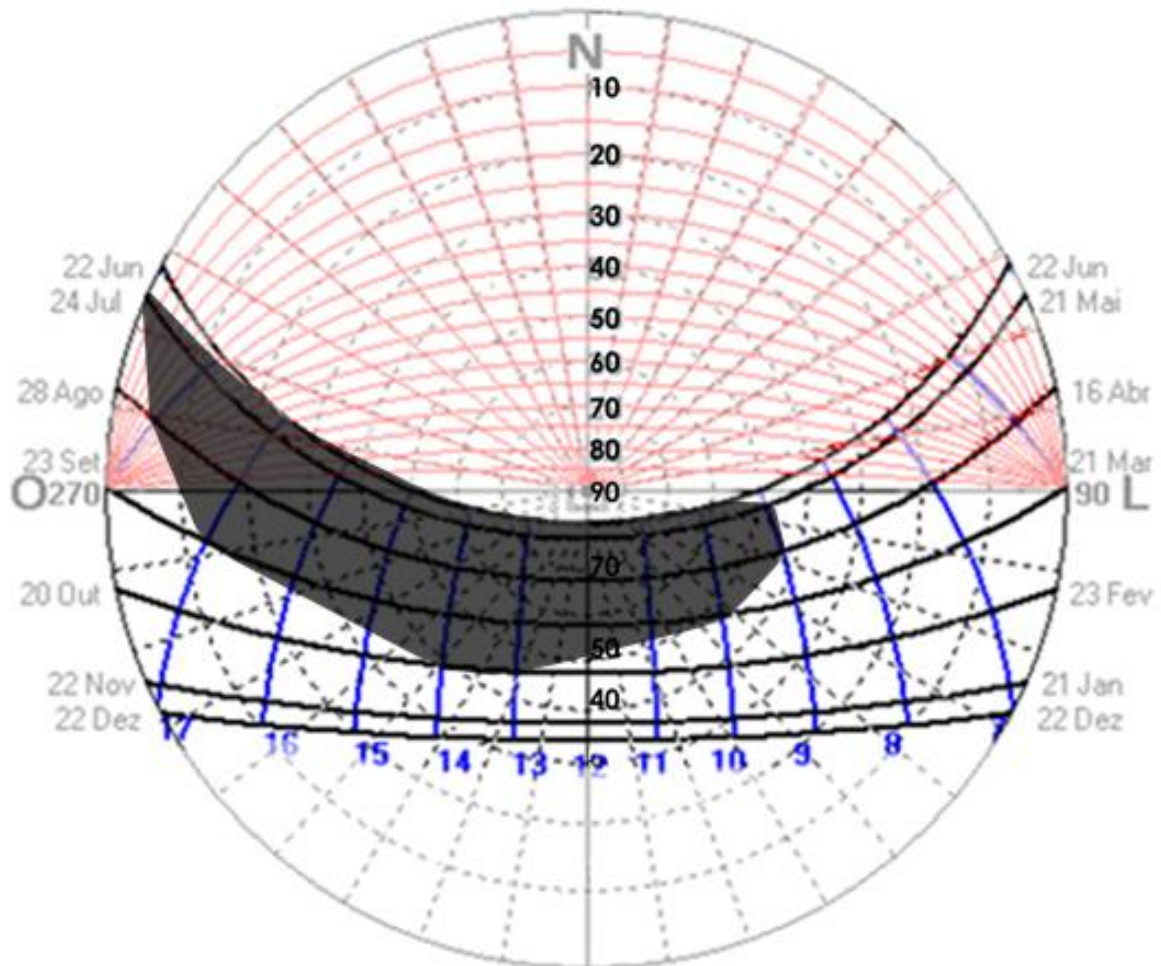


Ilustración 38 - Carta Solar elaborada con el programa SOL-AR, con marcación de las hora por meses que necesita de sombreamiento.

En esta carta solar, el sombreado corresponde a los mismos valores expuestos anteriormente, no obstante, con la carta solar es posible obtener informaciones suficientes para lograr defenderse del sol según la posición de la vivienda en el terreno.

Por ejemplo, para una fachada orientada hacia el este, se debe posicionar un volumen en la carta solar representando la vivienda, como se puede observar a continuación.

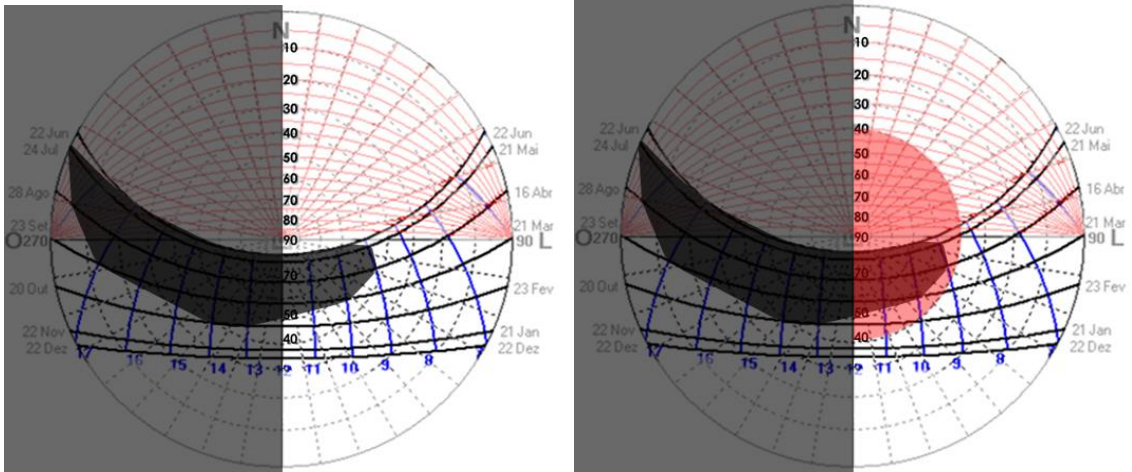


Ilustración 39 – A la izquierda está representada la construcción con la fachada orientada hacia el este. A la derecha, la diferencia está en la proyección del sombreado provocado por la construcción de un en esta fachada.

La mancha oscura rectangular en la imagen representa el volumen de la vivienda mencionada y, a partir del centro de la carta solar, es posible obtener el ángulo necesario para protegerse del sol en la orientación en cuestión, cubriendo toda la zona que debe de ser sombreada, conforme se observa en la imagen anterior de la derecha, donde el círculo rojo representa el área de sombreado de un voladizo construido, trazando el sombreado por la línea de 40 grados de la carta, lo que será ejemplificado en el apartado siguiente, sobre las protecciones solares para Ben Guerir.

3.5. Régimen de Vientos

El programa utilizado también ofrece un análisis completo del régimen de vientos, cuyos gráficos están dispuestos a continuación, donde es posible observar parámetros como, la temperatura del aire, la humedad relativa, la velocidad, dirección de los vientos y las frecuencias predominantes para diferentes épocas del año, siendo el primero para los meses de diciembre a febrero (invierno) y el segundo para los meses de junio a agosto (verano).

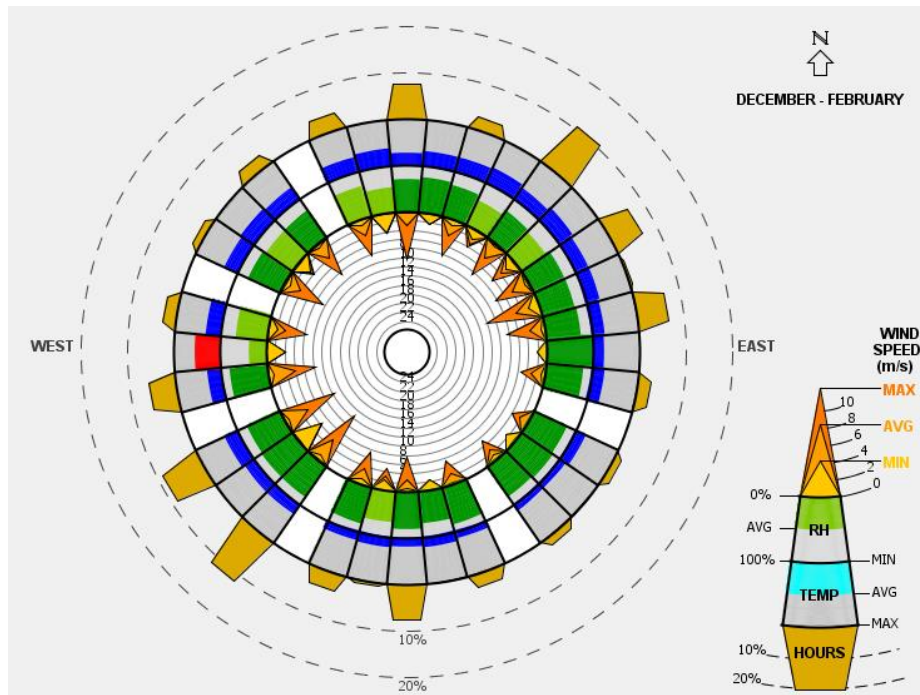


Ilustración 40 - Régimen de Vientos - diciembre a febrero, elaborado con el programa Climate Consultant

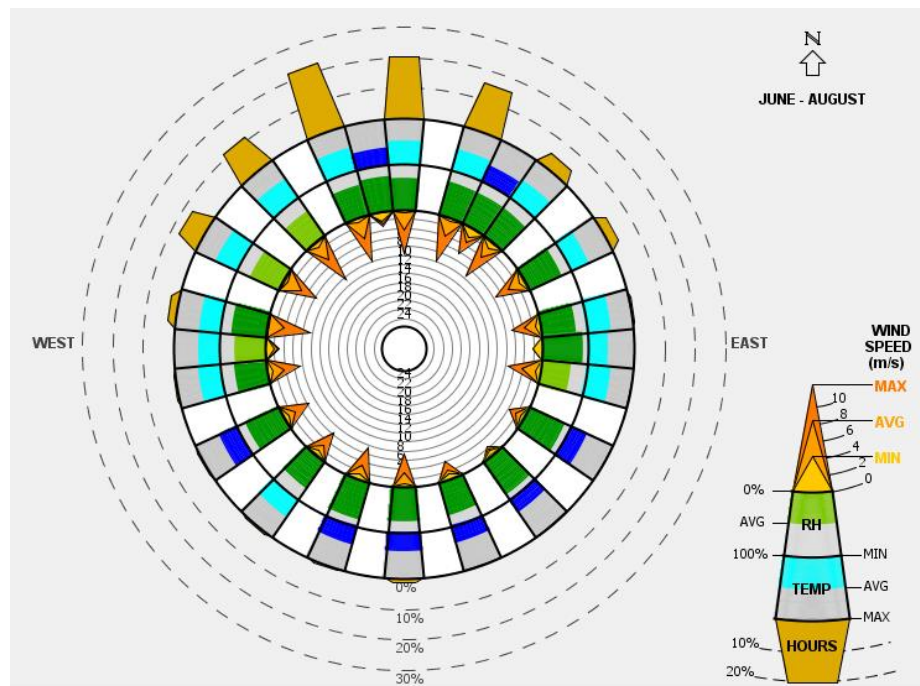


Ilustración 41 - Régimen de Vientos - junio a agosto, elaborado con el programa Climate Consultant

Como se puede observar, la dirección de los vientos es variable en invierno con una ligera predominancia del noreste y suroeste, mientras que el período de verano, el cual es necesario permitir la entrada de ventilación natural en las viviendas, hay una predominancia clara de los vientos provenientes del norte y del noroeste.

Como la dirección de los vientos en verano es importante para lograr implementar estrategias bioclimáticas relacionadas con la reducción de calor, fue retirada de la página web *windy.com* en un día corriente del mes de agosto, uno de los meses más calurosos del año, el flujo de vientos en la región, con destaque para Ben Guerir y la dirección del viento.

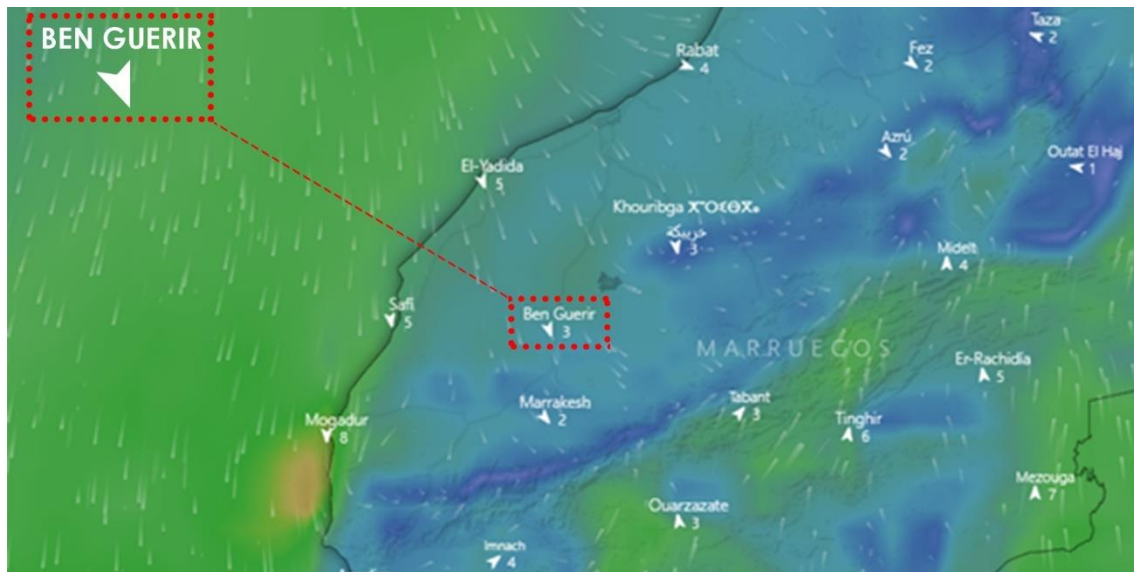


Ilustración 42 - Mapa de dirección de vientos, extraído de *windy.com* en día corriente de la última semana del mes de agosto

Los datos aquí expuestos son necesarios para el logro del bienestar en las viviendas para el período más caluroso del año, siendo importante llevarlos en consideración a la hora de proyectar, dependiendo de la ubicación del terreno en el mapa. Además, sirven para que el arquitecto sepa cuales fachadas deben de estar protegidas de los vientos fríos del invierno, para que no se enfríen los ambientes internos de la vivienda.

3.6. Precipitación

En el gráfico a seguir, se puede observar, la cantidad de precipitación, en días para la ciudad de Ben Guerir a lo largo de un año.

Según el gráfico, la cantidad de días secos para el mes más lluvioso, como es el caso de febrero, es de aproximadamente 22 días, mientras que la cantidad de días secos para el mes más seco del año es de aproximadamente 29 días, conforme representado por la barra en color amarillo en el gráfico de cantidad de representación.

Además de todo lo explicado en este ítem, entre los meses de mayo y octubre, que son los meses más calurosos del año, llueve muy poco y se puede considerar como un período de sequía en la región. Incluso, la media de días de lluvia en el mes de Julio es de 29 días.

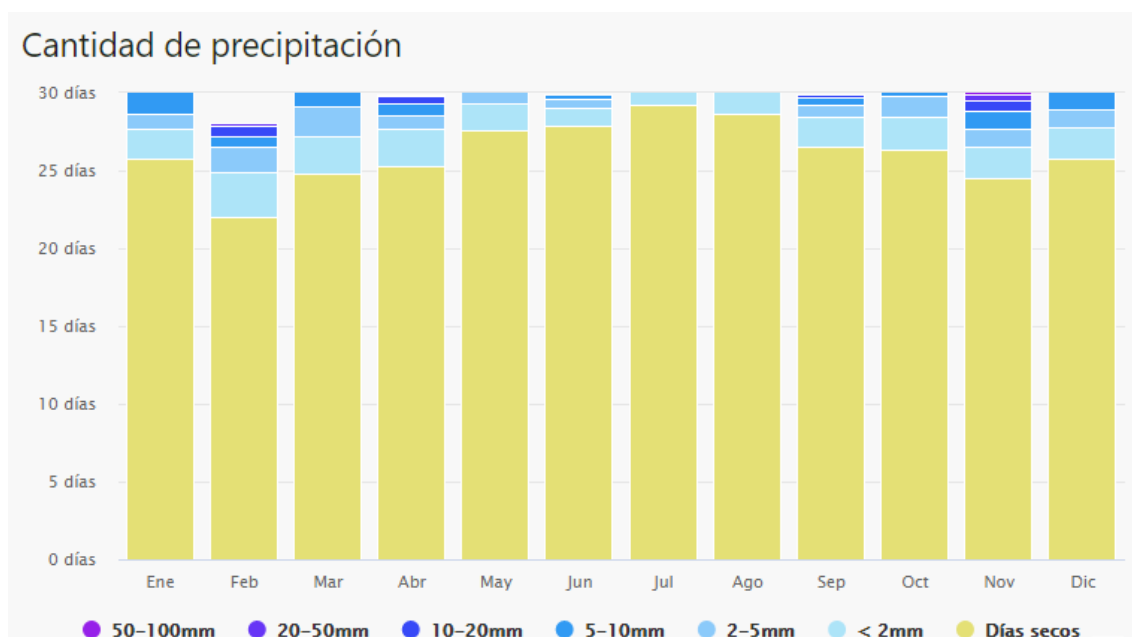


Ilustración 43 - Gráfico extraído de: https://www.meteoblue.com/es/tiempo/historyclimate/climatemodelled/ben-guerir_reino-de-marruecos_6545468

Así, se notan que los meses más lluviosos son justo los más fríos del año, de noviembre a abril. No obstante, aun así, la cantidad de días de lluvia en estos meses es irrelevante para preocuparse con estrategias relacionadas con la precipitación.

Esta información es importante, puesto que, en verano, ayudaría a trazar las estrategias contando con un nivel de aguas por meses, que, aunque mínimos, refrescarían las estructuras y quizás ayudarían a elaborar cálculos de reaprovechamiento de aguas pluviales para una vivienda.

4. PRINCIPALES ESTRATEGIAS BIOCLIMATICAS PARA BEN GUERIR

Teniendo en cuenta todas las informaciones expuestas sobre los análisis, donde el programa fue capaz de filtrar, a través del climograma de Givoni, las principales estrategias bioclimáticas para generar confort higrotérmico en ambientes internos para la región en análisis, conforme observado en el apartado 3.2, se hace menester explicar e ilustrar cada estrategia.

Cabe añadir que, al final de este documento, en el anexo uno, están listados los equipos que participaron de la competición, que se realizó en África en 2019. Sin embargo, este anexo trata de contextualizar el anexo dos, que, por su vez, explica detalladamente las estrategias utilizadas por los equipos ganadores de la competición, los tres primeros, aportando también información respecto a los materiales utilizados.

Estos anexos serían una extensión de las estrategias presentadas aquí, en el presente apartado, con informaciones prácticas de los prototipos y sus estrategias para la competición que se realizó en África en 2019.

Así, segundo análisis e informaciones obtenidas por el programa utilizado (*Climate Consultant*), las principales acciones que deben ser tomadas para el logro del bienestar interior en una vivienda ubicada en la región de Ben Guerir, son las siguientes:

4.1. Diseño Bioclimático – Orientaciones Solares Óptimas – Ganancias Solares:

Para que el diseño de la vivienda aproveche la incidencia de los rayos solares en las horas necesarias, se debe llevar en consideración la geometría solar presentada en el apartado anterior. La recomendación, es proyectar de forma que los espacios más utilizados diurnamente puedan estar orientados hacia el sur, para optimización de la calefacción de la vivienda. O sea, ambientes como el salón, comedor y zonas de estar, que son utilizadas a lo largo del día, deben de ser posicionadas al sur, para que en los días más fríos, los habitantes de la vivienda puedan aprovechar la radiación como calefacción.

Esta estrategia debe de estar presente en las cuatro estaciones del año, segundo cuadro presentado en el apartado anterior. No obstante, segundo el gráfico de isopletas presentado también en el apartado anterior, se nota una necesidad más grande en la utilización de esta estrategia para el período de invierno.

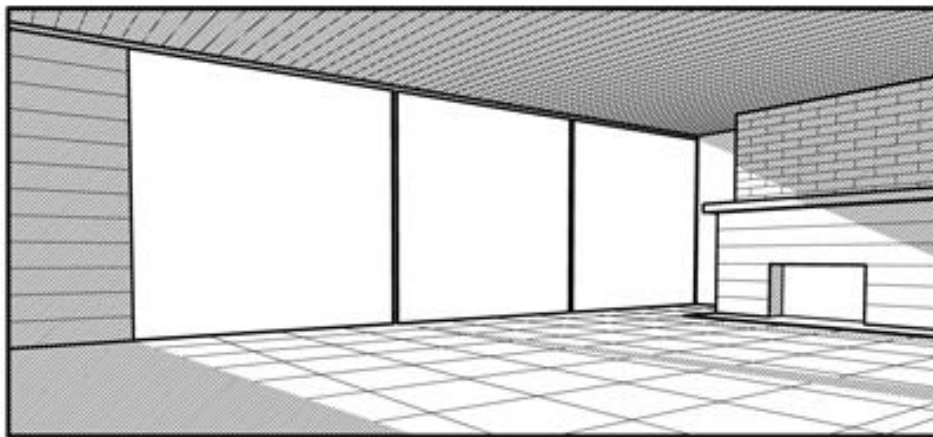
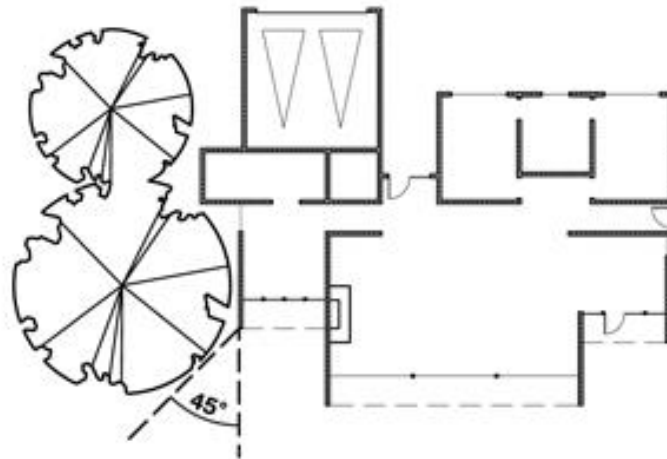


Ilustración 44 - Propuesta de Estrategia Bioclimática para Ben Guerir, elaborado con el programa Climate Consultant

La fachada orientada a sur debe permitir el paso de la radiación solar en períodos fríos y bloquearla en períodos calientes. Por lo tanto, para que esta estrategia funcione para esta región, las ventanas deben de estar protegidas en los meses más calurosos, que es lo que será visto en el próximo ítem.

4.2. Protecciones Solares:

Esta estrategia deberá ser utilizada en primavera, otoño y verano, quedando excluido el período de invierno, debido a la gran necesidad de recepción de la radiación solar en esta época del año. En los demás meses, en algunos momentos se debe proteger el ambiente interno de la radiación solar, principalmente en verano.

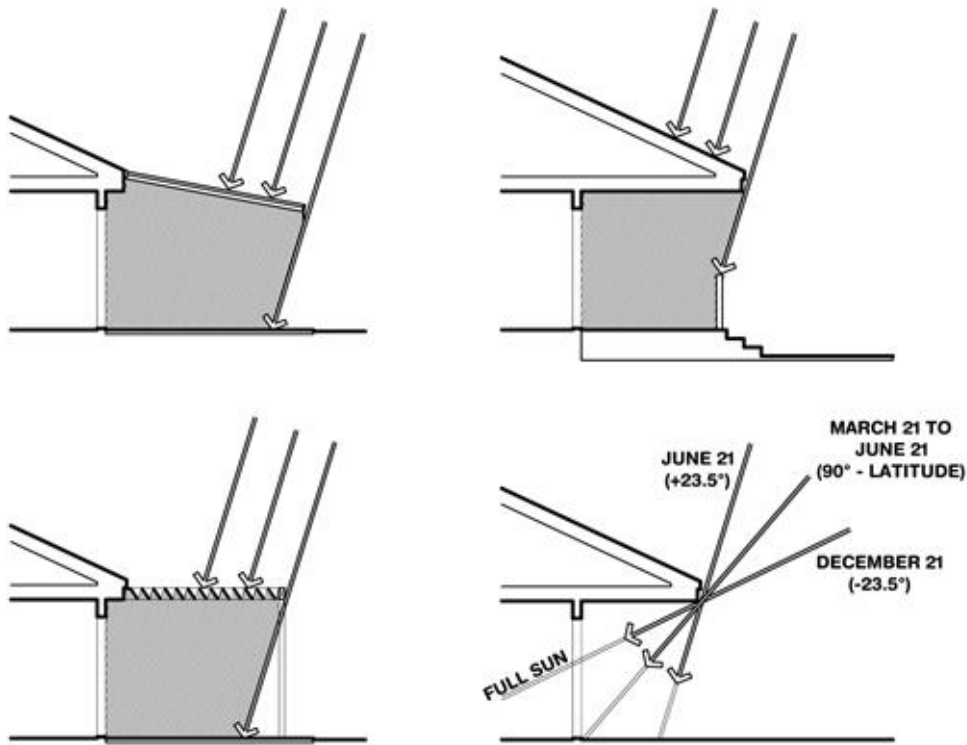


Ilustración 45 - Propuesta de Estrategia Bioclimática para Ben Guerir, elaborado con el programa Climate Consultant

Por esta razón el estudio de la geometría solar y del recorrido solar son necesarios para que sea posible proyectar de forma a respetar estas reglas básicas de confort climático. Para lograrla, se debe conocer el acimut para permitir la entrada de la radiación en invierno y bloquearla cuando sea necesario.

Así, siguiendo el ejemplo del apartado anterior, en la página 50, para sombrear las aberturas de la fachada este, por ejemplo, en la ciudad de Ben Guerir, se debe construir un voladizo que forme un ángulo de 40 grados con el rayo solar, conforme ejemplificación a continuación.

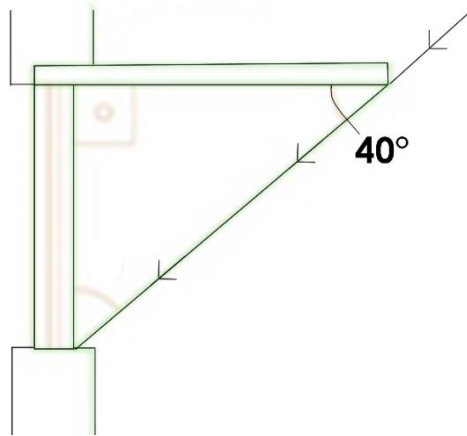


Ilustración 46 - Ejemplificación de la aplicación de un voladizo con 40 grados de inclinación solar

De esta forma, se tiene las herramientas necesarias para el cálculo del sombreado de las ventanas de la vivienda a ser proyectada, siendo posible utilizar otros medios alternativos que no sean los voladizos, como las celosías, las lamas o, incluso, el uso de vegetación como forma de bloquear la entrada de la radiación solar en verano.

4.3. Ganancias Internas:

Esta estrategia debe de ser utilizada para todas las estaciones del año, incluso en verano, debido a la gran variación de temperatura entre día y noche. Segundo la tabla 3, expuesta con anterioridad, sobre los horarios de los meses donde se debe utilizar estrategias de ganancias internas.

La propia tabla indica una diferencia de necesidad de ganancias internas entre las estaciones. En verano hay períodos del día en que las ganancias deben cesar, debido a las altas temperaturas que del día, mientras tanto, en invierno, esta estrategia puede o debe de ser utilizada durante todo el día y toda la noche.

Para esto, es necesario llevar en consideración no solamente la orientación y la protección de los huecos en los períodos del año más calurosos, sino también, las ganancias internas que son producidas con el calor liberado por los equipos de la vivienda, como la placa de cocina, las lámparas y la propia temperatura del cuerpo humano, conforme ejemplificación a seguir.

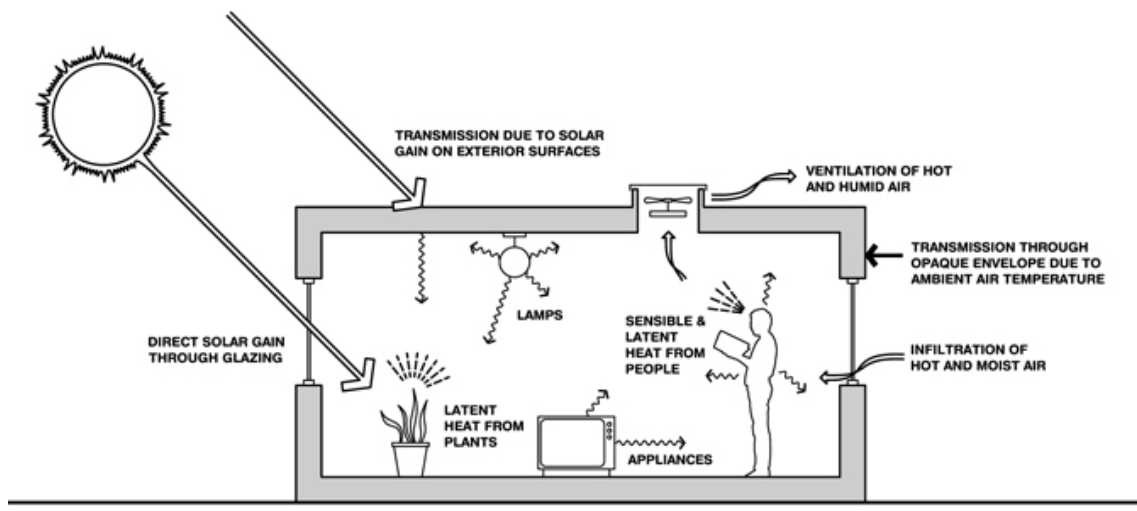


Ilustración 47 - Propuesta de Estrategia Bioclimática para Ben Guerir, elaborado con el programa Climate Consultant

4.4. Ventilación Natural:

Esta estrategia debe de ser utilizada en los meses más calurosos del año, conforme la tabla 3 del apartado anterior, sobre, las horas del día, por meses, donde se debe utilizar estrategias de protección solar.

Esta estrategia de protección solar puede y debe de ser combinada con estrategias de reducción de calor, como la ventilación natural, puesto que, se supone, que en este período del año, debido al alto calor, sea necesario ventilar para generar confort interno.

De esta forma, la ventilación natural puede reducir o eliminar el aire acondicionado del interior cuando las temperaturas están elevadas. Si las ventanas están bien sombreadas y orientadas a las brisas predominantes, que en el caso de Ben Guerir, para el verano, es norte y noroeste como observado en el apartado anterior.

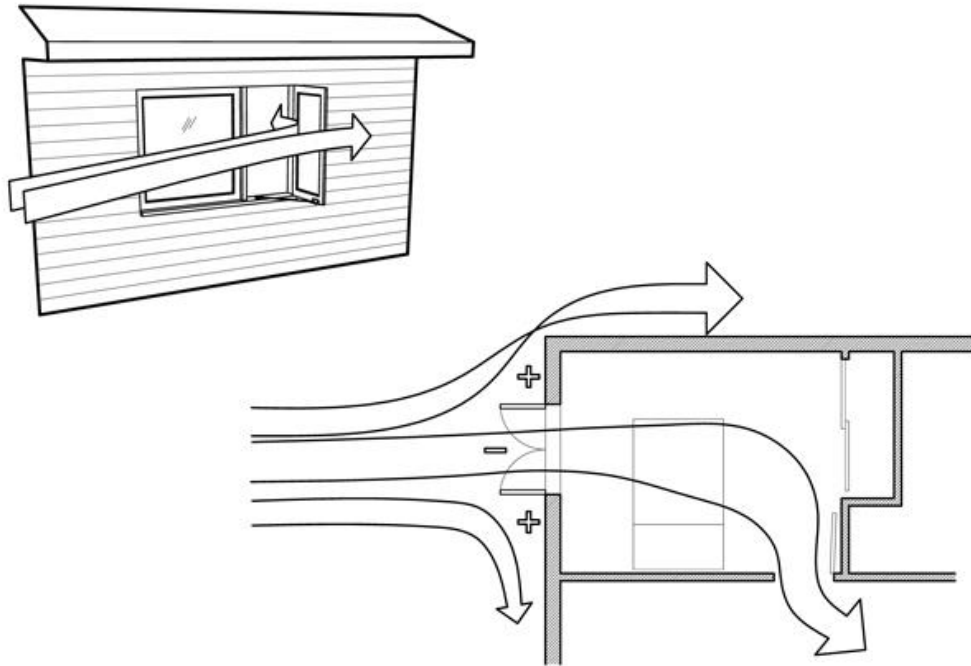


Ilustración 48 - Propuesta de Estrategia Bioclimática para Ben Guerir, elaborado con el programa Climate Consultant

Por lo tanto, posicionando las ventanas y puertas en paredes opuestas, se facilita la ventilación natural cruzada en el interior, generando un flujo de aire constante dentro de la vivienda, como se puede observar a continuación.

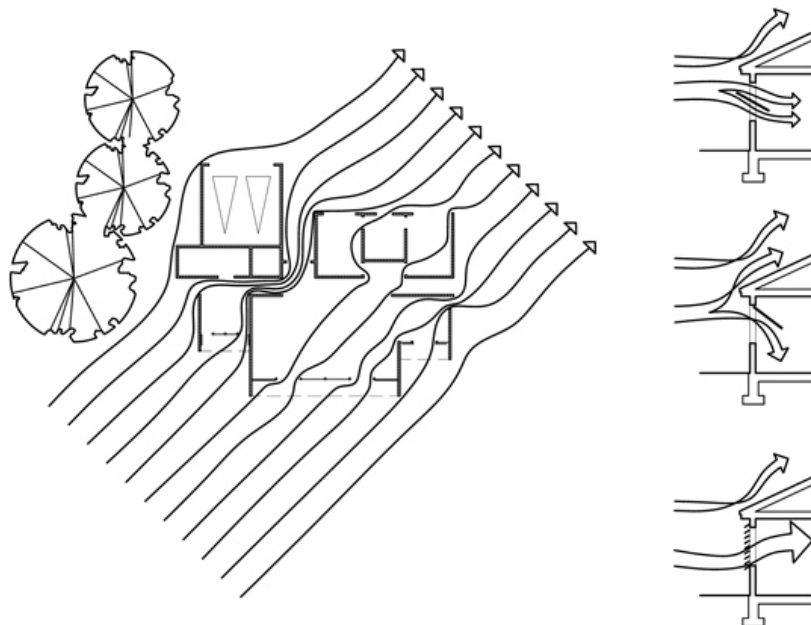


Ilustración 49 - Propuesta de Estrategia Bioclimática para Ben Guerir, elaborado con el programa Climate Consultant

Aparte de eso, el uso de aparatos de ventilación aliado a las estrategias de ventilación cruzada reduce aún más la necesidad del uso de equipos de aire acondicionado en el interior de las viviendas.

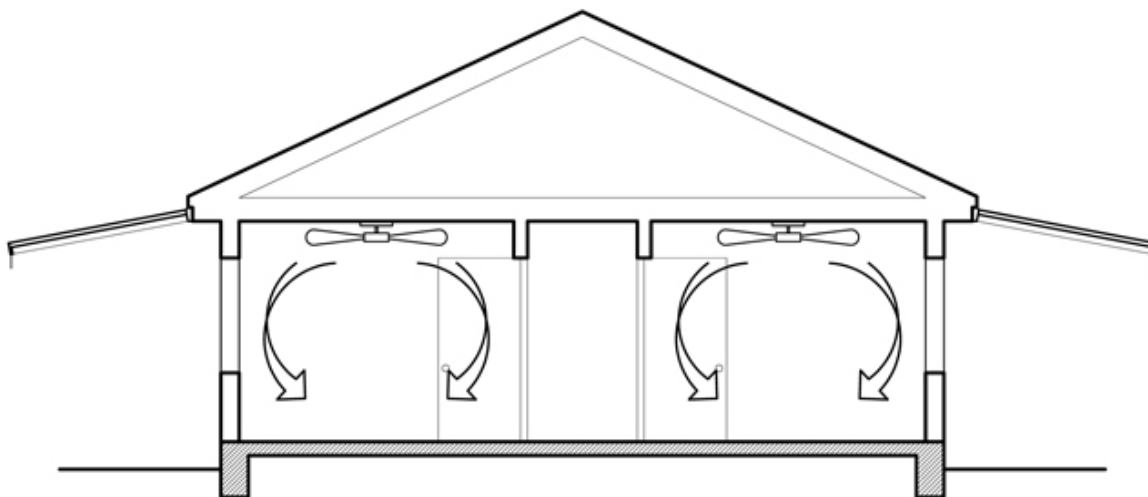


Ilustración 50 - Propuesta de Estrategia Bioclimática para Ben Guerir, elaborado con el programa Climate Consultant

También se pueden integrar las estrategias de chimeneas solares, que serán explicadas y detalladas en el apartado siguiente, en las consideraciones sobre el diseño bioclimático para condiciones de verano.

4.5. Masa Térmica:

Seleccionada para todos los períodos del año, la masa térmica es una estrategia que es utilizada en conjunto con las ganancias solares tanto para los meses más fríos, como para los meses más calientes.

En invierno, por ejemplo, el grosor de las paredes almacena el calor del sol durante el día para liberarlo durante la noche. En verano, el proceso es el mismo, pero, en este caso, la masa térmica es responsable por almacenar el calor producido dentro de la vivienda también, manteniendo la vivienda fresca durante todo el día.

Este fenómeno ocurre porque a lo largo de todas las noches, las paredes son responsables por intercambiar calor con el exterior, y como no hay incidencia de radiación solar por la noche, se enfrían, liberando calor hacia el interior de la vivienda.

Este hecho contribuye para la calefacción del espacio interno, como se puede observar en el ejemplo a continuación.

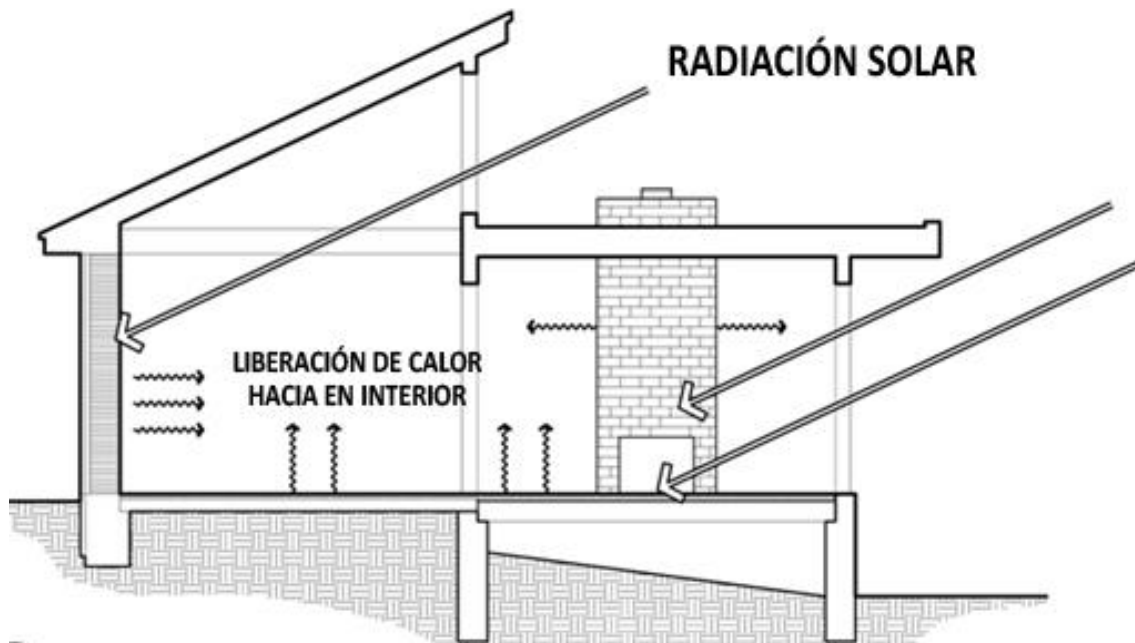


Ilustración 51 - Propuesta de Estrategia Bioclimática para Ben Guerir, elaborado con el programa Climate Consultant

4.6. Vegetación para Protección de Fachadas:

Una manera de bloquear el paso de la radiación solar, principalmente en las fachadas más críticas, como es el caso de las fachadas oeste o suroeste, por ejemplo, es utilizándose de vegetación.

Para esto, en climas como el de Ben Guerir, una opción interesante es la utilización de árboles de hojas caducas, que bloquean el sol en verano y permiten el paso de la radiación en invierno.

A continuación se puede observar un ejemplo de un plano con el uso de vegetación como protección de fachadas.

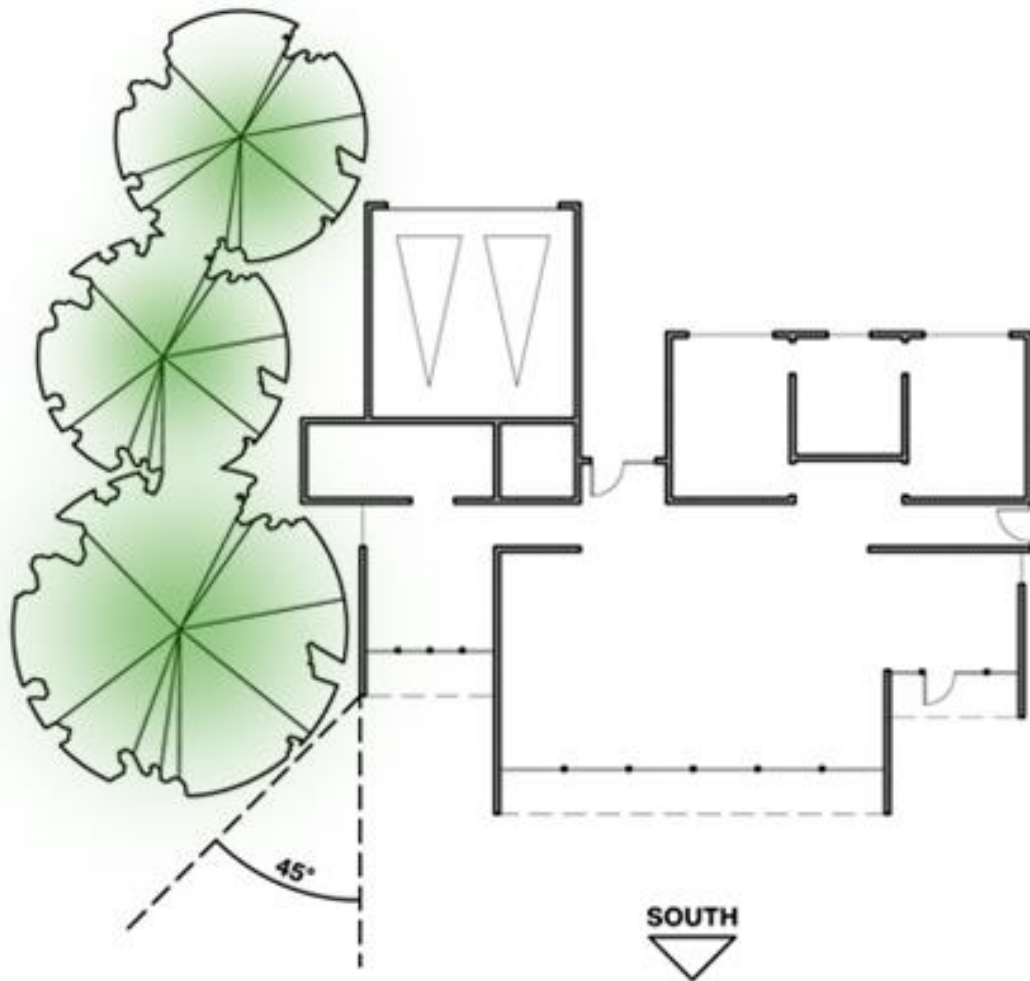


Ilustración 52 - Propuesta de Estrategia Bioclimática para Ben Guerir, elaborado con el programa Climate Consultant

4.7. Aislamiento Exterior:

Una alternativa al uso de vegetación como protección de fachadas, es la utilización de aislamiento exterior para disminuir la intensa ganancia solar característica del clima y favorecer la regulación de la temperatura interna, manteniéndola constante durante el día y la noche.

Su único problema es que en períodos donde se necesita la radiación, el aislamiento trabajará en contra del confort humano, no permitiendo el almacenamiento de calor de las superficies aisladas.

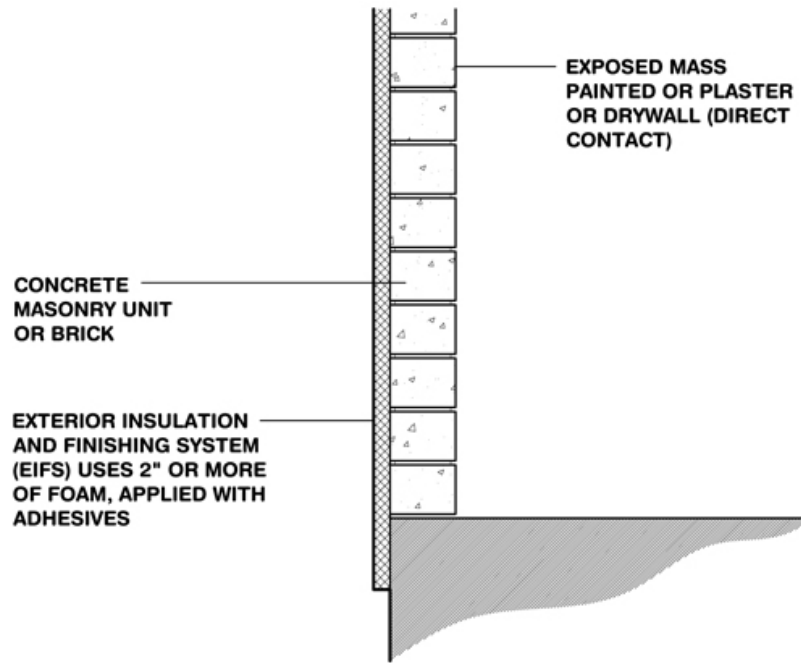


Ilustración 53 - Propuesta de Estrategia Bioclimática para Ben Guerir, elaborado con el programa Climate Consultant

5. CONSIDERACIONES SOBRE EL DISEÑO BIOCLIMÁTICO EN CONDICIONES DE VERANO

En el siguiente apartado se tratará de exponer las acciones básicas que pueden ser implementadas para evitar el sobrecalentamiento de los espacios proyectados, llevándose en consideración las condiciones de verano.

Serán expuestas estrategias bioclimáticas para los huecos, las cubiertas y las paredes de una vivienda, luego serán presentadas medidas que pueden reducir la sensación de calor en los ambientes, con las estrategias de ventilación.

5.1. Huecos

Orientaciones Óptimas

Una de las medidas más importantes a la hora de proyectar una vivienda quizás sea su orientación con relación al recorrido solar, y conociendo este recorrido se puede hacer un estudio para la implementación de las ventanas y huecos acristalados de una vivienda, puesto que, estos elementos permiten la entrada de la radiación solar sin casi ninguna reducción y deben ser inseridos mediante previo estudio.

El estudio es necesario porque desde la visión exclusiva de verano, se debe proteger, pero hay que llevar en consideración que la entrada de la radiación solar en invierno es un fuerte aliado del ahorro energético de una vivienda, siendo necesaria la captación de esta misma energía que se protege en verano.

Por esta razón, y llevándose en consideración la ciudad de Ben Guerir, que está ubicada en el hemisferio norte, se debe tener mucha atención con las fachadas oeste y sur.

La fachada oeste puede ser considerada, en términos de calentamiento, como la orientación más desfavorable, puesto que la radiación incide directamente en ella al final del día, con el agravante del sol ya haber calentado toda la estructura de la casa, lo que no ocurre con tanta intensidad que la fachada este, ya que el sol incide directamente en ella por la mañana, cuándo toda la estructura de la vivienda aún está fría.

En algunas regiones del planeta, como es el caso del clima semiárido, la fachada este debe de ser protegida de igual manera, debido a la intensidad solar en esta franja climática, siendo necesario hacerse un estudio solar completo para lograr saber los horarios en que se debe proteger.

Selección de Vidrios

Existen tres grandes grupos de vidrios que pueden ser instalados en una vivienda y están divididos en: vidrios acristalados no aislantes, los acristalamientos dobles y los acristalamientos aislantes a la radiación.

Tanto los acristalamientos simples como los dobles pueden ser divididos en tres subgrupos: los incoloros, los coloreados y los reflectantes. La diferencia entre los tres ocurre en la cantidad de radiación solar penetrante que reducen, siendo los reflectantes los más eficaces en este sentido, pero, hay que llevar en consideración que de la misma manera que evita la entrada de parte de la radiación en verano, su capacidad protectora será igualmente eficaz en invierno, lo que no es funcional en regiones con inviernos fríos y que necesitan de calentamiento pasivo en determinadas épocas del año, como es el caso de Ben Guerir, siendo lo más adecuado los vidrios simples, que aliados a estrategias de protección solar para el verano, permiten la entrada de la radiación en invierno, como se podrá observar en el apartado a continuación.

Protecciones Solares en los Huecos

Como dicho, las protecciones solares son una excelente alternativa para proteger en verano y permitir el paso del sol en invierno.

Existen diversos tipos de protecciones, y cada una tiene una forma diferente de proteger la vivienda del sol. Existen parasoles verticales, parasoles horizontales, parasoles mixtos o en cajas, lamas horizontales, lamas horizontales de desarrollo vertical, lamas verticales de desarrollo horizontal y lamas en celosías, que son algunos de los ejemplos más relevantes para uso como protección solar de huecos, como se puede observar a continuación.

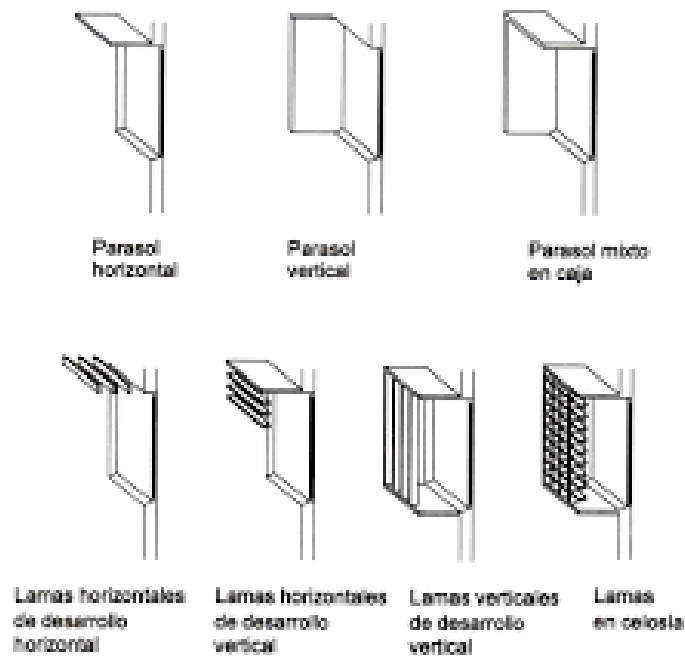


Ilustración 54 - Imagen obtenida en la página 291 del libro: *Arquitectura Bioclimática en un enfoque sostenible*, de Fco. Javier Neila González

Además de estas estrategias se suelen utilizar, en regiones con veranos cálidos, como es el caso de Sevilla, toldos y persianas en la protección de balcones, dispuestas de forma a proteger el sol y permitir el paso del viento, conforme ilustrado en la imagen a continuación.



Ilustración 55 - Marbella, Málaga, España. Fuente: Propia

5.2. Cubiertas

La cubierta es el elemento de una vivienda que recibe más cantidad de radiación solar a lo largo del día, siendo la parte que más se calienta en toda la estructura, peor aún si es plana y sin obstrucciones, ya que recibiría radiación desde la primera hora del día hasta la última.

La situación se empeora aún más si se considera que no se suelen utilizar materiales claros en su composición, siendo más común la utilización de materiales de colores más oscuros, que poseen gran capacidad almacenadora de energía y, por eso, se convierte en uno de los elementos más vulnerables en términos de calentamiento estructural.

Cubiertas Ventiladas

Este tipo de cubierta no representa un grande gasto si comparada a la estructura original y consiste en la facilitación de la entrada y salida del aire del interior del tejado de una vivienda para reducir el calentamiento de la estructura mediante la ventilación, debido al hecho de que el aire caliente tiende a subir, según se puede observar en la imagen a continuación.

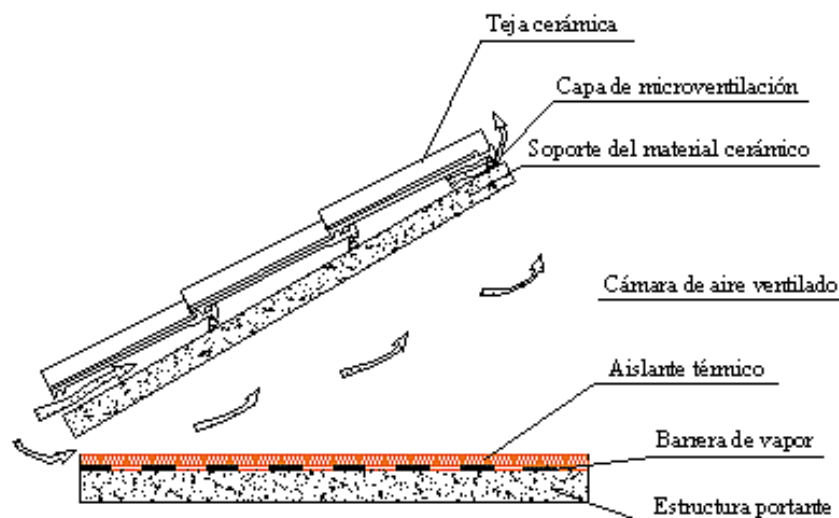


Ilustración 56 - Obtenido de: <https://br.pinterest.com/pin/595530750701333347/>

Así, se facilita la entrada de vientos en la parte inferior a fin de eliminar el aire caliente de su interior, y la ventilación provocada también trabaja de forma a reducir el calor absorbido por la parte exterior de la estructura.

Cubiertas Verdes

Entre sus funciones podemos citar la captación de agua de lluvia, la contribución para la resiliencia climática, la mejora de la calidad del aire, la reducción de los niveles de ruido, la reducción del efecto de la isla de calor y la contribución para el bienestar higrotérmico en las edificaciones.

Generalmente se mencionan tres tipos de cubiertas verdes: las ecológicas, las semi-intensivas y las intensivas. Ellas son clasificadas conforme la finalidad, la cantidad de sustrato, el nivel de mantenimiento y las especies de plantas que son aceptadas.

El caso del proyecto de Solar Decathlon es interesante saber con más detalles sobre las características de la implementación de las cubiertas ecológicas, también llamadas de cubiertas ajardinadas extensivas, conforme se observa a continuación.

Características de las Cubiertas Ecológicas:

- Compuesta por una capa con aproximadamente 8 centímetros de sustrato, una capa de geotextil, una reservada para el drenaje y una membrana impermeabilizante antiraíces;
- Bajo coste de construcción y mantenimiento;
- Menor peso sobre la edificación, comparada a otros tipos de cubiertas ajardinadas.

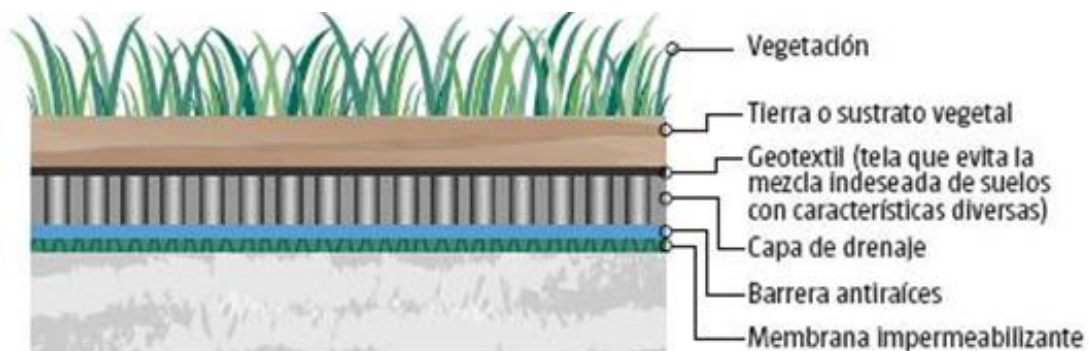


Ilustración 57 – Cubierta vegetal, extraído de: <http://www.tumejorhipoteca.es/2011/09/ventajas-de-vivir-bajo-un-jardin.html>

5.3. Paredes

Muro Verde

Las paredes verdes son instalaciones arquitectónicas verticales formadas por una estructura especial que permite el plantío. Existen diversas maneras de construir una pared verde, siendo más común la utilización del sistema geotextil, compuesto por una base estructural impermeable, un módulo de geotextil, una capa de riego por goteo y otra capa de bolsas de geotextil para el plantío.

Este sistema es bastante difundido siendo considerado como uno de los más comunes por su practicidad y facilidad de instalación, como ilustrado a continuación.



Ilustración 58 - Obtenido en: <https://www.gania.pe/jardines-verticales/>

Características específicas del sistema:

- Fácil y rápida instalación
- Opción de embutir sistema de riego eficiente
- Distribución eficiente del riego debido a la utilización del geotextil
- No necesita mano de obra especializada

Características generales:

De manera general las paredes verdes poseen características con resultados interesantes a la hora de proyectar y, además, puede ser considerada como una forma de agricultura urbana, presentando beneficios en diversos aspectos, como, por ejemplo:

- Atractivo artístico – por su belleza
- Mejora de la calidad de aire generado tanto en interiores como en exteriores
- Mejora de la calidad de vida, principalmente si instaladas en espacios interiores
- Creación de biodiversidad en zonas grises
- Reducción del efecto de isla de calor cuando instaladas en las fachadas
- Reducción de la demanda energética del edificio cuando instaladas en las fachadas

Fachadas Ventiladas

Sistema constructivo que tiene como finalidad crear una cámara de aire que provoca una ventilación natural en la fachada donde está instalado, siendo un eficaz sistema de aislamiento por el efecto chimenea. Este sistema es eficaz para eliminar puentes térmicos y problemas de condensación de un edificio.

Existen diversas maneras de construir una fachada ventilada y sus tipos pueden diferenciarse por el material empleado, por la fijación del sistema o por su textura y acabado.

El sistema consta de un muro de soporte, una capa de aislante anclada al muro de soporte y una capa de revestimiento, que en general está anclada por una estructura de aluminio, conforme se puede observar en la imagen a continuación.

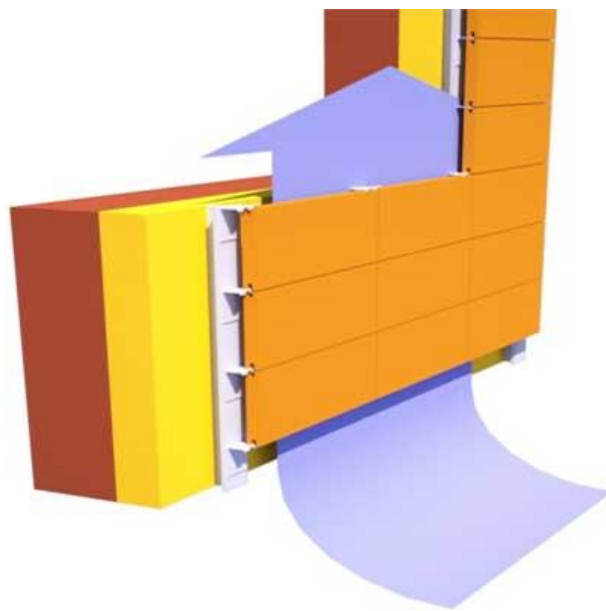


Ilustración 59 - Obtenido de: <https://www.siberzone.es/blog-sistemas-ventilacion/efecto-chimenea/>

La capa externa ayuda a reducir las pérdidas del edificio. En verano el aire que se encuentra en el interior de la cámara se calienta por el calentamiento de las placas externas y, por efecto convectivo, circula y renueva la cámara con aire más fresco, creando una capa de protección en el edificio, siendo una opción de aislante externo. En invierno, este efecto no ocurre, debido al hecho de que el aire no se calienta lo suficiente para circular, y, así, se mantiene en la estructura, creando una capa de aire caliente externa en el edificio, conservándose mejor el calor de dentro.

5.4. Reducción de la Sensación de Calor

Ventilación Natural Cruzada

De acuerdo con la gráfica generada sobre la predominancia de viento en la región analizada se puede posicionar las ventanas de la vivienda de forma a favorecer la entrada de los vientos en los períodos más calientes del año, puesto que esta es la forma más natural, intuitiva y ecológicamente correcta del hombre de refrescarse y refrescar el ambiente en un día caliente, abriéndose las ventanas.

Sabiéndose de eso, se debe buscar, en la fase de proyecto un sistema de ventilación que no solo trabaje en las fachadas con las mejores orientaciones con relación al estudio de predominancia de los vientos, sino también con aberturas en fachadas opuestas o adyacentes a estas primeras, creando una ventilación natural cruzada en los ambientes internos de la vivienda.

Este sistema permite que el aire se renueve con más facilidad y, consecuentemente, reduciendo la temperatura interna, de modo a eliminar o reducir el sobrecalentamiento de forma natural.

Chimenea Solar

Otra estrategia bastante difundida en el medio de la arquitectura bioclimática para este mismo fin son las chimeneas solares, que funcionan permitiendo la incidencia solar en su estructura para el calentamiento del aire a fin de extraer aire del interior de la vivienda, mejorando, así, la ventilación interna.

Estos elementos arquitectónicos poseen una de sus superficies, la que recibe mayor intensidad solar, acristaladas y un color oscuro en su interior. El objetivo es que la radiación entre y caliente la superficie negra, de forma a calentar el aire en su interior, conforme se puede observar en la imagen a continuación.

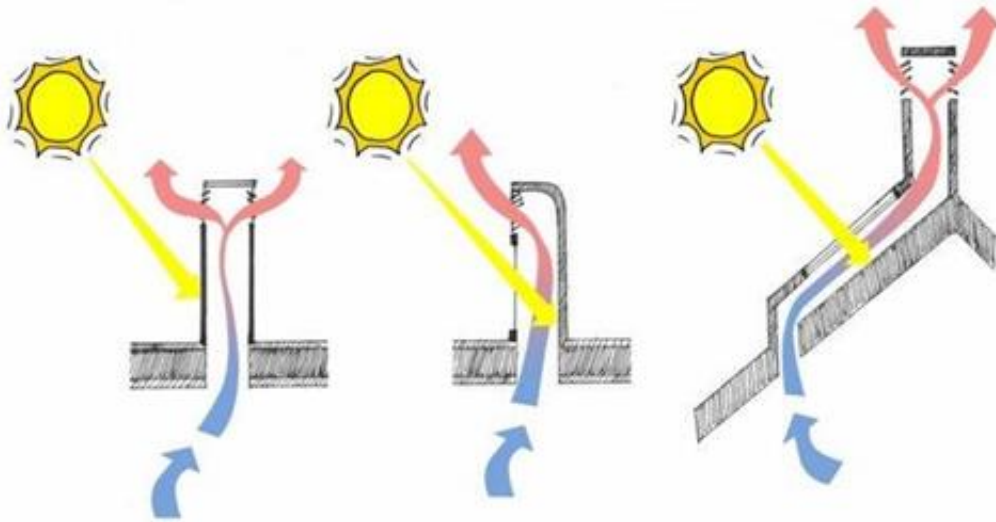


Ilustración 60 - Obtenido de: <https://www.nuevamujer.com/bienestar/2015/03/09/pinta-tu-chimenea-de-negro-para-calefactar-o-refrescar-tu-casa.html>

No obstante, este elemento puede ser utilizado también como forma de introducir en la vivienda el aire caliente de la chimenea a través del cierre de las compuertas que salen hacia el exterior.

Humidificadores de aire – enfriamiento evaporativo

Esta estrategia trata de enfriar el aire por la evaporación del agua. Es común, en Marruecos y en el norte de África en general encontrarse viviendas con patios internos, algunos de ellos, además de estos patios cuentan en su interior con la presencia de agua en forma de fuentes, estanques, recipientes, aljibes, además de la presencia de vegetación en estos espacios.

Estos elementos contribuyen para el fenómeno llamado enfriamiento evaporativo, donde la combinación movimiento del aire, agua y evaporación son los protagonistas. El agua absorbe energía del aire y lo humedece, por lo tanto, para lugares con veranos calientes y secos, este fenómeno ofrece un resultado satisfactorio, puesto que el aire en este ambiente saldrá fresco y húmedo.

6. CONSIDERACIONES SOBRE EL DISEÑO BIOCLIMÁTICO EN CONDICIONES DE INVIERNO

Teniendo entendidas la base para la implementación de las estrategias bioclimáticas para el verano, el próximo apartado se dedicará a la exposición y explicación de las acciones básicas para el invierno a fin de aprovechar, de forma pasiva, los recursos disponibles en la naturaleza.

Serán expuestas estrategias bioclimáticas con base en tres pilares fundamentales, la captación, el almacenamiento y la distribución de la energía disponible, pudiendo ser clasificada en cuatro categorías, conforme expuesto a continuación.

6.1. Captación Directa

Según lo que fue expuesto en el apartado anterior sobre las protecciones solares, es importante permitir el paso del sol en condiciones de invierno para que las ganancias solares favorezcan en el ahorro de energía y contribuyan para la reducción de la dependencia de la utilización de aparatos y equipos de calefacción en una vivienda.

Para su buen funcionamiento solo es necesario un buen diseño, aprovechando las mejores orientaciones y sabiéndose de la necesidad de protegerse en verano, conforme expuesto con anterioridad.

6.2. Captación Directa con Lazo Convectivo

Invernadero

Considerado un sistema de calefacción pasiva, el invernadero es un espacio construido con vidrio, techos y paredes, para que se favorezca el calentamiento de este espacio mediante la radiación solar que entra.

Además, la vivienda debe estar conectada con el invernadero, sea a través de compuertas y o ventanas, de modo a favorecer la ventilación, que ocurre debido a la diferencia de temperatura y de presión del aire o por veces de manera forzada.

El sol calienta el aire que se encuentra en el invernadero y este circula por toda la vivienda a fin de alcanzar el confort interior, y, por esto, su diseño debe de ser bien ejecutado, considerando la mejor orientación solar a fin de favorecer el calentamiento del espacio y, también, proyectando el recorrido del aire caliente por la vivienda, a través de conductos y/o aberturas.

De esta forma, se reduce, o incluso se puede evitar, el uso de aparatos mecánicos para realización de esta función en la vivienda, siendo una estrategia bioclimática conveniente para regiones de inviernos fríos.

En el caso de regiones donde hay temperaturas elevadas en verano, se debe prever y proyectar protecciones solares y aberturas hacia el exterior, a fin de que este espacio no se caliente en este período.



Ilustración 61 - Ejemplo de invernadero en una vivienda. Obtenido de: <https://www.certificadosenergeticos.com/invernadero-sistema-calefaccion-pasiva>

6.3. Captación Retardada por Acumulación

Cubierta Estanque

Aunque sea una estrategia más difundida para en período de invierno, puede ser utilizada también en verano. En invierno, esta estrategia consiste en la acumulación de calor del sol en la cubierta a través de la presencia de agua. El sol calienta el agua durante el día y, durante la noche, con el auxilio de aislantes térmicos móviles en la superficie del agua, se evita que el calor acumulado se pierda, calentando así, la vivienda, conforme se puede observar a continuación.

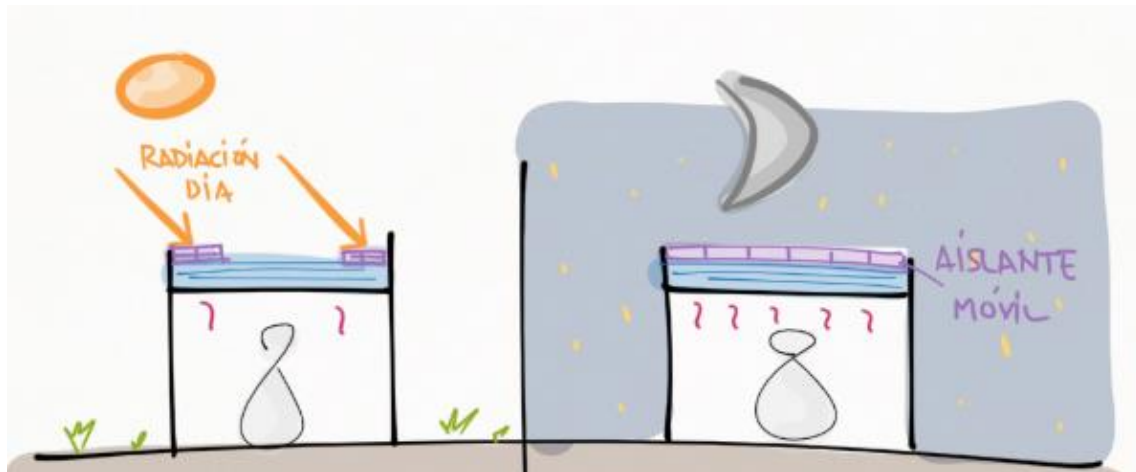


Ilustración 62 – Funcionamiento de Cubierta Estanque. Obtenido de: <https://angelsinocencio.com/cubierta-estanque/>

En verano, el proceso es el opuesto, manteniendo el aislante móvil durante el día para que la radiación solar no caliente el agua. Durante la noche se retiran los aislantes para que se aproveche el enfriamiento evaporativo provocado por este sistema.

6.4. Captación Directa con Acumulación y Lazo Convectivo

Muro Trombe

El Muro Trombe es un sistema pasivo de calefacción que funciona a través de la captación solar y la circulación de aire. En verano debe estar protegido de la radiación solar directa y puede ser utilizado para apoyar la ventilación natural cruzada en la vivienda, pero su principal función es el de liberar calor absorbido por su estructura hacia el interior, conforme se puede observar a continuación.

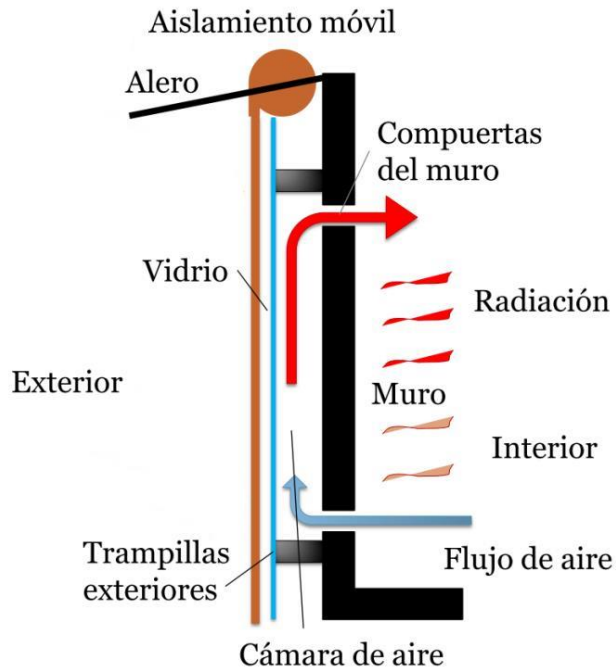


Ilustración 63 - Funcionamiento del Muro Trombe. Obtenido de: <https://angelsinocencio.com/diferencias-entre-un-muro-trombe-y-parietodinamico/> (editado)

El sistema está compuesto por: Una pared interna construida con materiales de masa térmica elevada, como la piedra o el adobe, y una pintura negra en la parte exterior para potencializar la absorción de calor; Un panel de vidrio simple en el exterior con compuerta; Huecos internos para la circulación de aire con compuerta. Además de contar con un aislante térmico móvil y un voladizo para protección en los meses más calurosos.

7. MATERIALES AUTÓCTONOS DE LA REGIÓN

El continente africano posee buenos ejemplos de arquitectura vernácula, como fue visto con anterioridad, pero ¿de qué están hechas estas viviendas? ¿Cuáles son sus características? ¿Aportan algo de confort para las personas en su interior? ¿Qué debemos saber sobre estos materiales y cómo funcionan?

Estas preguntas que se deben hacer después de entender el clima y la dinámica del local, saber cómo los materiales se comportan en cada región del planeta es importante para su implementación en el proyecto arquitectónico o no.

Por esta razón, serán estudiados los principales materiales utilizados en los ejemplos de arquitectura vernácula del continente africano a fin de profundizar este entendimiento, para entonces empezar a discutir el diseño y las estrategias más adecuadas para la región.

Se sabe que los materiales determinan parte del ahorro de energía de una vivienda, puesto que, en el caso de una pared de una vivienda, dependiendo de su masa térmica, pueden o no retener calor o frío para liberarlo en otro momento del día.

Por eso, los materiales que componen la estructura y la piel de una vivienda o edificio son muy importantes para el ahorro de energía y el confort humano en su interior.

A continuación, serán presentados algunos ejemplos de materiales que pueden ser implementados en el proyecto, apuntando sus características, ventajas y desventajas.

7.1. Tierra

7.1.1. Técnica: Adobe

El adobe es una técnica de construcción con tierra bastante difundida en el continente africano, incluso ha sido muy utilizada en Andalucía y regiones similares por todo el planeta.

La fabricación de ladrillos de Adobe consiste en la mezcla de tierra, fibra vegetal y agua, conforme se puede observar a continuación.

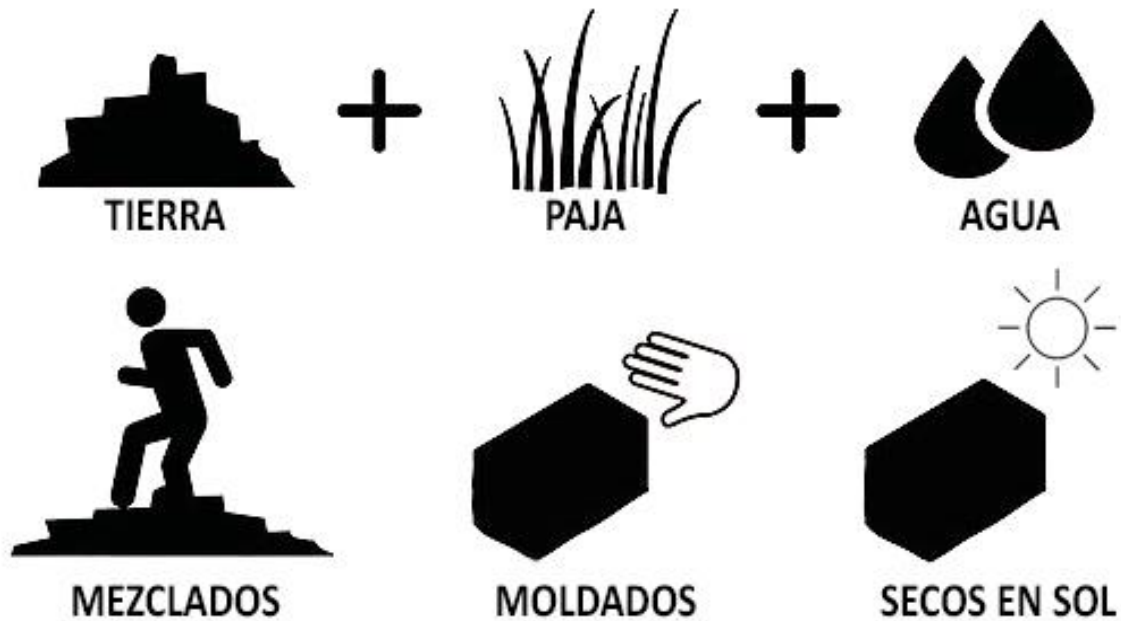


Ilustración 64 - Paso a paso para la elaboración de ladrillos de Adobe. Elaboración propia.

La tierra utilizada es una mezcla de arcilla con arena y aunque la resistencia final depende de las condiciones de la tierra disponible en el momento de la producción, la mezcla ideal es el 30% de arcilla con 70% de arena.

Esta tierra es mezclada con una fibra vegetal y cabe al productor elegir lo que haya disponible en la región o lo que sea más económico. De forma general, el ladrillo puede estar compuesto por diversos tipos de pajas, siempre y cuando estén limitados a 10 o 15 centímetros de largo.

La función de la fibra vegetal es la de conferir mayor resistencia, estabilizando la tierra utilizada, disminuyendo la retracción y las fisuras en el proceso de secado.

Una vez realizada la mezcla, normalmente utilizándose de técnicas de pisoteo, los ladrillos pueden ser moldados manualmente, a través de moldes hechos de madera, siendo retirado el molde cuando el ladrillo esté seco.



Ilustración 65 - Molde para producción de ladrillo de Adobe. Fuente propia.

Después de haber moldado los ladrillos, se debe sacar el molde y dejarlos cociendo en el sol y el resultado se puede observar a seguir.



Ilustración 66 - Ladrillos de Adobe sobrepuestos. Fuente propia.

El tiempo para que estén secos y listos para utilización es de aproximadamente 3 días. No obstante, este tiempo puede variar en función del tipo de tierra, la cantidad de agua utilizada o las condiciones climáticas de la región.

Hay también la opción de hacerlo de manera mecánica con un mezclador y moldes prefabricados.

Ventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Bajo coste de producción.
<ul style="list-style-type: none"> • Posibilita la participación comunitaria.
<ul style="list-style-type: none"> • Si correctamente dimensionado y tratado, no permite el paso de la humedad hacia el interior de la vivienda – funciona como un regulador de la humedad interior.
<ul style="list-style-type: none"> • Comportamiento térmico – grandes propiedades de aislamiento térmico y acústico, mantiene un ambiente de bienestar en el interior – funciona como un regulador de la temperatura interior.
<ul style="list-style-type: none"> • Efectos inocuos sobre el ambiente.
<ul style="list-style-type: none"> • Producción de bajo impacto ambiental.
<ul style="list-style-type: none"> • 100% reciclable y biodegradable.
<ul style="list-style-type: none"> • Material natural, ecológico y local.

Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Bloques pesados, difíciles de manejar.
<ul style="list-style-type: none"> • Ladrillos sensibles a la humedad.
<ul style="list-style-type: none"> • Demora en el secado de los ladrillos, que pueden tardar hasta tres días.
<ul style="list-style-type: none"> • Muros exteriores requieren gran cantidad de mantenimiento.
<ul style="list-style-type: none"> • No recomendable para zonas con alto nivel de pluviosidad o áreas sujetas a movimientos sísmicos.

7.1.2. Técnica: Tapial

El Tapial es una técnica constructiva que consiste en una mezcla de tierra y agua, de manera a formar un material no muy húmedo. Su técnica requiere el relleno y compresión de esta tierra en un molde prefabricado de madera.

La compactación es realizada sometiendo la tierra a golpes para comprimirla dentro de un encofrado de madera, como se observa a continuación.



Ilustración 67 - Ejemplo de un encofrado de madera para compresión de tierra. Extraído de: <http://construyediferente.com/tapial-tecnica-antigua-nueva/>

El encofrado está formado por tablas de madera y deben ser resistentes para aguantar la presión que ejerce la tierra en su proceso de compactación.

Esta técnica puede producir bloques de tapial o compactar la pared entera directamente en el local donde estará posicionada como se puede observar en el ejemplo a continuación de pared compactada *in situ*.



Ilustración 68 - Extraído de: <https://www.arkiplus.com/tapiales-en-la-construccion/>

Como se puede observar en la imagen, la compactación es realizada por capas y es importante que estas capas no tengan más de 15 centímetros para garantizar la buena compactación de esta tierra, para que no haya fallos en su estructura.

Ventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Bajo coste de producción.
<ul style="list-style-type: none"> • Posibilita la participación comunitaria.
<ul style="list-style-type: none"> • Si correctamente dimensionado y tratado, no permite el paso de la humedad hacia el interior de la vivienda.
<ul style="list-style-type: none"> • Comportamiento térmico – grandes propiedades de aislamiento térmico y acústico, mantiene un ambiente de bienestar en el interior.
<ul style="list-style-type: none"> • Efectos inocuos sobre el ambiente.
<ul style="list-style-type: none"> • Material natural, ecológico y local.

Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Bloques pesados, difíciles de manejar.
<ul style="list-style-type: none"> • Ladrillos sensibles a la humedad.
<ul style="list-style-type: none"> • Demora en el secado de los ladrillos, que pueden tardar hasta tres días.
<ul style="list-style-type: none"> • Muros exteriores requieren gran cantidad de mantenimiento.
<ul style="list-style-type: none"> • No recomendable para zonas con alto nivel de pluviosidad o áreas sujetas a movimientos sísmicos.

7.2. Paja

7.2.1. Técnica: Balas de Paja

Posee muy poco impacto ambiental por ser generado a través de los desechos de la agricultura, siendo un sistema que utiliza materiales naturales y renovables.

Actualmente, su construcción consiste en paneles prefabricados de madera y balas de paja, que son compactados mecánicamente para este fin, representando una evolución de la técnica implementada en el pasado de construcción con paja, agregando ventajas y eliminando deficiencias en el antiguo sistema.

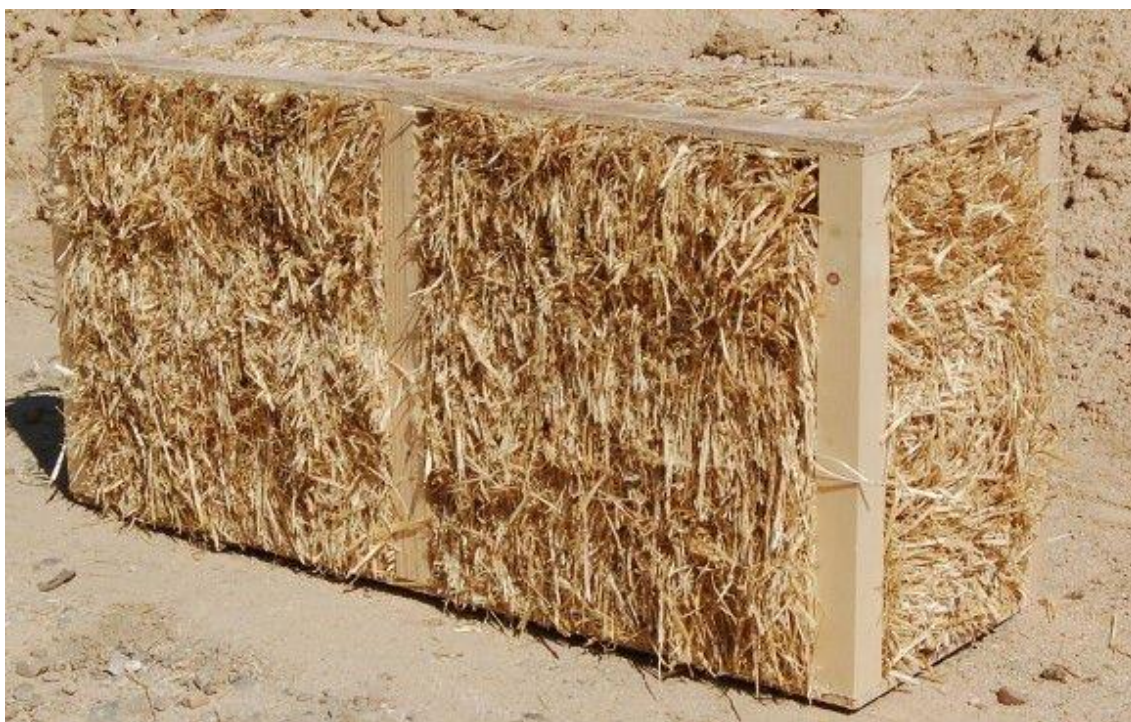


Ilustración 69 - Ejemplo de un módulo de bala de paja. Extraído de: <https://ecoinventos.com/bala-box-prototipo-de-vivienda-con-balas-de-paja/>

El panel de madera permite que la paja permanezca comprimida, además de facilitar su transporte.

Se merece destaque por ser un material muy resistente cuando compactado, puesto que impide el paso del agua y permite el paso del viento, siendo utilizados no solo en muros, sino también en cubiertas.

Ventajas
Material sano y de bajo coste.
Velocidad de construcción – simple y rápida.
Construcción modular, permite el encaje de piezas en la configuración deseada. Es recomendable para la autoconstrucción o para la construcción que carece de medios mecánicos.
Material aislante (térmico y acústico) debido a la capacidad de retención del calor que poseen las balas de paja.
Resistentes al fuego – las casas hechas con balas de pajas responden muy bien contra el fuego, pero, para esto, es necesario el correcto emplastamiento del material para que funcione, siendo más resistente al fuego que otros materiales, como el ladrillo, por ejemplo. Esto ocurre por la falta de oxígeno en las balas de paja, que están compactadas, como bloques.
Reduce la huella ecológica del planeta, puesto que está hecho con desechos de la agricultura, como mencionado anteriormente.
Viviendas antisísmicas.

Desventajas
Mano de obra especializada y escasa para la fabricación de las balas de paja, lo que hace con que sea costoso contratar un equipo para hacer el trabajo.
La vivienda debe de estar aislada de la humedad, el agua es el gran enemigo de las casas de paja. Es muy importante que la paja esté muy bien revestida con materiales naturales y transpirables, como la cal o la arcilla, que la protegen de la humedad.

7.3. Piedra

La construcción con piedra es una técnica utilizadas de diversas maneras en la construcción civil, sea para la edificación de paredes estructurales, sea como elemento arquitectónico en fachadas o, incluso, para pavimentaciones.

Es un elemento encontrado con facilidad en cualquier parte del mundo, siendo siempre una excelente opción cuando se quiere lograr la utilización de materiales que aporten masa térmica a la edificación.

En el caso de África no se tienen muchos ejemplos con este tipo de construcción debido a mayor difusión que tuvieron otros sistemas que se adaptaron mejor a lo largo de la historia, como la construcción con tierra o la construcción con paja ya mencionados anteriormente.

Ventajas
Material natural, fácil de encontrar en la mayoría de los países.
Durabilidad – es un producto muy resistente y duradero. Su apariencia se mantiene a lo largo de los años sin deterioro, ahorrando costes de mantenimiento.
Reutilizable – Un material sostenible por esencia, puesto que, según dicho anteriormente es muy resistente y duradero, siendo reutilizable y reciclable para otras nuevas construcciones, si necesario. Siendo una buena opción sostenible tanto para obras nuevas, como para reformas o rehabilitaciones.
Inercia térmica – Debido a su gran masa, posee una elevada inercia térmica, lo que lo convierte en un gran aislante, pudiendo proporcionar grandes ahorros en calefacción y refrigeración.
Aislamiento acústico – Aislante natural para amortiguar los ruidos exteriores.
Versatilidad – Se adapta a interiores como exteriores. Se puede instalar en fachadas, paredes o pavimentos.
Variedad estética – Amplia variedad de formas, tamaños, texturas y colores. Además, tiene un punto de exclusividad, puesto que ninguna piedra es exactamente igual que otra.
Integración arquitectónica – es un material que armoniza con cualquier tipo de paisaje natural.
Material a prueba de fuego, insectos y descomposición.

Desventajas
Problemas de humedad son frecuentes en viviendas de piedra.
Proceso de construcción lento y costoso.
Difícil de reparar y/o modificar.
Requiere mano de obra calificada.

7.4. Madera

La madera es un material natural, renovable y que puede ser reciclado. En la construcción puede tener función estructural o estética, siendo muy difundido tanto en países de climas cálidos, como de climas fríos, puesto que, a pesar de no aportar masa térmica a la edificación es un buen aislante térmico, respondiendo de manera muy rápida a las variaciones de temperatura, siendo un material adecuado en cualquier tipo de clima.

Es importante verificar su procedencia, pues si la madera no viene de explotaciones responsables, no existe el concepto sostenible y de esta forma se torna uno de los principales problemas para la biodiversidad de una región y para la reducción de la resiliencia del planeta.

Ventajas
Material natural, renovable y reciclable.
Su proceso productivo ofrece menos residuos que otros productos industrializados.
Es un material muy versátil, siendo posible obtener piezas de tamaños, texturas y formas diferentes, resultando en la obtención de elementos con enorme diversidad de acabados.
Gran durabilidad, principalmente si se trata de la forma adecuada.
Excelente comportamiento como aislante térmico y acústico.
Propiedades físico-mecánicas - Material ligero y con gran capacidad de carga, siendo empleado en estructuras. Resiste tanto a la compresión, como a la tracción.

Desventajas
Vulnerabilidad - Susceptible al ataque de hongos e insectos.
Requiere tratamiento y mantenimiento periódico para que su durabilidad no se vea perjudicada.
Combustible - Vulnerabilidad frente al fuego.

8. CONCLUSIÓN

A lo largo del presente trabajo, se ha abordado la Arquitectura Vernácula Africana, con un especial enfoque en el establecimiento de directrices para la implementación de estrategias bioclimáticas para el Solar Decathlon África. De esta manera, se buscó investigar las estrategias bioclimáticas y los materiales más adecuados para utilización en las futuras ediciones de Solar Decathlon en África, llevándose en consideración que la primera edición ocurrió en el año de 2019, en la Ciudad de Ben Guerir.

Así, este Trabajo Fin de Máster posee especial relevancia para la práctica de estrategias que puedan realmente representar un modelo arquitectónico capaz de generar confort térmico, además de autorregularse térmicamente. En última medida, ello representa un conjunto de prácticas importantes para una nueva dinámica, en el ámbito de la arquitectura, de cara a contestar en la realidad fáctica los retos que conllevan el cambio climático y la actual situación planetaria en este contexto.

En efecto, actualmente, mucho se habla en el cambio climático y como es necesario adoptar medidas para revertir la situación y garantizar que las previsiones futuras no lleguen a ocurrir en el planeta, con la finitud de recursos naturales. En efecto, los objetivos del desarrollo sostenible, los cuales son parte de la agenda internacional por una gobernanza más verde, llaman la atención para esta realidad y resultan en estrategias que deberían de ser adoptadas a nivel global.

Sin embargo, muchas veces el discurso se queda en una retórica superficial, de manera que no siempre vemos un traslado a la práctica. Se podría decir que la preocupación con el cambio climático, a veces, es mera frase en boca de muchas personas. Así, es muy alentador ver esfuerzos renovados para encontrar formas de utilizar la energía renovable en nuestra vida diaria, es decir, la búsqueda por el desarrollo de medidas prácticas que puedan de hecho generar un impacto positivo y representen un cambio de actitud en la realidad.

Es indudable que uno de esos esfuerzos es el Solar Decathlon África, que se celebró por primera vez en Marruecos en septiembre de 2019. La idea principal detrás

del concurso era que los equipos universitarios internacionales construyesen una casa, juzgada en 10 categorías, que funcionase únicamente con energía solar.

En efecto, el concurso sigue el modelo del Solar Decathlon original, que se celebra cada dos años en los EE. UU., desde 2002. Asimismo, es interesante resaltar que el concurso se ha expandido desde América del Norte, hasta América del Sur, incluyendo el Caribe. Además, hay promociones celebradas también en Europa, China y Medio Oriente, así como esta nueva edición en África.

Por lo tanto, observar la expansión internacional de un concurso, que promueva verdaderamente la búsqueda por una transposición práctica de ideales de sostenibilidad, puede demostrar que hay una real posibilidad de cambiar la dinámica actual, de forma a frenar el cambio climático.

La competición africana inaugural, celebrada en Ben Guerir, en la provincia central de Rehamna en Marruecos, se llevó a cabo del 13 al 27 de septiembre de 2019. Con más de 1.200 participantes, de 20 países, la competición no solo fue internacional, sino que también estaba respaldada por la cooperación internacional dentro de los propios equipos, ya que muchos de ellos estaban compuestos por miembros de más de un país.

Este aspecto llama, igualmente, la atención porque demuestra cómo se están uniendo esfuerzos alrededor del globo, para iniciativas sostenibles y como la temática adquiere nuevos matices y se pasa a emprender a la experiencia práctica. La idea es diseñar y construir una casa que utilice energía neta cero. Es decir, toda la casa debe de estar alimentada con energía renovable, en este caso solar.

También es interesante mencionar que había dos organizadores principales de la competición en Marruecos. El primero fue RESEN, una Organización e Instituto de Investigación fundado en 2011 por el Ministerio de Energía, Minería, Agua y Medio Ambiente de Marruecos, y que coopera con varias de las principales empresas energéticas de Marruecos.

Mientras tanto, el segundo organizador fue el Politécnico Mohammed VI de la Universidad de Ben Guerir. Además, el jurado estaba formado por 27 miembros, elegidos de una amplia gama de campos, incluida la educación y los negocios, y que representaban a varios países.

Además de eso, es interesante resaltar que un factor que se pidió a todos los equipos que incorporaran en sus diseños fue el reconocimiento del patrimonio cultural y arquitectónico de África. Con las duras condiciones en todo el continente, el diseño de los edificios a menudo ha evolucionado para reconocer este desafío e incluir características que protegen a los habitantes contra estos factores climáticos. Un buen ejemplo de esto son las calles estrechas y las casas de paredes gruesas que se encuentran en la medina de Marruecos, que mantienen el calor fuera en pleno verano y dentro en los inviernos fríos.

El equipo ganador de esta primera competencia africana fue el Inter House Team, un esfuerzo cooperativo multidisciplinario entre la Escuela de Minas de Colorado, la Escuela Nacional de Arquitectura de Marrakech y la Universidad Cadi Ayyad, también de Marrakech. Utilizaron CSEB (bloques de tierra estabilizada comprimida) como material de construcción principal para las paredes de la casa, compuesto de 95% de suelo local y 5% de cemento de cal para estabilizar los bloques. Estos CSEB no solo reflejan el ladrillo tradicional de Marruecos, sino que también brindan trabajo a los lugareños al tiempo que ofrecen un material de construcción sostenible y energéticamente eficiente.

Un aspecto relevante que el equipo buscaba lograr era la unión de valores y estilos modernos y tradicionales. Inspirándose en los famosos patios que a menudo forman el corazón de las casas marroquíes, el equipo también hizo del patio el centro de su diseño. Además de ofrecer un espacio privado al aire libre, el patio dividió la casa en dos, con áreas para dormir al noroeste y áreas de estar y comedor al sureste.

Poniendo los ambientes frecuentados a lo largo del día orientado hacia el sureste, Inter House ha podido garantizar las ganancias solares necesarias para en estos ambientes, como mencionado en el apartado cuatro, sobre la importancia de esta estrategia para este tipo de clima. Sin embargo, la idea y el objetivo principal por detrás de estos diseños era crear un proyecto y modelo energéticamente eficiente, lo que significaba un verdadero desafío en el clima local.

Estas características citadas son parte de la conquista de Inter House en esta edición de Solar Decathlon África. Por lo tanto, como mencionado, con la creciente preocupación por un clima cambiante, es alentador ver no solo ideas innovadoras en la

creación de hogares energéticamente eficientes, sino también el creciente nivel de cooperación internacional y entre diversas organizaciones.

Si bien las casas en competencia, con todos sus dispositivos tecnológicos, están dirigidas principalmente a compradores de clase media, muchas de las ideas podrán incorporarse en hogares de bajos ingresos en el futuro, con cierta adaptación. De esta manera, el proyecto es, sin duda, exitoso en su propuesta y contribuye para la práctica de técnicas bioclimáticas, además de haber empleado de manera excelente importantes aspectos propios de la arquitectura vernácula.

En relación este último aspecto, para entender la forma de diseñar y construir en África, hay que analizar la arquitectura vernácula en esta región para entonces comparar con las definiciones de las estrategias bioclimáticas más adecuadas segundo análisis. Por lo tanto, con todas sus particularidades, nada era proyectado sin una explicación y una razón de ser. Como mencionado, tanto la forma, como los huecos y los materiales, eran pensados para que funcionasen de forma a generar confort para el ser humano.

La vivienda es parte del entorno y, por eso, su construcción cambia de acuerdo con el clima, la vegetación y el régimen de lluvias, siempre adecuándose a las necesidades de sus habitantes. Conforme se puede observar en el apartado uno de este documento, donde fueron expuestos ejemplos de diferentes viviendas construidas en África, se puede ver relaciones que cambian de acuerdo con la disponibilidad de materiales locales, así como el clima de la región, si es más seco o más húmedo, también dependiendo de la cantidad de lluvias anuales y el régimen de vientos.

Lo cierto es que, por tratarse del continente más cálido del mundo y por poseer materiales similares en todo el continente, se notan semejanzas que pueden servir como base. Además, los materiales son prácticamente los mismos y funcionan para apoyar al logro del bienestar en todos los casos presentados en el apartado uno. De esta manera, en la arquitectura vernácula, tierra cruda, tierra cocida, barro, paja, maderas y piedras se unen con estrategias bioclimáticas para generar confort para los habitantes de estas viviendas.

Eso es algo muy relevante para ser analizado y puesto en práctica juntamente con las estrategias más adecuadas. No es simplemente aplicar técnicas de ventilación o de protección solar ignorando la existencia de materiales técnicas constructivas con

estos materiales que favorecen el logro del bienestar y que son utilizados a años por los antepasados de estas tierras africanas.

En este contexto, en el apartado dos se puede observar las diferentes franjas climáticas del continente, que a pesar de ser lo más caliente del mundo por su ubicación en el globo, es también una porción de tierra muy grande, y esto debe de ser considerado, con sus reflejos propios, constituyendo una región muy particular.

Es interesante mencionar que la ciudad de Ben Guerir está ubicada en el centro del país y su clima es muy similar al de Andalucía, en España, lo que supone una mayor responsabilidad de la Universidad de Sevilla en las ediciones siguientes de esta competición ante las demás universidades españolas y europeas.

El equipo Solar Decathlon de la Universidad de Sevilla participó de la competición que fue realizada en Cali, Colombia en los años de 2017 y 2019, además de participar en las ediciones de 2010, 2012 y 2019 del Solar Decathlon Europa, siendo este último en Hungría. No obstante, no participó de la edición realizada en África.

Por todo lo mencionado, el presente trabajo muestra, igualmente, su importancia para los alumnos y futuros integrantes del equipo de la Universidad de Sevilla, puesto que se trató de investigar las principales estrategias bioclimáticas que deberían ser implementadas y los materiales disponibles en el continente africano para lograr una arquitectura respetuosa con el planeta y con el lugar donde esta inserida. Sin duda, estas informaciones pueden auxiliar al equipo Solar Decathlon África en futuras ediciones que se podrán realizar en el continente africano.

Además de eso, los aspectos abordados en el presente documento, en relación con las técnicas bioclimáticas e, igualmente, de la arquitectura vernácula, representan una gran contribución para un modelo práctico de construcción y proyección en este ámbito, que pueda empezar transformando las ciudades y expandiendo el concepto de sostenibilidad de manera práctica.

BIBLIOGRAFÍA

- Arévalo, O. B. (2015). *La Arquitectura Bioclimática*. Obtenido de Modulo Arquitectura CUC, v. 15, p. 31-40: https://revistascientificas.cuc.edu.co/moduloarquitecturacuc/article/view/733/pdf_77
- Arzoumanian, P. B. (1979). *Arquitecturas de Adobe*. Barcelona: Editorial Gustavo Gili.
- Barrera, M. d., & Ramos, L. M. (2013). Los revestimientos en la arquitectura tradicional africana. *Construcción con tierra. Pasado, presente y futuro. Congreso de Arquitectura de tierra en Cuenca de Campos 2012 [online]* (págs. 101-108). Valladolid: Cátedra Juan de Villanueva. Universidad de Valladolid.
- Biografías y Vidas. (Noviembre de 2020). *Wladimir Köppen*. Obtenido de <https://www.biografiasyvidas.com/biografia/k/koppen.htm>
- Borrego, I. I. (Abril de 2019). *Sverre Fehn y la arquitectura primitiva en Marruecos*. Obtenido de VLC Arquitectura Research Journal, v. 6, n. 1, p. 97-124: <https://doi.org/10.4995/vlc.2019.10663>
- Britannica. (Noviembre de 2020). *Rudolf Oskar Robert Williams Geiger*. Obtenido de <https://www.britannica.com/biography/Rudolf-Oskar-Robert-Williams-Geiger>
- Canadell, À., & Vicens, J. (2010). *Habitar la Ciudad*. Miraguano Ediciones.
- Castells, S. B., & Laperal, E. H. (2013). Bloques de tierra comprimida en el proyecto del centro del adulto mayor de San Jose de chiquitos, Bolivia. *Construcción con tierra. Pasado, presente y futuro. Congreso de Arquitectura de tierra en Cuenca de Campos 2012 [online]* (págs. 195-206). Valladolid: Cátedra Juan de Villanueva. Universidad de Valladolid.
- Countries of the world. (octubre de 2020). *List of Countries in Africa*. Obtenido de <https://www.countries-ofthe-world.com/countries-of-africa.html>
- d'Amico, F. C. (Noviembre de 2000). Arquitectura Bioclimática, conceptos básicos y panorama actual. En C. N. (CENEAM), *Hacia una arquitectura y un urbanismo basados en criterios bioclimáticos*. Valsaín: Universidad Politécnica de Madrid (UPM).

- Duran, S. C. (2010). *La Casa Ecológica*. Barcelona: Loft Publications.
- Energy Design Tools. (Octubre de 2020). *Climate Consultant Download Page*.
Obtenido de <http://www.energy-design-tools.aud.ucla.edu/climate-consultant/request-climate-consultant.php>
- García, L., Mileto, C., & Vegas, F. (2013). Las técnicas constructivas de intervención en la arquitectura de tapia en el período 1980-1985 a través del archivo del IPCE. *Construcción con tierra. Pasado, presente y futuro. Congreso de Arquitectura de tierra en Cuenca de Campos 2012 [online]* (págs. 185-194). Valladolid: Cátedra Juan de Villanueva. Universidad de Valladolid.
- Garzón, B. (2007). *Arquitectura Bioclimática*. Buenos Aires: Nobuko.
- Garzón, B. (2007). *Arquitectura Bioclimática*. Buenos Aires: Nobuko.
- Geohabitat. (s.f.). *Arquitectura Solar para Climas Cálidos*. Geohabitat.
- González, J. T. (8 de Junio de 2017). *La arquitectura sin arquitectos, Algunas reflexiones sobre arquitectura vernácula*. Obtenido de Revista AUS [Arquitectura/ Urbanismo/ Sustentabilidad] 12-15: doi:10.4206/aus.2010.n8-04
- Herrera-Limones, R. (2013). *La urdimbre sostenible como táctica para un hacer arquitectónico: de la "arquitectura de climas cálidos" hasta los nuevos escenarios y modos de vida emergentes, a través de la dimensión dialógica*. Sevilla: (Tesis Doctoral) Universidad de Sevilla.
- Heywood, H. (2015). *101 Reglas Básicas para una Arquitectura de Bajo Consumo Energético*. Barcelona: Editorial Gustavo Gili.
- Heywood, H. (2017). *101 Reglas Básicas para Edificios y Ciudades Sostenibles*. Barcelona: Editorial Gustavo Gili.
- Higueras, E. (2006). *Urbanismo Bioclimático*. Barcelona: Editorial Gustavo Gili.
- Higueras, E. (2006). *Urbanismo Bioclimático*. Barcelona: Editorial Gustavo Gili S.A.
- Lobo, S. (2006). *Pousadas de Portugal: reflexos da arquitectura portuguesa do século XX*. Coimbra: Imprensa da Universidade de Coimbra.
- Longdom. (Noviembre de 2020). *Journal of Fundamentals of Renewable Energy and Applications*. Obtenido de <https://www.longdom.org/editor/baruch-givoni-15499>

- Luxán, M. d., Iganacio, G. d., Tendero, R., & Giaccardi, J. (2000). Buenas practicas de arquitectura bioclimática. En C. N. (CENEAM), *Hacia una arquitectura y un urbanismo basados en criterios bioclimáticos*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- Madero, J. A. (2013). La estrategia del tapial en la arquitectura religiosa de tierra de campos. *Construcción con tierra. Pasado, presente y futuro. Congreso de Arquitectura de tierra en Cuenca de Campos 2012 [online]* (págs. 53-60). Valladolid: Cátedra Juan de Villanueva. Universidad de Valladolid.
- Magwood, C. (2017). *Essential Sustainable Home Design, a complete guide to goals, options and the design process*. Canada: New Society Publishers.
- Menéndez, H. G. (2006). *Principios y Estrategias del Diseño Bioclimático en la Arquitectura y el Urbanismo. Eficiencia Energética*. Madrid: Consejo Superior de los Colegios de Arquitectos de España.
- Minguet, J. M. (2016). *The new ecological home. Materials for bioclimatic design*. Barcelona: Instituto Monsa de ediciones.
- Minke, G. (2004). *Techos Verdes*. Uruguay: Editorial Fin de Siglo.
- Minke, G. (2006). *Manual de construcción con fardos de paja*. Uruguay: Editorial Fin de Siglo.
- Minke, G. (2008). *Manual de Construcción con tierra. La tierra como material de construcción y su aplicación a la arquitectura actual*. Uruguay: Editorial Fin de Siglo.
- Monsa. (2016). *The New Ecological Home. Materials for Bioclimatic Design*. Barcelona: Instituto Monsa de Ediciones.
- Morillón, C. C. (2004). *Adecuación bioclimática de la vivienda de interés social del noreste de México con base al análisis térmico de la arquitectura vernácula*. Obtenido de ASADES: https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/39307749/2004-t005-a017.pdf?response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DANALISIS_BIOCLIMATICO.pdf&X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Amz-

Credential=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A%2F20191128%2Fus-east-1%2Fs3%2F

- Muñoz, M. d., Alonso, J. S., Sandoval, F. J., & Esteban, A. S. (2013). Muros mixtos de tapia y ladrillo en la arquitectura mudéjar, Cuéllar - Segovia. *Construcción con tierra. Pasado, presente y futuro. Congreso de Arquitectura de tierra en Cuenca de Campos 2012 [online]* (págs. 155-164). Valladolid: Cátedra Juan de Villanueva. Universidad de Valladolid.
- Neila, F. J. (2000). *Arquitectura Bioclimática en un entorno sostenible*. Madrid.
- Neila, F. J. (2015). *Miradas Bioclimáticas a la Arquitectura Popular del Mundo*. Madrid: García Maroto Editores.
- Neila, F. J. (2017). *Arquitectura vernácula más sostenible*. Madrid: García Maroto Editores.
- Olgyay, V. (2015). *Arquitectura y clima: Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas*. Barcelona: Editorial Gustavo Gili S.A.
- Pearce, A. R., Ahn, Y. H., & HanmiGlobal. (2018). *Sustainable Buildings and Infrastructure, Paths to the Future*. New York: Routledge.
- Pérez, L. F. (2012). *Exteriores Ecologicos. 50 soluciones para un hogar más sostenible*. Barcelona: Promopress.
- Roaf, S., Crichton, D., & Nicol, F. (2005). *Adapting Buildings and Cities for Climate Change, a 21st Century Survival Guide*. New York: Architectural Press.
- Sánchez-Montañés, B. (s.f.). *El Sol y la casa. Radiación solar y bioclimática en la arquitectura, capítulo del libro Vivir con Radioaciones y Salud*. Teruel: EcoHabitar.
- Santivañez, M. D., & Cadenas, M. F. (2013). La certificación energética en edificaciones residenciales de tierra. Obra nueva y edificio existente. *Construcción con tierra. Pasado, presente y futuro. Congreso de Arquitectura de tierra en Cuenca de Campos 2012 [online]* (págs. 219-230). Valladolid: Cátedra Juan de Villanueva. Universidad de Valladolid.

- Shiels, M. L., González, M. L., Herrera, J. D., & García, I. L. (2013). *Habitar en la Tierra. Construcción con tierra. Pasado, presente y futuro. Congreso de Arquitectura de tierra en Cuenca de Campos 2012 [online]* (págs. 207-212). Valladolid: Cátedra Juan de Villanueva. Universidad de Valladolid.
- Smith, P. F. (2017). *La Arquitectura en un clima de cambio. Una guía para el diseño sostenible*. Barcelona: Editorial Reverté.
- U.S. Department of Energy. (Octubre de 2020). *Solar Decathlon*. Obtenido de <https://www.solardecathlon.gov>
- U.S. Department of Energy. (Noviembre de 2020). *Solar Decathlon África 2019*. Obtenido de <https://www.solardecathlonafrica.com/>
- Ugarte, J. (s.f.). *Guía de Arquitectura Bioclimática*. Obtenido de Instituto de Arquitectura Tropical: Disponible en: <http://www.arquitecturatropical.org/EDITORIAL/documents/GUIA%20BIOCLIMATICA%201.pdf>
- Universidad Politécnica de Madrid. (2010). *1 Sol, 2 Mundos, 3 Casas. Solar Decathlon*. Madrid: Editorial Munilla-Lería.
- Visús, À. C. (2013). Construcción de una vivienda con muros de tapial en Ayerbe, Huesca. Fase 1: Estructura y Cerramientos. *Construcción con tierra. Pasado, presente y futuro. Congreso de Arquitectura de tierra en Cuenca de Campos 2012 [online]* (págs. 259-268). Valladolid: Cátedra Juan de Villanueva. Universidad de Valladolid.
- Wassouf, M. (2014). *De La Casa Pasiva al Estándar Passivhaus, La Arquitectura Pasiva en Climas Cálidos*. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, SL.
- Yeang, K. (1999). *Proyectar con la Naturaleza*. Barcelona: Editorial Gustavo Gili.

ANEXO 1 – Sobre el Solar Decathlon África 2019

Solar Decathlon África 2019

En la primera edición de la competición, realizada en septiembre de 2019, fueron seleccionados 18 equipos de 20 países diferentes, provenientes de 54 universidades, contando con la participación de más de 1200 estudiantes.

Los equipos, las universidades participantes y sus principales objetivos fueron:

**Team SOLAR-UTION – University of Moulay
Ismail, Meknes (Marruecos)**



Live the Green Future...NOW!



Ilustración 70 - Prototipo de Solar-Ution. Extraído de: <https://www.solardecathlonafrika.com/participating-teams/team-solar-ution/>

Objetivo: Optimización del confort higrotérmico gracias a la utilización de materiales autóctonos.

Team ECODAR – Alianza entre algunas universidades de diferentes países – Marruecos, India, Estados Unidos, Mali y Burkina Faso



Ilustración 71 - Prototipo de Ecodar. Extraído de: <https://www.solardecathlonafrika.com/participating-teams/team-ecodar/>



Ilustración 72 - Prototipo de Ecodar. Extraído de: <https://www.solardecathlonafrika.com/participating-teams/team-ecodar/>

Objetivo: Utilización de menos espacio gracias a una división inteligente favoreciendo la movilidad, así como el uso eficiente de la energía.

Team OCULUS – Worcester Polytechnic Institutes (Estados Unidos); École Nationale Supérieure d’Informatique et d’Analyse des Systèmes (Marruecos); African Institute of Science and Technology (Nigeria).

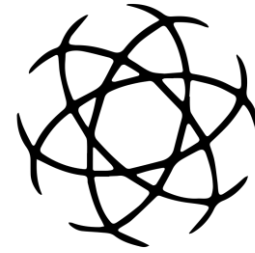


Ilustración 73 - Prototipo de Team Oculus. Extraído de: <https://www.solardecathlonafrika.com/participating-teams/team-oculus/>



Ilustración 74 - Prototipo de Team Oculus. Extraído de: <https://www.solardecathlonafrika.com/participating-teams/team-oculus/>

Objetivo: Apuesta en la interdisciplinariedad para la creación de una vivienda innovadora.

Team INTER HOUSE – School of Mines of Colorado (Estados Unidos); National School of Architecture and Cadi Ayyad University of Marrakech (Marruecos).



Ilustración 75 - Prototipo Team Inter house. Extraído de: <https://www.solardecathlonafrika.com/participating-teams/team-interhouse/>



Ilustración 76 - Prototipo Team Inter house. Extraído de: <https://www.solardecathlonafrika.com/participating-teams/team-interhouse/>

Objetivo: Apuesta en la utilización de materiales autóctonos con la finalidad de atraer a pequeños inversores que pudiesen participar del proceso. El equipo también apuesta en la innovación en el uso de tecnologías para lograr los niveles adecuados de confort.

Team NEOPETRA – Hassania School of Public Works (Marruecos); Casablanca School of Architecture (Marruecos); Emines-School of industrial management (Marruecos); liderados por la Confederación Marroquí Junior de Empresas.



Ilustración 77 - Prototipo Team Neopetra. Extraído de: <https://www.solardecathlonafrika.com/participating-teams/team-neopetra/>



Ilustración 78 - Prototipo Team Neopetra. Extraído de: <https://www.solardecathlonafrika.com/participating-teams/team-neopetra/>

Objetivo: Enfoque en la multidisciplinariedad para la realización del proyecto, teniendo la protección ambiental como prioridad.



Ilustración 79 - Prototipo Team Mahali. Extraído de: <https://www.solardecathlonafrika.com/participating-teams/team-mahali/>



Ilustración 80 - Prototipo Team Mahali. Extraído de: <https://www.solardecathlonafrika.com/participating-teams/team-mahali/>

Objetivo: Adopción de un uso circular de los recursos, considerando los desafíos sociales y económicos relacionados, como la utilización de materiales reciclados y sistemas de agua cerrado, evitando el desperdicio y fomentando el reaprovechamiento de los recursos.



Ilustración 81 - Prototipo Team Tadd-Art. Extraído de: <https://www.solardecathlonafrika.com/participating-teams/team-tadd-art/>



Ilustración 82 - Prototipo Team Tadd-Art. Extraído de: <https://www.solardecathlonafrika.com/participating-teams/team-tadd-art/>

Objetivo: Expresión de la arquitectura tradicional marroquí, con el desarrollo de técnicas locales y materiales, utilizándose de estrategias pasivas solares.

**Team BOSPHORUS – Yildiz Technical University
(Turquía); Istanbul Technical University (Turquía)**



Ilustración 83 - Prototipo Team Bosphorus. Extraído de: <https://www.solardecathlonafrika.com/participating-teams/team-bosphorus/>



Ilustración 84 - Prototipo Team Bosphorus. Extraído de: <https://www.solardecathlonafrika.com/participating-teams/team-bosphorus/>

Objetivo: Dos conceptos básicos – utilización de energías renovables y uso de materiales autóctonos.

**Team JUAJAMII – University of Tlemcen (Argelia);
National University of Lesotho**



Ilustración 85 - Prototipo Team JuaJamii. Extraído de: <https://www.solardecathlonafrika.com/participating-teams/team-jua-jamii/>



Ilustración 86 - Prototipo Team JuaJamii. Extraído de: <https://www.solardecathlonafrika.com/participating-teams/team-jua-jamii/>

Objetivo: Integración de materiales locales y nuevas tecnologías para ofrecer confort a los habitantes de la vivienda

Team PLUG & LIVE – Universidades de Francia y Marruecos



Ilustración 87 - Prototipo Team Plug and Live. Extraído de: <https://www.solardecathlonafrika.com/participating-teams/team-plug-and-live/>



Ilustración 88 - Prototipo Team Plug and Live. Extraído de: <https://www.solardecathlonafrika.com/participating-teams/team-plug-and-live/>

Objetivo: Apuesta en la estructura modular combinando sostenibilidad, autosuficiencia y el empleo de energías renovables.

**Team BAYTI AKHDAR – University of Soultan
Moulay Silmane of Beni Mallal (Marruecos); Cheikh
Anta Diop University of Dakar (Senegal)**



Ilustración 89 - Prototipo Team Bayti Akhdar. Extraído de: <https://www.solardecathlonafrika.com/participating-teams/team-bayti-akhdar/>



Ilustración 90 - Prototipo Team Bayti Akhdar. Extraído de: <https://www.solardecathlonafrika.com/participating-teams/team-bayti-akhdar/>

Objetivo: Combinación de energías renovables y el uso de tecnologías para el desarrollo de una vivienda sostenible, con la aplicación de materiales autóctonos y técnicas locales.

**Team TDART – Abdelmalek Essaâdi University of
Tangiers (Marruecos)**



Ilustración 91 - Prototipo Team TDart. Extraído de: <https://www.solardecathlonafrika.com/participating-teams/team-tdart/>



Ilustración 92 - Prototipo Team TDart. Extraído de: <https://www.solardecathlonafrika.com/participating-teams/team-tdart/>

Objetivo: Creación de una vivienda modular, sostenible e innovadora, basada en la arquitectura bioclimática.

Team SUNIMPLANT – National School of Architecture of Tetouan (Marruecos); National School of Applied Sciences of Tetouan and the German Fraunhofer Institute.



Ilustración 93 - Prototipo Team Suminplant. Extraído de: <https://www.solardecathlonafrika.com/participating-teams/team-suminplant/>



Ilustración 94 - Prototipo Team Suminplant. Extraído de: <https://www.solardecathlonafrika.com/participating-teams/team-suminplant/>

Objetivo: Creación de un proyecto basado en la arquitectura bioclimática llevando en consideración parámetros de confort y eficiencia de energía.

**Team SOLAR TIGMI – Honoris United University
of Tunis (Tunisia); Moroccan School of Engineering
Sciences (Marruecos)**



Ilustración 95 - Prototipo Team Solar Tigmi. Extraído de: <https://www.solardecathlonafrika.com/participating-teams/team-solartigmi/>



Ilustración 96 - Prototipo Team Solar Tigmi. Extraído de: <https://www.solardecathlonafrika.com/participating-teams/team-solartigmi/>

Objetivo: Creación de una vivienda modular e inteligente.

Team A`FREE HOME – Universidades de Marruecos y Malasia



Ilustración 97 - Prototipo Team A`Free Home. Extraído de: <https://www.solardecathlonafrika.com/participating-teams/team-a-free-home/>



Ilustración 98 - Prototipo Team A`Free Home. Extraído de: <https://www.solardecathlonafrika.com/participating-teams/team-a-free-home/>

Objetivo: apuesta en la utilización de materiales autóctonos para la construcción de la vivienda, además de la utilización del yeso y del corcho como aislantes.

Team AFRICA GOLDEN RIYAD – Sidi Mohamed Ben Abdellah University of Fez (Marruecos); University of Pau and the Pays de l'adour in France (Francia)



Ilustración 99 - Prototipo Team Africa Golden Riyad. Extraído de: <https://www.solardecathlonafrika.com/participating-teams/team-golden-riyad/>



Ilustración 100 - Prototipo Team Africa Golden Riyad. Extraído de: <https://www.solardecathlonafrika.com/participating-teams/team-golden-riyad/>

Objetivo: Desarrollo de un modelo de prototipo modular, sostenible y aplicable al contexto africano.

Team AFRIKATATERRE – Alianza entre universidades alemanas, marroquíes y senegaleses



Ilustración 101 - Prototipo Team Afrikataterre. Extraído de: <https://www.solardecathlonafrika.com/participating-teams/team-afrikataterre/>



Ilustración 102 - Prototipo Team Afrikataterre. Extraído de: <https://www.solardecathlonafrika.com/participating-teams/team-afrikataterre/>

Objetivo: Adaptación a otros tipos de climas, ambientes y culturas en el continente africano, con enfoque en una construcción sostenible y con la utilización de materiales autóctonos.

Team DARNASOL – Marruecos, Egipto, Irlanda y Argelia



Ilustración 103 - Prototipo Team Darnasol. Extraído de: <https://www.solardecathlonafrika.com/participating-teams/team-darnasol/>



Ilustración 104 - Prototipo Team Darnasol. Extraído de: <https://www.solardecathlonafrika.com/participating-teams/team-darnasol/>

Objetivo: Arquitectura que se autorregule climáticamente, con tecnologías ecológicas que promueva la salud, la educación y la construcción sostenible en África.

Clasificación General:

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	
1 INTERHOUSE	87	97	89	80			32.4		89	80	846
2 BAYTIAKHDAR	89	82	86	72			32.7		68	90	814
3 SOLAR-UTION	83	84	88	85			28.8		86	98	812
4 NEOPETRA	90	95	81	89			27.2		94	85	806
5 DARNASOL	73	86	90	73			31.8		83	80	803
6 TDART	72	79	84	65			34.5		80	75	800
7 AFREEHOME	63	84	83	70			34.1		72	76	789
8 AFRIKATATERRE	80	94	73	98			26.0		88	95	788
8 TADD-ART	85	73	94	74			27.9		90	92	787
10 OCULUS	68	88	70	88			32.2		74	71	781
11 AFRICA GOLDEN RIAD	70	83	82	71			31.9		70	85	780
12 BOSPHOROUS	91	99	86	86			23.1		96	85	774
13 SUNIMPLANT	84	85	65	88			29.1		66	72	751
14 MAHALI	80	85	67	96			25.8		79	85	750
15 JUUAJAMI	59	68	78	81			19.7		82	76	641
16 ECO DAR	60	61	74	56			23.2		65	63	611
17 SOLARTIGMI	65	61	71	50			21.4		50	55	566
18 PLUG & LIVE	0	55	77	55			10.7		76	66	436

Ilustración 105 - Tabla de Clasificación General del Solar Decathlon África 2019

ANEXO 2 – Análisis de los Prototipos Ganadores

Equipo ganador: **INTER HOUSE** (Primer Puesto en la Clasificación General)



*Ilustración 106 - Prototipo de Inter House en Ben Guerir. Extraído de:
<https://www.solardecathlonafrica.com/participating-teams/team-interhouse/>*

Inspiración: Arquitectura Tradicional de Marruecos

Con relación al diseño de la vivienda, Inter House demostró cómo los valores tradicionales y modernos pueden coexistir en un hogar.

Así, a fin de respetar los valores locales como la importancia de lograr proyectar un espacio abierto y sostenible en el que las personas puedan reunirse y celebrar sus diversas culturas con su comunidad en la comodidad de su propio hogar comunicándose con el entorno, surge la necesidad de elegir materiales de construcción en función de su sostenibilidad y mérito cultural, y de ahí surgen los materiales

utilizados en el proyecto, que fueron los ladrillos de tierra comprimida, la madera y la paja.



Ilustración 107 - Utilización de materiales autóctonos en la construcción del prototipo y de la utilización de estrategia de sombreado de ventanas. Obtenido de: <https://www.solardecathlonafrika.com>

Ladrillos de tierra comprimidos

La elección del material es parte importante del proceso, teniéndose en consideración que casi la mitad del consumo energético mundial proviene de la construcción de edificios, esto, sin incluir la energía necesaria para crear los materiales de construcción.

Al utilizar bloques de ladrillos de tierra comprimidos como material estructural principal para componer las paredes de Inter House, el equipo americano-marroquí trata de trabajar con materiales autóctonos como una solución sostenible que, además de aportar belleza a la estructura, proporciona trabajo a las comunidades locales, puesto que este material tuvo que ser fabricado *in loco*.

El adobe y otras estructuras de tierra han existido en todo el mundo durante miles de años, y es uno de los principales materiales disponibles en el continente africano.

La composición de este bloque puede llevar cemento de cal para aumentar la resistencia del material y permitirle construir estructuras más grandes. Así, según el equipo Inter House, la composición de sus bloques era de aproximadamente un 95% de tierra local y un 5% de cemento de cal para estabilización para que puedan funcionar bajo cargas aplicadas.

Por lo tanto, la simple elección del material garantiza la construcción de una vivienda sostenible, asequible y energéticamente eficiente.



Ilustración 108 - Detalle de la construcción de la vivienda de Inter House en el Solar Decathlon África en 2019, en Ben Guerir. Extraído del Instagram Oficial del Equipo de Inter House.

Otra estrategia fue la utilización de ventiladores de Recuperación de Energía de Acondicionamiento, que utilizaba una bomba de calor de alta eficiencia que intercambiaba energía entre el suministro de entrada y el aire de escape saliente.

En efecto, combinado con las paredes de bloque de tierra, este sistema no solo era capaz de mantener la vivienda llena de aire fresco, sino que también monitoreaba la calidad del aire en toda la casa mediante sensores especiales. El sistema también permite a los ocupantes controlar y configurar los niveles de COV (Compuestos Orgánicos Volátiles) y CO₂ de la casa, así como los niveles de temperatura y humedad.

Vale mencionar que la casa también contaba con un HACS (Sistema de Control Automatizado para el Hogar) de última generación que permite a los propietarios no solo monitorear varios aspectos ambientales del interior de la casa, sino también controlar cosas como la iluminación, las cortinas de las ventanas, etc.

Además, la energía para la casa proviene de dos tipos de paneles solares. El primero es un sistema de azotea que abastece a la mayor parte de la casa y el segundo es un sistema solar térmico para suministrar agua caliente renovable. La forma en que se diseñó el sistema mediante transferencia de calor elimina cualquier necesidad de calderas o bombas eléctricas.

Se puede decir que una de las características más innovadoras del diseño ganador fue su humedal artificial, un sistema de filtración de agua negra especialmente diseñado y construido. De acuerdo con dicho sistema, el agua se filtra a través de rocas y plantas donde las bacterias naturales eliminan o descomponen las toxinas o patógenos. Esto permite el sostenimiento de las plantas en el sistema de filtración, además de proporcionar agua para usar en jardinería o riego.

Así, todas estas características citadas hicieron con que Inter House ganara la competición con una puntuación total de 846/1000.

Principales Estrategias Bioclimáticas Pasivas utilizadas en Inter House

Masa Térmica

Las paredes de ladrillos de tierra comprimidos son capaces de generar una alta masa térmica y es capaz de aislar el interior de la vivienda, lo que puede ser considerada una estrategia tanto para condiciones de verano, como para condiciones de invierno.

El grosor y el tipo del material permiten que se almacene energía a lo largo del día, manteniendo la temperatura dentro estable.

En invierno, con el paso del sol durante el día las paredes se benefician absorbiendo la radiación solar y se calientan. Durante la noche el efecto es el reverso, puesto que las paredes, que supuestamente están calientes, liberan este calor hacia dentro, debido a la temperatura exterior ser más baja que la de su propia estructura.

En verano ocurre algo similar, pero con una diferencia. Los voladizos, en esta época del año, trabajan para impedir el paso de la radiación hacia el exterior y esto provoca una disminución en el área de pared que recibe la radiación.

No obstante, de igual manera, la estructura de la vivienda que está expuesta al sol absorbe la energía de la radiación y la almacena para liberarla por la noche, cuando la temperatura exterior está más baja que la de su estructura.

La capacidad de aislamiento de este material también contribuye para que las temperaturas internas se mantengan más estables, no sufriendo mucho con grandes variaciones de temperatura.



Ilustración 109 - Detalle de la construcción de la vivienda de Inter House en el Solar Decathlon África en 2019, en Ben Guerir. Extraído del Instagram Oficial del Equipo de Inter House.

Voladizos (Protecciones Solares)

Conforme expuesto en los apartados cuatro y cinco de este documento, los voladizos son fundamentales para realizar el bloqueo de la radiación solar hacia el interior de la vivienda.

Esta estrategia puede ser lograda de diversas formas, como, por ejemplo, utilizando lamas, voladizos verticales, horizontales o, incluso, persianas.

Sin embargo, la solución del equipo Inter House fue utilizarse de voladizos inclinados, como un tejado, compuesto por placas solares, que al mismo tiempo en que genera sombra, produce energía para la vivienda.

Las ventanas que no estaban en la zona de sombra de los voladizos estaban protegidas con lamas, para impedir el paso del sol en los ambientes internos.



Ilustración 110 - Detalle de la Protección con Lamas de las ventanas que no están cubiertas por el voladizo principal. Extraído del Instagram Oficial del Equipo Inter House.



Ilustración 111 - Detalle de la Protección con Lamas de las ventanas que no están cubiertas por el voladizo principal. Extraído del Instagram Oficial del Equipo Inter House.

Resumen de las Características destacadas del proyecto:

- Empleo de materiales autóctonos (bloques de tierra comprimidos, paja y madera);
- Uniéndose a la elección de los materiales está la utilización de estrategia de Masa Térmica para aislar la vivienda e minimizar las pérdidas o ganancias repentinas de temperatura;
- Utilización de voladizos y lamas para la protección de los espacios internos. Los voladizos fueron construidos con placas solares, dando doble función a la estructura y aprovechando área útil del proyecto para posicionar placas a orientación sur.

Equipo: **BAYTI AKHDAR** (segundo puesto – clasificación general)



Ilustración 112 - Prototipo del Equipo BAYTI AKHDAR en el Solar Decathlon África en Ben Guerir. Extraído de: <https://www.solardecathlonafrika.com>

Inspiración: Arquitectura Tradicional de Marruecos

A ejemplo del prototipo de Inter House, el equipo Bayti Akhdar logró construir una vivienda que es capaz de enseñar como la innovación y la arquitectura tradicional pueden y deben coexistir en un mismo proyecto.

Su inspiración fue la Medina de Fez, que se construyó con casas de paredes gruesas, utilizándose de la estrategia de Masa Térmica para regular la temperatura interna.

Así, el bloqueo del sol en verano y la absorción del calor durante los días fríos de invierno garantizaron un buen ejemplo de estrategia que ha sido eficaz por cientos de años.

Además, una marca de la arquitectura marroquí está en su construcción con materiales locales, lo que da la impresión de que los edificios son una extensión del terreno.

Por eso, el uso de la tierra, la madera y la paja en el proyecto fue, sin duda, el punto fuerte del equipo, aportando climáticamente y estéticamente, además de traer un carácter que está estrechamente relacionado con la cultura, la religión y el medio ambiente.

Principales Estrategias Bioclimáticas Pasivas utilizadas en Bayti Akhdar

Masa Térmica

Como mencionado, la principal inspiración del equipo de Bayti Akhdar ha sido la utilización de Masa Térmica en su estructura. El grosor y el tipo de material garanten la regulación de la temperatura interna a lo largo del año, siendo una estrategia utilizada tanto para los días calientes como para los días fríos.



Ilustración 113 - Detalle de la construcción de la vivienda de Bayti Akhdar en el Solar Decathlon África en 2019, en Ben Guerir. Extraído del Facebook Oficial del Equipo de Bayti Akhdar.

Huecos pequeños

Esta es una estrategia interesante para ser utilizada en climas calientes, como el de Ben Guerir, puesto que esta característica facilita el bloqueo de la radiación solar en verano.

En invierno, aunque la radiación solar pueda entrar y calentar la vivienda pela posición más baja del sol en el cielo, esta no es la estrategia principal para este período.

En este caso, para garantizar el confort interno con temperaturas estables, la Masa Térmica hace todo el trabajo, o sea, el calor absorbido por las paredes a lo largo del día es responsable por la manutención de temperaturas más estables en el interior.



Ilustración 114 - Detalle de los huecos pequeños de la vivienda de Bayti Akhdar en el Solar Decathlon África en 2019, en Ben Guerir. Extraído del Facebook Oficial del Equipo de Bayti Akhdar.

Materiales Autóctonos

Así como el equipo analizado anteriormente, el equipo de Bayti Akhdar ha utilizado materiales locales para componer la estructura de la vivienda.

Bloques de tierra cocidos y comprimidos forman las paredes para absorber y almacenar la energía del sol, como mencionado sobre la Masa Térmica.



Ilustración 115 - Detalle de los bloques de tierra comprimidos utilizados en la construcción de las paredes de la vivienda de Bayti Akhdar en el Solar Decathlon África en 2019, en Ben Guerir. Extraído del Facebook Oficial del Equipo de Bayti Akhdar.

La madera fue utilizada en la estructura y en el acabado de diversas partes de la vivienda. Se puede observar el uso de madera en la estructuración del techo, con vigas y columnas de madera, o en las carpinterías de las ventanas.



Ilustración 116 - Detalle de la Estructura de Madera de la vivienda de Bayti Akhdar en el Solar Decathlon África en 2019, en Ben Guerir. Extraído del Facebook Oficial del Equipo de Bayti Akhdar.

La paja, a diferencia de Inter House, tiene doble función, puesto que fue utilizada como acabado interno y como material aislante en la construcción del techo de la vivienda, como se puede observar a continuación.



Ilustración 117 - Detalle de la construcción del techo de la vivienda de Bayti Akhdar en el Solar Decathlon África en 2019, en Ben Guerir. Extraído del Facebook Oficial del Equipo de Bayti Akhdar.

La paja, la tierra y la madera forman parte de esta estructura que es capaz de aislar y así, mantener la temperatura interna más estable, evitando fugas por esta región.

Otro uso interesante dado a la tierra en esta vivienda fue el revestimiento interno de las paredes, como se puede observar a continuación.



Ilustración 118 - Detalle de la utilización de tierra como revestimiento de acabado interno de las paredes de la vivienda de Bayti Akhdar en el Solar Decathlon África en 2019, en Ben Guerir. Extraído del Facebook Oficial del Equipo de Bayti Akhdar.

El Antes y Después de Bayti Akhdar:

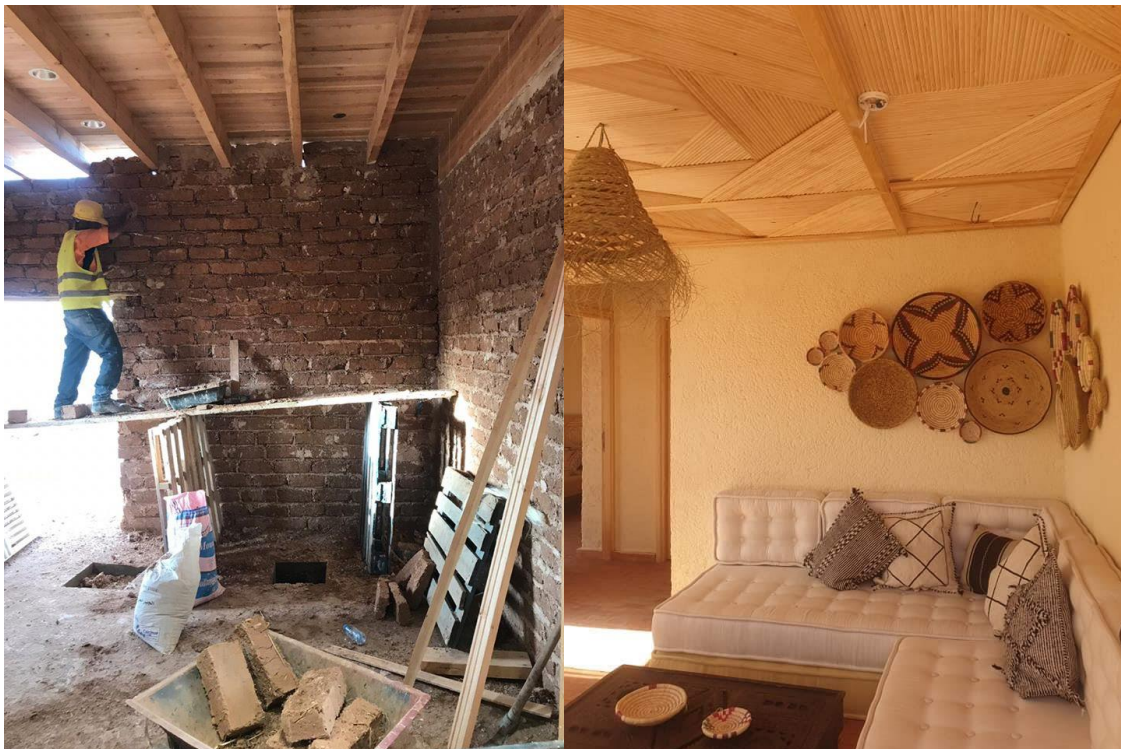


Ilustración 119 - Antes y después de la vivienda de Bayti Akhdar en el Solar Decathlon África en 2019. Extraído del Facebook Oficial delEquipo Bayti Akhdar

Resumen de las Características destacadas del proyecto:

- Masa Térmica en las paredes de la vivienda;
- Estrategia de diseño de huecos pequeños;
- Empleo de materiales autóctonos para la construcción de la vivienda, como la tierra, la madera y la paja.

Equipo: **SOLAR-UTION** (tercer puesto – clasificación general)



Ilustración 120 - Prototipo del Equipo SOLAR-UTION en el Solar Decathlon África en Ben Guerir. Extraído de: <https://www.solardecathlonafrica.com>

Principales Estrategias Bioclimáticas Pasivas utilizadas en Bayti Akhdar

Masa Térmica

Más una vivienda en Solar Decathlon África que utiliza esta estrategia y no es por casualidad. Esta es, sin duda, la principal estrategia bioclimática para garantizar el confort de los habitantes en esta zona climática.

Su construcción ocurrió con el encaje de grandes bloques hechos con tierra local, como se puede observar a continuación.



Ilustración 121- Detalle de la construcción de la vivienda de Solar-Ution en el Solar Decathlon África en 2019, en Ben Guerir. Extraído del Facebook Oficial del Equipo de Solar-Ution.

Estos bloques están estructurados con tirantes de acero, que se pueden observar en la imagen a seguir.



Ilustración 122 - Detalle constructivo del proyecto de la vivienda de Solar-Ution en el Solar Decathlon África en 2019, en Ben Guerir. Extraído del Facebook Oficial del Equipo de Solar-Ution.

Captación Directa

La estrategia de Solar-Ution para reducir la necesidad de uso de equipos para calentar la vivienda en invierno es el empleo de una grande ventana orientada hacia el sur y el norte.



Ilustración 123 - Detalle de la entrada de la radiación por la fachada sur de la vivienda de Solar-Ution en el Solar Decathlon África en 2019, en Ben Guerir. Extraído del Facebook Oficial del Equipo de Solar-Ution.

En el caso de la orientación sur, esta estrategia sirve para captar la radiación solar en invierno permitiendo el paso de la radiación en el interior, lo que ayuda a subir la temperatura interna en este período del año.

Esto también garantiza una buena iluminación natural, no obstante un punto negativo es que esta estrategia provoca un problema en verano con relación a la radiación solar que puede entrar y calentar la vivienda, lo que obliga al equipo combinar otra estrategia con esta, que es la siguiente.

Protección Solar

Como mencionado, estas grandes aberturas en las fachadas norte y sur deben de ser protegidas para que no entre la radiación.

En el caso de la fachada sur fueron construidos grandes voladizos, uno horizontal y dos verticales.

Los verticales son una continuación de las paredes laterales, mientras que el voladizo horizontal es la continuación de la cubierta ondulada.

En el caso de la fachada norte, fueron utilizadas lamas verticales, como una extensión de la cubierta, además de utilizar la extensión de la pared como elemento de bloqueo solar, un voladizo lateral, como se puede observar a continuación.



Ilustración 124 - Detalle de las lamas para protección solar de la fachada norte de la vivienda de Solar-Ution en el Solar Decathlon África en 2019, en Ben Guerir. Extraído del Facebook Oficial del Equipo de Solar-Ution.

Reducción de la sensación de calor – Ventilación Natural

El hecho de tener dos grandes huecos orientados hacia el sur y el norte es una estrategia de ventilación natural cruzada muy eficaz, principalmente llevándose en consideración el régimen de vientos de la ciudad.

Según el análisis realizado en este documento para la región de Ben Guerir, los vientos predominantes en la región para el verano es la orientación Norte-Sur.

O sea, los vientos capaces de reducir la sensación de calor y refrescar el interior de la vivienda viene desde el norte hacia el sur y la posición de las aberturas de la vivienda de Solar-Ution sacan provecho de esta condición.

Cubierta Ventilada

Un detalle importante en la estructura de la vivienda es que la ondulación de la cubierta no tiene esta forma por casualidad.

Conforme mencionado en el apartado cinco de este documento, esta estructura es una estrategia bioclimática llamada de cubierta ventilada.

Su desarrollo consiste en la facilitación de la entrada y salida del aire en el interior del tejado a fin de reducir el calentamiento de la estructura mediante la ventilación.

Así, la vivienda de Solar-Ution facilita la entrada de vientos por la cubierta en las fachadas este y oeste a fin de eliminar el aire caliente de su interior, y la ventilación provocada también trabaja de forma a reducir el calor absorbido por la parte exterior de la estructura. Este proceso también funciona como un aislante para la vivienda.



Ilustración 125 - Detalle de las aberturas en la lateral de la cubierta y los huecos pequeños dispuestos en la fachada oeste de la vivienda de Solar-Ution en el Solar Decathlon África en 2019, en Ben Guerir. Extraído del Facebook Oficial del Equipo de Solar-Ution.

Huecos Pequeños

La imagen anterior sirvió para ilustrar no solo las aberturas en la cubierta por las fachadas este y oeste. También sirvieron para indicar los huecos pequeños que fueron posicionados en estas mismas fachadas.

O sea, para las fachadas donde el sol alcanza una altura baja, como es el caso del este y oeste, el empleo de huecos pequeños es una buena alternativa, puesto que permiten el bloqueo de la radiación hacia el interior con más facilidad.

Materiales Autóctonos

Tal como los ejemplos anteriores de los equipos de Inter House como de Bayti Akhdar la utilización de materiales locales fue una prioridad.

La vivienda proyectada y construida por el equipo de Solar-Ution utilizó la tierra, la madera y la paja como materiales principales para su construcción.

Resumen de las Características destacadas del proyecto:

- Empleo de materiales autóctonos en la construcción de la vivienda, como la tierra, la madera y la paja;
- La grande abertura a sur permite el calentamiento de la vivienda en invierno con la captación directa de energía del sol;
- Estrategia de ventilación cruzada natural para la reducción de la sensación de calor;
- Lamas verticales fueron puestas en la abertura norte para impedir el paso del sol en determinadas épocas del año;
- Huecos pequeños fueron orientados a este y oeste para facilitar el bloqueo del sol en días calientes;
- Utilización de la estrategia de cubierta ventilada ayuda a aislar la vivienda, además de permitir la ventilación en la cubierta y bajar la temperatura de su estructura;
- La ondulación de la cubierta fue aprovechada para la colocación de las placas solares para generar energía para la vivienda;
- Las gruesas paredes laterales, construidas con tierra, posibilitan el funcionamiento de la estrategia de masa térmica en la vivienda.