

EL DISPOSITIVO HABITABLE

(THE LIVABLE DEVICE)

Pablo M. La Roche, María V. Machado, Francisco Mustieles e Ignacio de Oteiza
Instituto de Investigaciones de la Facultad de Arquitectura. Univ. del Zulia. Venezuela

Fecha de recepción: 26-II-99

190-12

RESUMEN

Se presentan los conceptos fundamentales que respaldan la propuesta "Habitar el Dispositivo", premiada en el Concurso Internacional "25 Viviendas Bioclimáticas" promovido por el "Instituto Tecnológico de Energías Renovables del Cabildo de Tenerife", organizado por el "Colegio de Arquitectos de Canarias" y homologado por la "Unión Internacional de Arquitectos". Al contrario de la solución de añadir dispositivos a un proyecto de arquitectura, la propuesta integra conceptos bioclimáticos y arquitectónicos en un dispositivo habitable. Un modelo digital de la edificación permitió estudiar su volumetría y soleamiento en diferentes períodos del año, mientras que su comportamiento térmico se analizó con un programa de simulación en régimen dinámico. El promedio de personas satisfechas en días típicos de verano e invierno fue del 89,75%.

Palabras clave: arquitectura bioclimática, concurso vivienda bioclimática.

SUMMARY

This paper explains the main concepts supporting the project "Habitar el Dispositivo" which was awarded a prize in the International Competition "25 Bioclimatical Houses" promoted by the "Instituto Tecnológico de Energías Renovables of Tenerife" and organized by the "Colegio de Arquitectos de Canarias" and sponsored by the "International Union of Architects". As opposed to bioclimatical houses which are the result of adding bioclimatical devices to an architectural project, the integration of bioclimatical and architectural concepts in a livable device is proposed. A digital model of the project was built to analyze sunlight and shadow behavior and computer simulations permitted to determine thermal performance. Average thermal satisfaction was 89.75 % during typical summer and winter 24 hour periods.

Keywords: bioclimatical architecture, bioclimatic housing competition.

INTRODUCCIÓN

Existen muchos principios de diseño bioclimático establecidos y de aceptación general, generalmente evaluados y comprobados a través de modelos experimentales o validaciones computacionales, que se pueden incorporar en el diseño de una vivienda bioclimática ubicada en lugares con tipos climáticos diferentes. Sin embargo, la determinación precisa de las características de estos sistemas (materiales, dimensiones, ubicación, etc.), requiere de su evaluación dentro de una propuesta arquitectónica a escala 1:1, tal y como se hará, al estar construida dicha propuesta (1999).

Por otra parte, los conceptos de diseño arquitectónico y los conceptos de diseño bioclimático, son tratados con cierta frecuencia, dando ocasión a que el arquitecto realice una vivienda compuesta por un conjunto de dispositivos antes que una obra de arquitectura, lo cual debería ser su objetivo principal.

En este trabajo se replantea el diálogo entre la arquitectura y el acondicionamiento ambiental. Se propone un modelo de vivienda que pretende ser "integral", por conjugar las tecnologías de acondicionamiento bioclimático con la arquitectura. Como principio de base para este reencuentro se asumió el **habitar los**

dispositivos bioclimáticos, esto es, hacerlos formar parte del espacio del hombre.

Para explicar esta integración, el trabajo se presenta en tres partes: en la primera se explican los conceptos arquitectónicos que contribuyeron a conformar la creación del proyecto; luego se explica el proceso de diseño bioclimático y los principios y sistemas que se integran a la propuesta arquitectónica y, por último, los conceptos tecnológicos que ayudan y sirven de soporte al dispositivo arquitectónico (Mustieles, 1996).

A. LA ARQUITECTURA

1. La geografía y el territorio: fuego, mar y viento

En el ITER (Instituto Tecnológico de Energías Renovables), el compromiso de la edificación no es, obviamente, urbano sino geográfico. Ubicar una pieza arquitectónica en un territorio desprovisto de referencias construidas, nos ha obligado a tomar posición en relación con los puntos cardinales y en relación con el entorno existente en el lugar. Un doble juego, "cardinal" y geográfico, ha dirigido, pues, la génesis del proyecto.

1.1 El juego "cardinal"

Las referencias cardinales, como en el urbanismo romano del *cardus* y del *decumanus*, permiten ubicarse en cualquier geografía: es, quizás, el primer paso en la comprensión del territorio.

La vivienda propuesta, en el cuerpo de un rectángulo primario, dio ese primer paso mirando al norte. Después, vino la geografía.

1.2 El juego geográfico: fuego, mar y viento

El Teide, el Atlántico y el viento son, quizás, las grandes geo-referencias del sitio: las tres naturalezas (figura 1).

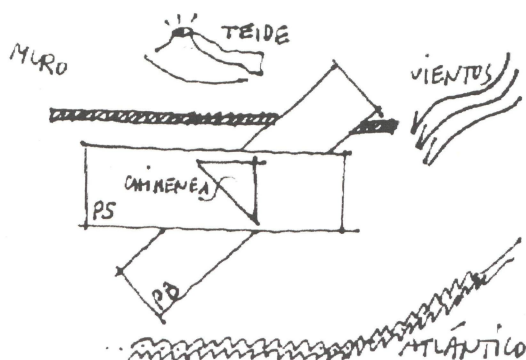


Figura 1.- Geo-referencias que determinan la forma.

Si el cuerpo del rectángulo primario - el muro y la planta alta - mira al Teide y al mar, el alma del mismo - la "gran chimenea" triangular y la planta baja - acogen al viento mirando al noreste. Con dos rectángulos cruzados, un muro y una chimenea se responde a esa geografía.

El fuego, el mar y el viento conviven, pues, bajo un mismo techo. En el interior, el hombre, se ubica en relación con esas tres naturalezas.

2. Arquitectura y acondicionamiento ambiental: habitar los dispositivos

La recomendada búsqueda de "sensaciones ambientales" en las exigencias del concurso, llevó a replantear el diálogo entre la arquitectura y el acondicionamiento ambiental, con frecuencia considerados aparte. Se concibió un proyecto que pretende ser "integral", al poder conjugar arquitectura y acondicionamiento ambiental; como principio de base para este reencuentro se asumió el **habitar los dispositivos bioclimáticos**, o, lo que es lo mismo, hacerlos formar parte del espacio del hombre.

Es así por lo que surge la *chimenea triangular habitada*, que, orientada hacia el noreste, recoge los vientos y los pone a circular en el interior de la vivienda, a través de un espacio habitado (figura 2).

Como segundo principio de base se buscó integrar los **dispositivos en uno arquitectónico**, esto es, definitorio del espacio del hombre. Surge así el muro "fortran" y las *zanjas de servicios*.

El *muro fortran* o *muro tarjeta*, acumula un sinnúmero de dispositivos en un gran muro con responsabilidades solares, de masa térmica y eólicas. Estos dispositivos pasivos, en su mayoría de tecnología de baja gama, hospedados en el muro de lava, recuerdan la tecnología, hoy de baja gama, de las tarjetas perforadas de computación.



Figura 2.- Imagen interna de la chimenea triangular habitada en la planta alta. Simulación realizada el 21 de diciembre a las 12 horas.

Circulaciones diversas se anclan al muro del lado interno, e incluso, alguna de ellas lo perfora, contribuyendo a su vivencia; además, ciertos nichos han sido previstos en la superficie del muro para acoger ciertas aves locales. El espacio entre el muro "fortran" y la vivienda es aprovechado como fuente de penetración de iluminación natural hasta el corazón de la vivienda.

En las *zanjas de servicios*, nacidas para dar a luz al muro tarjeta, se alojan infraestructuras y servicios diversos. Fueron cavadas dos zanjas: en la *zanja azul*, zanja de lo sirviente, al pie del muro tarjeta, se instalan los acumuladores eléctricos (baterías), trastero (bicicletas, herramientas, jardinería, etc.) y el tanque de agua potable fría; en la *zanja negra*, zanja de lo servido, se instalan la arqueta de aguas negras y los contenedores de desechos reciclables; en la intersección de ambas zanjas se ubica el compost, para ser utilizado en el huerto doméstico.

3. Vivienda dual a repetición

Las dos plantas cruzadas de la vivienda juegan roles distintos: la planta baja se incorpora al suelo volcánico y la alta al territorio. Primera dualidad...

En la planta baja, en un espacio común, conviven la sala de estar, el comedor y la cocina: un muro de entrada, un desnivel en el piso, una escalera y una franja de luz cenital son los elementos utilizados como división en ese espacio. Los límites de borde se definen por razones climáticas y de privacidad cara al acceso (figura 3).

La planta alta también ha sido concebida como un espacio único, en el cual se definen las habitaciones a través de objetos. En ese gran espacio -y aunque los científicos que la habitarán la ocuparán con carácter temporal- se ha diferenciado el espacio de la pareja (composición conocida), del espacio de los hijos (composición desconocida). El primero ha sido concebido como *inmutable* y, el segundo, como *mutable*. Segunda dualidad... El espacio *inmutable* ha sido definido con el objeto-baño y con objetos-armarios inamovibles; el espacio *mutable* puede modificarse con los objetos muebles desplazables que lo dividen (estanterías, armarios, etc.) (figura 4).

La planta alta consta sólo de dos "fachadas": la fachada al Teide y la fachada al mar, la fachada pesada y la fachada ligera, la opacidad y la transparencia, la fachada del mirar puntual -al Teide-, la fachada del mirar horizontal -al mar-. Tercera dualidad... (figura 5).

La fachada al Teide ha sido extraída del propio fuego, de la lava: un muro espeso de 60 centímetros en tierra volcánica. La mirada al Teide es puntual como él: un balcón blanco, atravesando el espesor, permite otearlo en la lejanía (figura 6).

La fachada al mar se viste y desviste a voluntad: se cubre con celosías en verano (fachada corrediza de celosías), se desviste en invierno (fachada acristalada corrediza).

Las habitaciones conviven, pues, entre esas naturalezas: el fuego, en el muro espeso y el mar, en el horizonte.

B. LO BIOCLIMÁTICO

1. Análisis climatológico

Se promediaron los valores de las tablas meteorológicas de 1993 y 1994 (TC-ARS, 1994) y se representaron gráficamente en la carta psicrométrica, según el método de Givoni (1976), permitiendo examinar su relación con la zona de bienestar térmico y las diferentes estrategias de diseño. Entre los meses de noviembre a mayo, los valores en la madrugada están principalmente ubicados en la zona de requerimientos de **calentamiento pasivo** del edificio y, al mediodía, en la zona de **bienestar térmico**. Entre los meses de junio y noviembre, los valores se ubican en la zona de **bienestar térmico** en las horas de la madrugada y en la zona de **ventilación de bienestar** cerca del mediodía (figura 7).

Utilizando el método de Fanger (1984), se calculó el bienestar térmico y los porcentajes de satisfacción con los valores de temperatura de bulbo seco (TBS) y humedad relativa (HR) externos y diferentes velocidades del aire y temperatura media radiante (TMR). Se combinaron los valores de temperatura promedio máximos, con los de humedad a las 13 horas y los valores de temperatura promedio mínimos, con los de humedad a las 6 horas. Se efectuó el análisis seis veces, con valores de 0,8 CLO (unidad de arropamiento) para la ropa, 1,2 MET (unidad de metabolismo) para el nivel de actividad y $TBS = TMR$, con diferentes velocidades de aire: las velocidades promedio exteriores indicadas en las tablas (el valor con TBS mínima se asume como mínimo nocturno y el valor con TBS máxima se asume como máximo diurno), con velocidad del aire de 2 m/s, con velocidad del aire de 0,50 m/s y con velocidad del aire de 0,15 m/s. Luego se realizó otro análisis, con velocidad del aire de 0,15 m/s, modificando la vestimenta a 1,5 CLO (y con $TMR 1^\circ C$ superior a la TBS), simulando calentamiento de las paredes internas mediante algún sistema solar pasivo (figura 8).

El comportamiento climático del sitio se puede dividir en dos períodos: "Invierno", diciembre a mayo, similar a la primavera de un país de mayor latitud, y "Verano", desde julio hasta octubre.

A partir del análisis climatológico y de bienestar se determinaron situaciones de ventilación y soleamiento. En algún caso, como puede ser al mediodía de verano, es necesario contar con movimiento de aire (0,50-2m/s) a

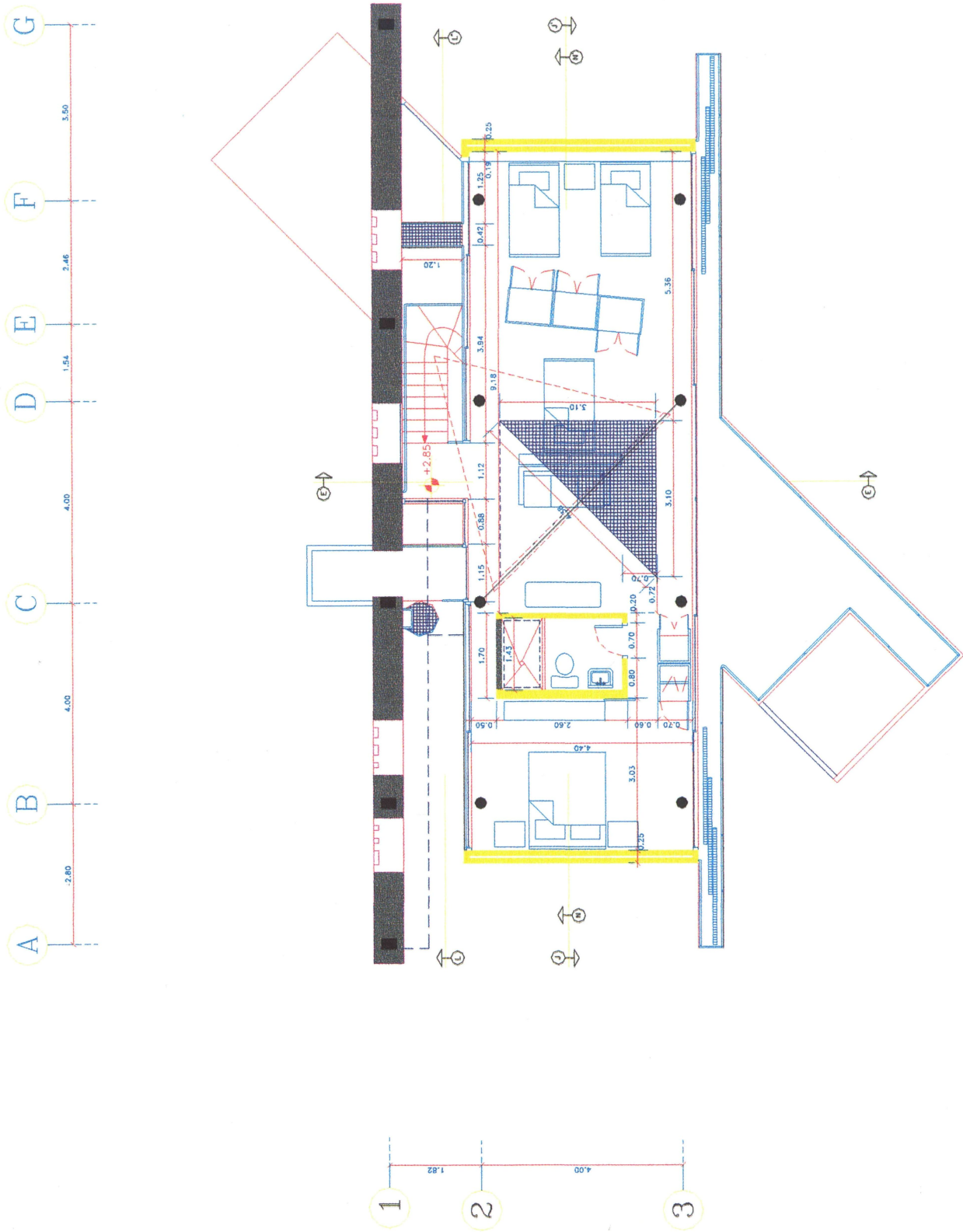




Figura 5.- Fachada al mar vista desde el sur. Simulación el 21 de septiembre y el 21 de marzo a las 12 horas.

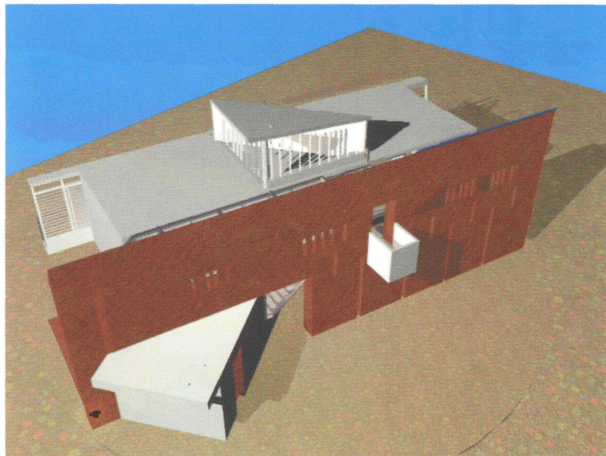


Figura 6.- Fachada al Teide vista desde el noroeste. Simulación el 21 de junio a las 8 AM.

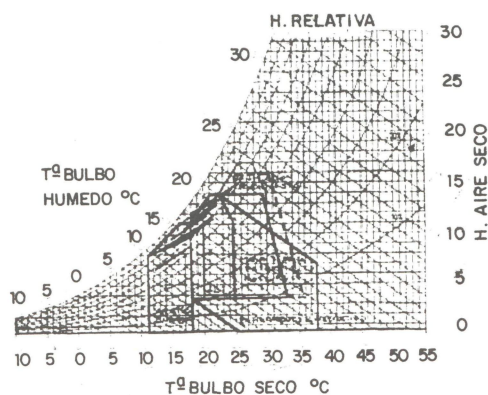


Figura 7.- Valores de temperatura y humedad relativa máximo y mínimo promedio mensuales.

fin de lograr el bienestar térmico, incrementando la tasa de evaporación del sudor de la piel y el enfriamiento por evaporación. Pero en otros casos, como pueden ser aquéllos en los que intervienen las noches invernales, se debe reducir al mínimo su velocidad (0,10 m/s), para evitar la disminución de la temperatura aparente (figura 9).

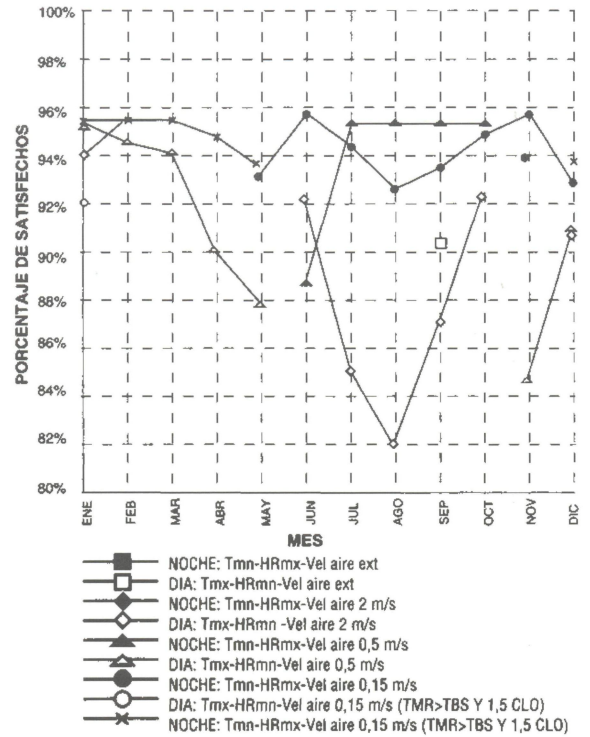


Figura 8.- Mejores índices de satisfacción determinados según HR, TBS y velocidades de aire exteriores con alternativas de TMR interiores.

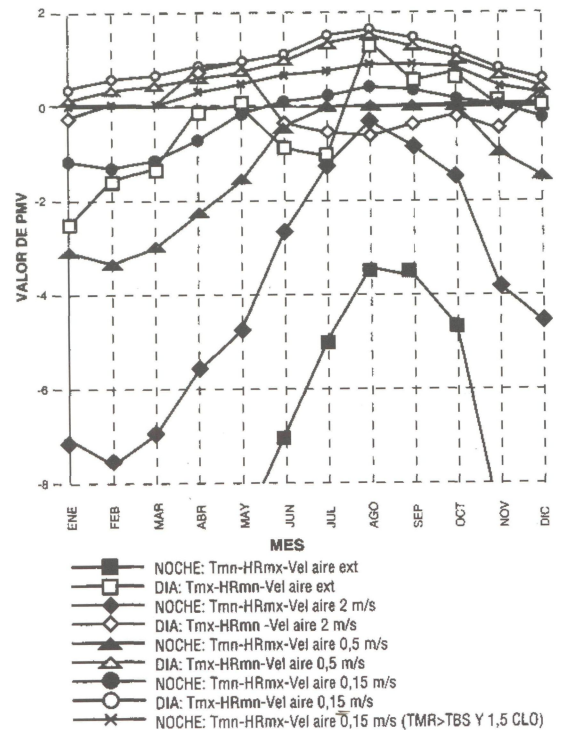


Figura 9.- Valores de PMV (método de Fanger) con HR, TBS y velocidades de aire exteriores con variaciones de TMR y CLO.

Con respecto al sol, también es necesario un uso selectivo, ya que en invierno la radiación solar es necesaria, pero en verano es perjudicial y se debe evitar la ganancia de calor al interior, ya que, al elevar las Temperaturas Superficiales Internas (TSI), se elevará la TBS interna, alejándonos de la Zona de Bienestar Térmico (ZBT).

2. Estrategias de diseño

Se buscó diseñar un edificio flexible en cuanto al manejo del sol y el viento, permitiendo la regulación independiente según los requerimientos. Se han diseñado dos sistemas para el control de estos elementos: Sistema Regulador Solar (SRS) y Sistema Regulador Eólico (SRE). Además, se propone el Sistema Regulador Masa (SRM) para controlar las oscilaciones extremas producidas por excesos de estos sistemas. En cada uno de dichos sistemas reguladores se utilizan diversas técnicas bioclimáticas y sistemas pasivos de enfriamiento o calentamiento.

Las técnicas bioclimáticas permiten disminuir las ganancias de calor por conducción, radiación y convección a través de muros y ventanas en verano y disminuir las pérdidas de calor desde el interior al exterior en invierno. Son una condición necesaria para poder aplicar eficientemente sistemas pasivos de enfriamiento o calentamiento y se pueden aplicar a diversas escalas.

Los sistemas pasivos de enfriamiento transfieren la energía incidente hasta depósitos energéticos naturales, como el aire, la atmósfera superior, el agua y la tierra. Aplicando estos sistemas, podemos disminuir la temperatura promedio del aire en el interior de la vivienda en verano, por debajo de la temperatura externa. Los sistemas pasivos de calentamiento se refieren a sistemas que almacenan y distribuyen energía solar, sin necesidad de ayuda de controladores complejos para su distribución.

2.1. Orientación

Afecta a todos los sistemas. La orientación del edificio responde al sol y al viento. La planta alta está orientada con su eje principal, en sentido este-oeste, respondiendo a la orientación solar. La planta baja está orientada a 45 grados con respecto a la planta alta, respondiendo a los vientos dominantes del noreste. En la intersección de los dos volúmenes -y orientada hacia el noreste- se ubica la chimenea eólica triangular (figura 10).

2.2. Sistema Regulador Solar (SRS)

El SRS es el encargado de manipular los componentes que modifican el comportamiento de la radiación solar:

1. En la fachada sur de las habitaciones de planta alta se proponen celosías externas de madera operable sobre rieles, cristales corredizos y cortinas aislantes nocturnas.



Figura 10.- Vista sureste. Simulación el 21 de junio a las 8 h.

2. En la sala de planta baja: vidrio, con cortinas aislantes internas. El volumen superior funciona como protección solar en verano.

3. El muro tarjeta funciona como protección solar.

Dentro del SRS actúa el sistema pasivo de calentamiento, ganancia solar directa y la técnica bioclimática de protección solar de las aberturas en verano.

2.2.1. Ganancia solar directa

Permite aportes de energía al interior del edificio durante el día, que se almacenan para ser utilizados durante la noche. Los ventanales permiten la entrada de radiación en días de invierno, con paneles corredizos de celosías que se utilizan para evitar sobrecalentamiento. En la noche se baja la cortina térmica, para evitar pérdidas de energía por radiación nocturna desde el interior hacia el exterior a través del ventanal.

La caja acristalada de la escalera proporciona iluminación cenital a la cocina; en verano se protege con un elemento basculante de entramado metálico industrial (grating), externo a la caja y anclado al muro tarjeta; además, se ventila a través de aberturas laterales y las existentes en el muro tarjeta, las cuales pueden ser cerradas por medio de ventanas basculantes de vidrio, cuando así se requiera.

2.2.2. Protección solar de aberturas en verano

Todas las aberturas, a excepción de la ventana de la fachada suroeste de la sala, la cual recibe un rayo de sol que penetra toda la planta baja en el atardecer del solsticio de invierno, están adecuadamente protegidas en verano. La planta alta tiene un mecanismo operable de celosías permeables al viento e impermeables a la luz, que permiten regular la entrada de radiación a los dormitorios, evitando, así, el sobrecalentamiento.

2.3 Sistema Regulador Eólico (SRE)

El SRE es el encargado de modificar las condiciones del ambiente internas por transferencias de energía desde el edificio hacia el aire. Todos los componentes del sistema regulador eólico se pueden cerrar y abrir por completo.

Está compuesto por los siguientes dispositivos:

1. Chimenea eólica: orientada hacia el noreste, para aprovechar los vientos dominantes que proceden de este primer cuadrante. El proyecto se concibe como un dispositivo habitable, por lo tanto la chimenea no es un espacio adicional del edificio, y lo penetra en el punto de intersección de los dos volúmenes, siendo el espacio debajo de la chimenea eólica habitable, con una abertura en el forjado, cubierta de entramado metálico industrial (*grating*), el cual permite el paso del aire a través de él, distribuyéndose por difusores en la planta baja. Es la fuente principal de ventilación de la vivienda para generar bienestar en verano; las partículas de polvo suspendidas en el aire son eliminadas parcialmente, colocando mallas en paneles deslizantes.
2. Aberturas en las fachadas de los volúmenes: en forma de ventanas de piso a techo operables en los volúmenes de planta baja y planta alta.
3. Aberturas en el muro solar eólico: orientado al NNE, permitiendo aprovechar los vientos del norte y parcialmente los del este.
4. Dispositivos para enfriamiento evaporativo: debajo de la entrada de aire de la chimenea eólica y en las aberturas principales del muro tapial existen envases con agua circulante, los cuales permiten disminuir la temperatura del aire por enfriamiento evaporativo del aire.

En este sistema actúan los siguientes elementos pasivos de enfriamiento:

2.3.1. Enfriamiento convectivo nocturno

La ventilación nocturna enfría la masa interna presente en pisos, paredes y muro tapial del edificio durante la noche, disminuyendo su TSI acercándose a la TBS externa y, por lo tanto, disminuyendo la TBS interna. Cuando se utiliza enfriamiento convectivo nocturno la ventilación durante el día, generalmente, no es deseable, ya que la masa interna se calienta a temperaturas superiores a la del aire; sin embargo, es posible la aplicación de enfriamiento convectivo nocturno combinado con ventilación de bienestar, cuando las temperaturas exteriores en verano no superen los 30 grados, que es el caso de la mayor parte de los días de verano en el lugar. En este caso, la TSI durante el día por el enfriamiento convectivo nocturno y de la sombra producida durante toda la mañana por el muro

tapial, permitirá mantener la TBS cercana a los valores de bienestar.

2.3.2. Ventilación de bienestar

Provee ventilación directa con el fin de incrementar el bienestar humano. Se aprovechan las altas velocidades de aire para extender la zona de bienestar térmico hasta los valores de bienestar con mayor velocidad del aire. Todos los espacios están dotados de aberturas para entrada de aire y para salida del mismo, siendo el elemento dominante la chimenea eólica.

2.3.3. Enfriamiento evaporativo directo

Disminución de la temperatura interna por humidificación del aire. Este sistema pasivo de enfriamiento es aplicable en zonas áridas con poca humedad. Las aberturas del muro tapial y de la chimenea eólica presentan envases con agua circulante, los cuales se pueden activar para disminuir la temperatura del aire sobre ellos por enfriamiento evaporativo, disminuyendo la temperatura del aire que penetra en el interior del edificio, manteniendo la TSI de la masa térmica y, por lo tanto, la TBS interna con valores aceptables durante períodos de tiempo mayores.

2.4. Sistema Regulador Masa (SRM)

Contribuye a regular las oscilaciones extremas producidas por aportes o pérdidas en los SRE y SRS. Comprende las técnicas bioclimáticas que se especifican a continuación y donde el componente más importante es la adecuada ubicación de masa térmica y el material aislante.

2.4.1. Masa térmica

Se utiliza masa térmica en el interior del edificio para almacenar calor en los días de invierno y frío en las noches de verano. Se utiliza aislante térmico en el exterior de esta masa, para evitar pérdidas de calor inconvenientes desde el interior al exterior, en invierno y ganancias desde el exterior al interior, en verano.

Se utiliza masa térmica en:

1. La placa de hormigón con recubrimiento de terrazo gris y base de piedras basálticas del sitio en el pavimento de la planta baja del piso de la sala.
2. En el muro solar eólico.
3. En las fachadas más angostas del volumen de habitaciones (este y oeste).
4. En entepiso: forjado de hormigón con recubrimiento de terrazo gris.

2.4.2. Aislantes térmicos

La envolvente está aislada para evitar las ganancias de calor por conducción en verano y las pérdidas, también por conducción, en invierno. Los valores de las paredes y techos superan ampliamente los valores mínimos de las normas NBE CT-79 (1994) establecidos para las Islas Canarias, los cuales, aunque están pensados para edificios que permanecerán cerrados -y que no constituyen el caso de la propuesta-, sirven como referencia para evaluar la efectividad. Así, el valor del coeficiente de transmisión térmica propuesto para la cubierta es de $0,20 \text{ m}^2/\text{°C W}$, muy inferior, por tanto, al valor máximo de $1,40 \text{ m}^2/\text{°C W}$, exigido por la norma.

2.4.3. Colores claros externos

El color externo de las fachadas es blanco, con absorción de 0,20, lo cual disminuye la ganancia de calor por conducción, como es necesario en verano. En invierno, la ganancia de calor hacia el interior se realiza por radiación, a través de las aberturas vidriadas.

2.4.4. Elementos de sombra

La superposición de volúmenes cruzados genera áreas sombreadas exteriores que disminuyen las ganancias internas en el verano y generan TBS externas inferiores cercanas al edificio: el edificio deviene árbol, no necesitando riego.

El muro tapial sirve como gran elemento de protección solar para el edificio, especialmente en las mañanas de verano. Las fachadas al este y oeste están bien aisladas en la planta alta y protegidas, por ésta, en la planta baja.

2.4.5. Protección contra el viento en invierno

El muro tapial sirve como regulador de las condiciones externas hacia el interior. Protege de los vientos fríos en invierno, pero presenta aberturas con ventanas operables que permiten la ventilación en verano; el espesor del muro actúa como protección solar.

Las ventanas de celosías externas, además de funcionar como protección solar, pueden cerrarse en las noches de invierno, a fin de proteger la fachada acristalada de las pérdidas por convección y del aumento de las pérdidas por conducción, debido al aumento del coeficiente de película superficial del vidrio.

3. Dispositivos generadores de calor y electricidad

3.1. Calentamiento solar del agua

Se ha escogido un sistema calentador solar con regulador y circulador. La inclinación de los colectores de agua

caliente es 55° , con una superficie total de 4 m^2 , los cuales permiten un aporte continuo durante todo el año, especialmente durante el invierno, cuando la TBS exterior será inferior. Se ubican en el tope del muro tarjeta.

Un tanque de almacenamiento de agua caliente para uso doméstico, con capacidad para 1.500 litros, está ubicado en la parte alta del muro tarjeta, conectado a los colectores solares.

3.2. Generación de electricidad

Se decidió utilizar celdas fotovoltaicas para la generación de electricidad en la vivienda, disminuyendo los costos de un sistema híbrido. Se ubican en la parte superior del muro tarjeta, integrándolas a la arquitectura. En la vivienda se disponen los aparatos eléctricos -con 12 voltios- para eliminar la necesidad de instalar un inversor de corriente, ahorrando, así, costo y pérdidas de energía. Se utilizaron 17 módulos MSX-120 o similares, con una capacidad de 120 W c/u (superficie 22 m^2), conectados en serie, con una potencia pico de 2.040 vatios. La inclinación de las celdas es de 55° , proporcionando los valores máximos promedio diarios durante todo el año, entre 5 y 6 kWh/m^2 y la máxima eficiencia en cuanto a Amp-h/día. Se utilizaron tres baterías industriales tipo SEC T11-19, con un peso total de 207 kg y una carga de 4.485 Amp-h, conectadas en paralelo y con capacidad de almacenamiento para 7 días y medio. La relación carga por energía solar y descarga por equipo es cercana a 1,25 durante todo el año.

4. Conceptos eco-bioclimático

Se trata de buscar un concepto bioclimático ecológico integral, por lo que se han introducido en el proyecto otros conceptos que contribuyan a preservar el medio ambiente.

4.1. Clasificación de basura

Se propone un sistema de clasificación de basura, ubicado en la zanja negra, con clasificación de desechos inorgánicos (papel y cartón, aluminio y vidrio), y orgánicos (generador de compost).

4.2. Recirculación de agua jabonosa

Recirculación de agua jabonosa para el W.C. y para el riego e instalación de dispositivos ahorradores de agua, en la ducha y en el inodoro.

4.3. Cultivo de hortalizas

En la zona norte de la parcela -y conectada funcionalmente con el área de servicios- se propone un área para cultivo de hortalizas, aprovechando el generador de compost y la recirculación de agua. En la zona al sur de la vivienda se utiliza el verde como recurso bioclimático para disminuir

la temperatura del aire. El *muro tarjeta* también se utiliza como recurso recubierto de vegetación en las superficies próximas a las habitaciones.

5. Simulación informatizada

Para el análisis de la propuesta se utilizó el programa de simulación informatizada de comportamiento térmico de edificaciones en régimen dinámico "CODYBA", (Brau, Roux, Depecker, 1987), diseñado por el INSA de Lyon, Francia. Se utilizaron los datos meteorológicos del aeropuerto Reina Sofía y se realizaron dos simulaciones: una para un día típico de verano, el 15 de julio, y otra para un día típico de invierno, el 15 de enero. Los datos fueron obtenidos después de un período de inicialización de tres días. El porcentaje de satisfacción con las condiciones internas fue calculado a través del método *Predicted Mean Vote* (PMV), de Fanger, el cual resulta una referencia internacional para ambientes térmicos moderados. Para el análisis se realiza una simulación con un individuo de sexo masculino, de 75 kg de peso, una altura de 1,70 m, sentado y realizando una actividad moderada, 81 W/m^2 . En invierno se usó ropa de abrigo, con 1,2 CLO y velocidad del aire de 0,10 m/s. En verano se usó ropa de primavera, con 0,80 CLO y velocidad del aire de 1,50 m/s. Para determinar las modificaciones de temperatura interna por enfriamiento evaporativo, se utilizaron las ecuaciones propuestas por Givoni (1994:171).

También se utilizó el programa ASICLIMA (La Roche, 1995) para determinar la trayectoria solar en diferentes días del año, transmitancia térmica y flujos de calor a través de planos de fachada.

5.1. Comportamiento térmico de la edificación en invierno: horas diurnas

El sistema pasivo de calentamiento por ganancia solar directa complementado con las técnicas bioclimáticas: orientación adecuada, masa térmica y aislamiento térmico producen temperaturas promedio diurnas de $21,2^\circ\text{C}$ en la planta alta y $21,6^\circ\text{C}$ en la planta baja, en comparación al promedio externo diurno de $19,6^\circ\text{C}$. El porcentaje de satisfacción promedio durante el día tipo de invierno es de 87% y 86%, respectivamente (figura 11).

5.2. Comportamiento térmico de la edificación en invierno: horas nocturnas

El sistema pasivo de calentamiento por ganancia solar directa, complementado, por otra parte, con las técnicas bioclimáticas de orientación adecuada, masa térmica, aislamiento térmico y protección contra el viento, generan temperaturas promedio nocturnas de $21,1^\circ\text{C}$ en la planta alta y $20,7^\circ\text{C}$ en la planta baja, en comparación al promedio externo nocturno de $17,5^\circ\text{C}$. El porcentaje de satisfacción promedio es de 90% y 87%, respectivamente (figuras 12, 13 y 14).

5.3. Comportamiento térmico de la edificación en verano: horas diurnas

Los sistemas pasivos de enfriamiento: ventilación de bienestar y enfriamiento evaporativo, complementado con las técnicas bioclimáticas: orientación adecuada, masa térmica, aislamiento térmico, colores claros externos, protección solar de las aberturas, elementos de sombra y

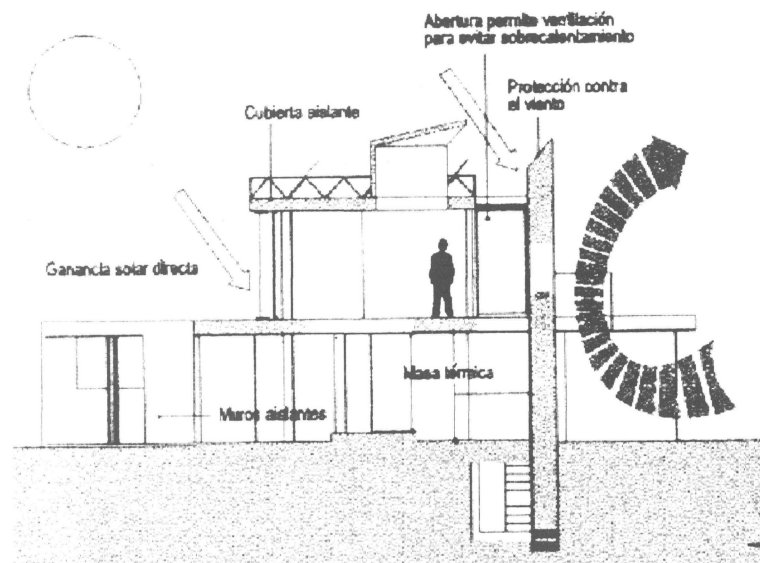


Figura 11.- Sistemas y dispositivos que actúan en invierno: horas diurnas.

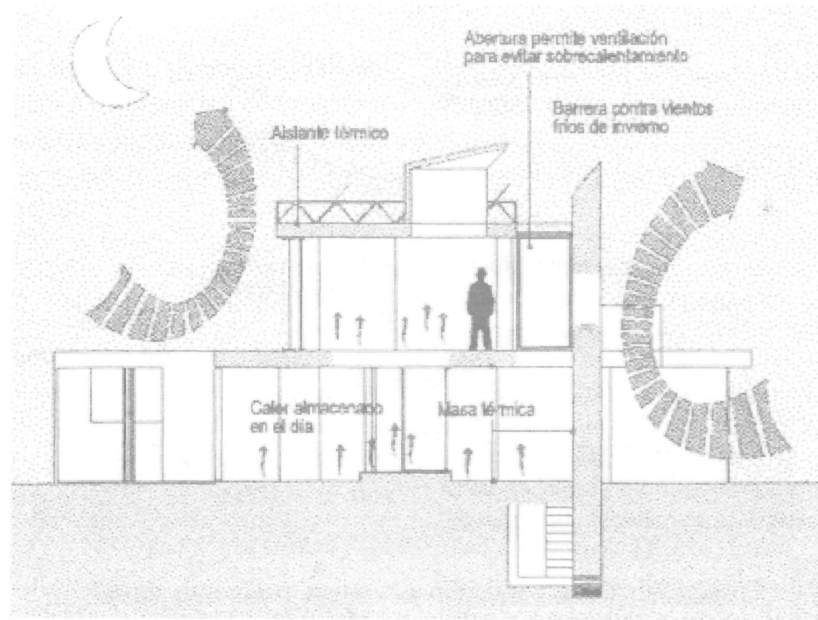


Figura 12.- Sistemas y dispositivos que actúan en invierno: horas nocturnas.

TEMPERATURAS INVIERNO (DIA TIPO: 15/01)

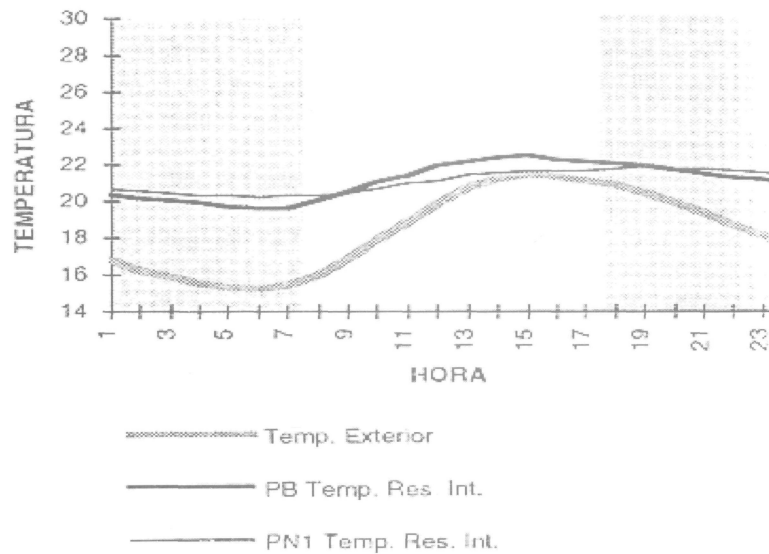


Figura 13.- Temperaturas internas en invierno (15/01).

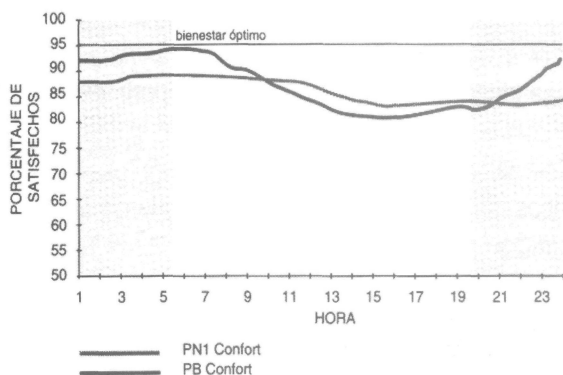


Figura 14.- Bienestar térmico interno en invierno (15/01).

adecuado trabajo exterior, generan temperaturas promedio diurnas internas resultantes de 24,9 °C en la planta alta y 24,8 °C en la planta baja en comparación al promedio externo diurno de 25,1 °C. El porcentaje de satisfacción promedio es de 91% y 89%, respectivamente (fig 15).

5.4. Comportamiento térmico de la edificación en verano: horas nocturnas

Los sistemas pasivos de enfriamiento: ventilación de bienestar y enfriamiento convectivo nocturno de la masa térmica, complementado con las técnicas bioclimáticas:

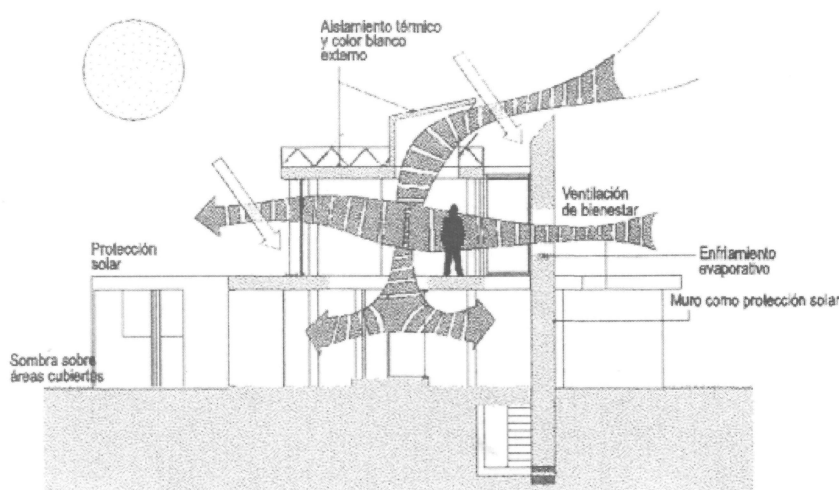


Figura 15.- Sistemas y dispositivos que actúan en verano: horas diurnas.

orientación adecuada, masa térmica, aislamiento térmico, generan temperaturas promedio nocturnas de 24,1 °C en la planta alta y 24,5 °C en la planta baja en comparación al promedio externo nocturno de 22,8 °C. El porcentaje de satisfacción promedio es de 94%, en ambos casos (figuras 16, 17 y 18).

Los resultados de las simulaciones realizadas a la propuesta presentada, indican un promedio de 89,75% de personas satisfechas durante todo el año.

C. LA ESTRUCTURA Y LOS MATERIALES

1. El muro tapial

El muro tarjeta tiene un espesor de 0,60 m, una altura de 6,50 m (relación e/h aprox. 1/10) y una longitud de 19 m; consta de piedra basáltica y tierra compactada, con aglomerante a base de cal muerta, con una pequeña proporción de puzolanas y cemento en caso de requerirse. El proceso constructivo es del tipo tradicional utilizado en las Islas Canarias durante varios siglos (s. XVI - s. XIX) (figura 19).

El muro tiene perforaciones, de acuerdo a los requerimientos de ventilación; asimismo, en su parte superior, se ubican las celdas fotovoltaicas y colectores solares y un tanque de almacenamiento de agua caliente (incluido en el espesor del muro), con una capacidad de 200 litros; en su parte inferior, se ubican otros dispositivos de ventilación y extracción de aire. Anexo al muro, existe una zanja (2x1,20 m) donde se ubican el tanque de almacenamiento de agua fría y los equipos de bombeo.

De los materiales requeridos para el muro, la tierra y los áridos de piedra se obtendrán del propio sitio: del

movimiento de tierra necesario para la nivelación y de las zanjas.

El muro contiene, en su interior, un pórtico en hormigón armado que se realiza a medida que se levanta el tapial y cuya función es rigidizar y sostener los dispositivos ubicados en el mismo.

2. La edificación

Estructura en esqueleto, conformada por cimientos, columnas y vigas de hormigón armado, incluidas en el espesor del forjado. El forjado es unidireccional con viguetas prefabricadas de hormigón armado y bloques huecos porosos de hormigón.

Las luces entre columnas y vigas es de 4 m. La cubierta está sostenida con celosías de acero galvanizado y protegidas contra la corrosión marina y erosión del polvo, conformadas por los cordones superior e inferior (perfil en T) y las diagonales (perfil en L); éstas tienen una inclinación de 55° para servir de apoyo a las celdas fotovoltaicas que se ubican en la cubierta.

El cordón inferior de la celosías nos permite colocar una cubierta ligera con cámara de aire, colocando internamente un entramado de tubos rectangulares para sostener en la parte inferior placas de cartón yeso y en la parte superior un tabique tipo sandwich de dos láminas de fibrocemento (5 mm de espesor) y alma de poliestireno; la lámina se impermeabilizará y se pintará con pintura reflectante aluminizada.

La chimenea eólica está sostenida por 3 columnas que sobrepasan la cubierta; la placa de la chimenea es de forma triangular y con una inclinación que capta los vientos dominantes del N y NE; es una lámina plana de hormigón

<http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es>

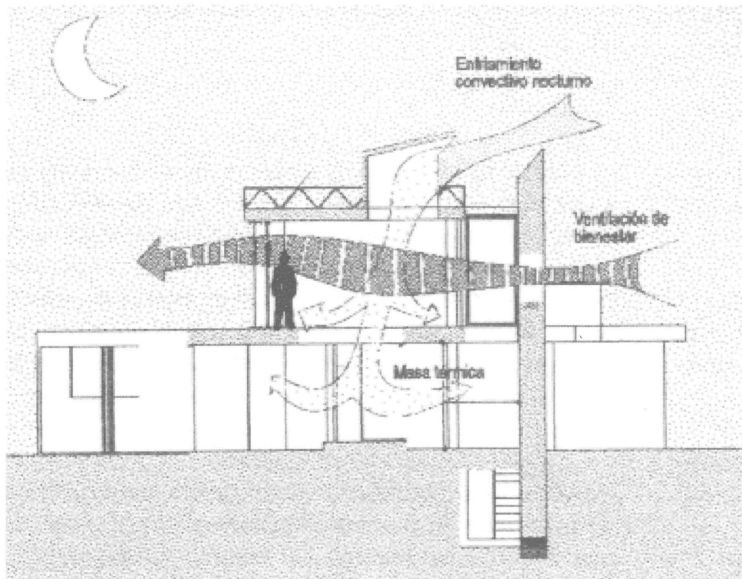


Figura 16.- Sistemas y dispositivos que actúan en verano: horas nocturnas.

TEMPERATURAS VERANO (DIA TIPO:15/07)

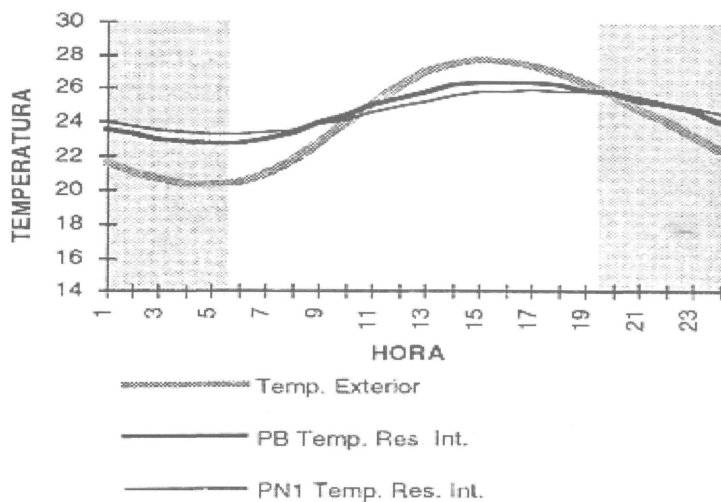


Figura 17.- Temperaturas internas en verano (15/07).

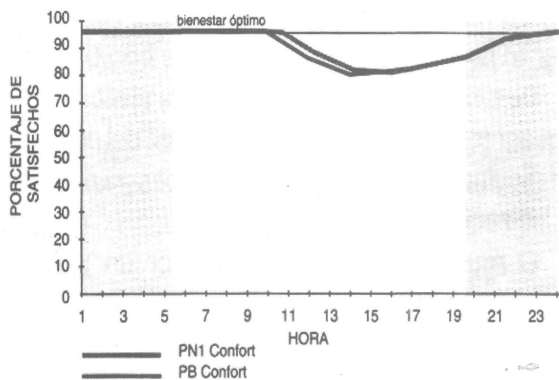


Figura 18.- Bienestar térmico en verano (15/07).

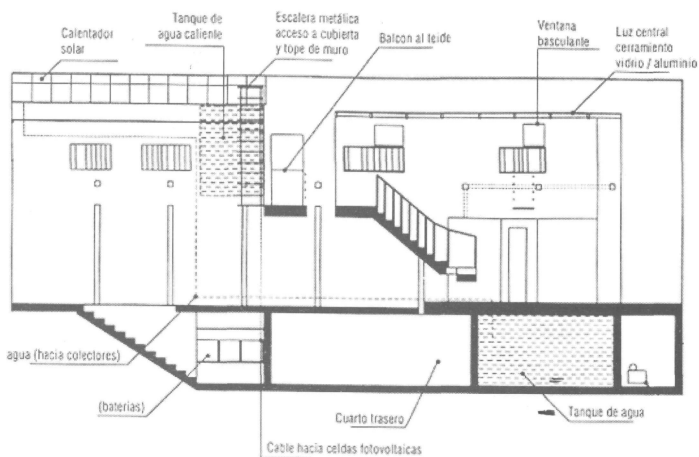


Figura 19.- Dispositivos incorporados en el muro tapial.

armado con un espesor de 7 cm, recubierta con poliuretano y protegida con la impermeabilización y la pintura.

3. Los materiales de construcción

Además de los materiales con los que se realiza la estructura en la vivienda, se propone, predominantemente, el uso de aquellos materiales que se produzcan en la isla.

-Paredes exteriores: muros de doble tabique de bloque hueco de hormigón (e=10 cm) con cámara de aire (5 cm); enlucido de yeso la parte interna y revoco de arenacemento con pintura blanca en la parte externa.

-Paredes interiores: se reducen a los espacios de las salas sanitarias; pared en bloque hueco de hormigón (e=10 cm) con enlucido de yeso.

-Fachadas acristaladas en planta alta: vidrio de suelo a techo con carpintería de aluminio; la fachada sur está protegida con celosías de madera moduladas (persiana mallorquina), que permiten replegarse en los extremos por medio de rieles.

-Entramado metálico industrial (grating): se usa como respiradero en el entresuelo apoyado en el forjado. Pasillo de servicio en la cara sur del muro tarjeta (50 cm) para mantenimiento de los dispositivos; se sostiene en ménsulas de hormigón armado, empotradas en el muro y en una viga horizontal del pórtico interno.

-Escalera: en hormigón armado, apoyada en el forjado y en la planta baja.

-Divisiones interiores: como objetos móviles o no, se disponen los armarios en la planta alta realizados con tableros de cartón-yeso, sobre estructura de perfiles en chapa metálica.

El costo estimado de la propuesta es de 96 mil euros (130 mil dólares).

Conclusión

Es posible aplicar los conceptos de diseño bioclimático a una obra de arquitectura evitando que las técnicas y sistemas utilizados se comporten como una sumatoria de dispositivos a una vivienda. Esto permitirá mayores posibilidades de incorporar los dispositivos de diseño bioclimático a nuevas propuestas arquitectónicas, las cuales tendrán un mayor grado de aceptación por parte de sus usuarios y de la comunidad arquitectónica internacional.

Una simulación preliminar del comportamiento térmico de la vivienda ha generado resultados aceptables, con un porcentaje de satisfacción del usuario cercano al 90%. Esto indica una adecuada aplicación de las diferentes técnicas bioclimáticas y sistemas pasivos en el diseño. Sin embargo, la monitorización de las condiciones térmicas dentro de la vivienda, conjuntamente con la evaluación de la obra por sus usuarios (investigadores en alquiler temporal) permitirá evaluar con mayor precisión el comportamiento de la propuesta, como dispositivo habitable.

Agradecimientos

A la arquitecta Claudia Urdaneta, que trabajó en la concepción de la propuesta; a los arquitectos José Luis Angarita, Zamira Quintana, Yuri Faneite, Alberto Stanford, Nervinson Soles y Leonardo Casado, colaboradores en la elaboración del modelo digital de la propuesta; a las estudiantes Marigabriela Puerta y Rosana Fernández; a la Facultad de Arquitectura de la Universidad del Zulia y a la arquitecta Pilar De Oteiza, por enviarnos tan valioso material desde España.

BIBLIOGRAFÍA

- (1) BRAU J., ROUX J.J., DEPECKER, P.: Micro-informatique et comportement thermique des bâtiments en régime dynamique: CODYBA, Génie Climatique, 11, 15-23 (1987).
- (2) GIVONI, B.: *Man Climate and Architecture*, 2nd edn. Applied Science Publishers, London (1976).
- (3) GIVONI, B.: *Passive and Low Energy Cooling of Buildings*. Van Nostrand Reinhold. 263 p. New York (1994).
- (4) LA ROCHE, P.: Herramienta automatizada para el diseño bioclimático de edificaciones: ASICLIMA. Tecnología y Construcción. 11. 19-29 (1995).
- (5) MUSTIELES, F., LA ROCHE, P., ET OTEIZA, I.: (1996). "*Habitar los dispositivos*". XIX Congreso Internacional de la UIA, celebrado del 3 al 6 de julio en Barcelona (España), 11 pp.
- (6) NBE-CT. Norma Básica de la Edificación. Condiciones Térmicas de los edificios. Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente. CT-79. Octava reimpresión. Madrid. España. (1994).
- (7) TC-ARS. Tablas climáticas Aeropuerto Reina Sofía/Tenerife Sur, Islas Canarias. Latitud 28°2'34" N, Long 16°34'14" W. Altura 64 m. Período 1961-94, (1994)

* * *

—