

CERRAMIENTOS BIOCLIMÁTICOS PARA CLIMAS CÁLIDOS HÚMEDOS: LA CUARTA VIVIENDA

(BIOCLIMATIC CLOSURES FOR HOT HUMID CLIMATES: THE FOURTH HOUSE)

Francisco Mustieles, Dr. Arquitecto; Pablo La Roche, Arquitecto MSc.; María Verónica Machado, Arquitecto; Ignacio de Oteiza, Dr. Arquitecto; José Antonio Indriago, Arquitecto MSc.; Rosalinda González, Arquitecto Instituto de Investigaciones. Facultad de Arquitectura (IFA), Univ. del Zulia

Maracaibo (VENEZUELA)

Fecha de recepción: 30-XII-97

874-2

RESUMEN

En climas cálidos húmedos como es el caso de grandes regiones de Venezuela, las envolventes deben reducir la influencia de la radiación solar y, por lo tanto, deben recibir atención especial.

Venezuela es también el país con más alto consumo energético per cápita en Iberoamérica, generado en su mayor parte por el uso de sistemas de aire acondicionado en las edificaciones residenciales. En Maracaibo y en los alrededores del Lago de Maracaibo se registran los valores más altos de temperatura y humedad en Venezuela, lo que incrementa, aún más, el consumo energético de las viviendas de estas regiones.

La minimización del impacto de la radiación solar para lograr la reducción del consumo energético con un mayor bienestar térmico ha sido precisamente uno de los objetivos perseguidos con el desarrollo de una nueva vivienda bioclimática para la región del lago de Maracaibo. Ésta incorpora principios de las tres viviendas bioclimáticas previas existentes en esa región: el palafito o vivienda tradicional indígena, la vivienda colonial republicana y la vivienda petrolera. Es por ello que esta vivienda ha sido llamada la Cuarta Vivienda.

Palabras clave: *Contenedor bioclimático, ventana bioclimática, radiación solar, ventilación natural.*

SUMMARY

In intertropical latitudes such as Venezuela with hot humid climates, building envelopes must reduce influence of solar radiation, and in these, roofs and windows must receive special attention.

Venezuela is also the country with the highest energy consumption per capita in Iberoamerica, much of which is generated by air conditioning systems in residential buildings, and Maracaibo and the surrounding lake basin have some of the highest temperature and humidity values in Venezuela, which increase energy consumption even more.

A bioclimatical house for this climate is proposed. This building incorporates principles from traditional indigenous, colonial and oil company houses in the Maracaibo lake basin to generate a new prototype, called the Fourth House.

Key words: *Bioclimatic container, bioclimatic window, solar radiation, natural ventilation*

INTRODUCCIÓN

En este artículo se presentan las principales características de la envolvente y de las ventanas de esta vivienda: el Contenedor Bioclimático (CB), y la Ventana Matricial Bioclimática (VMB), concebidos ambos como sistemas especializados de baja tecnología, que asumen responsabilidades diferenciadas en relación con la

ventilación, protección solar, iluminación natural, etc., constituyéndose en sistemas reguladores activos de las condiciones externas.

En una primera parte se revisan rápidamente las envolventes y ventanas de los tres modelos bioclimáticos previos; en una segunda parte, se exponen las técnicas bioclimáticas incorporadas al CB y la VMB en la Cuarta Vivienda. Las

simulaciones del comportamiento bioclimático de la Cuarta Vivienda con estas propuestas de ventana y contenedor, serán mostradas antes de concluir.

LA ENVOLVENTE Y LA VENTANA EN LOS TRES MODELOS BIOCLIMÁTICOS PREVIOS

La vivienda tradicional indígena (palafito)

El palafito, vivienda indígena asentada mayoritariamente en zonas lacustres (Figura 1), se desarrolló en el occidente venezolano (Estado del Zulia) desde siglos antes del descubrimiento americano por parte de los europeos. Es precisamente por la percepción de los conquistadores de una agrupación de palafitos, por lo que se le acuñará el nombre al país: pequeña Venecia.

La envolvente filtro

El palafito es en realidad un filtro habitado; los distintos componentes de la envolvente -suelo, paredes y techos- son permeables en distinto grado; la luz, el viento, el polvo y el agua son controlados diferencial y adecuadamente por esos tres componentes.

El suelo, construido con cañas de mangle, permite la presencia del lago en el interior de la vivienda; el suelo es espeso. Las paredes constituyen un gran filtro plano que tamiza la luz y el viento; son paredes-ventanas celosías en las cuales se inscriben, a su vez, otras ventanas con características diferenciadas. El techo, construido en enea -hoja de palma- tupida, permite que la vivienda respire en su plano superior, evacuando así el calor de la vivienda, pero impidiendo a su vez el paso del agua de lluvia. La enea es un material ligero y aislante, que no almacena calor y no lo transmite al interior.

La pared celosía

La fachada del palafito es una gran ventana celosía fija -una fachada ventana- en la cual se inscribe un marco -una ventana en la ventana-; vista desde el interior, la fachada ventana vibra cinéticamente con el exterior luminoso y natural; a su vez, la ventana en la ventana aparece como un cuadro de naturaleza colgado en la fachada ventana.

La ventana en la ventana provee al palafito de luz directa no tamizada y permite el contacto visual y sensitivo con el exterior. Las dimensiones de estas ventanas oscilan alrededor de 90 cm de ancho por 1 m de alto.

La fachada-ventana o filtro, en la cual está inscrita la anterior, provee de ventilación de bienestar y enfría la envolvente; tamiza, a su vez, la luz; los materiales de las cuales está hecha, cañas de mangle, la convierten en un cerramiento ligero y aislante: no almacena calor y, en todo caso, el calor recibido no pasa al interior.

La vivienda colonial republicana

La vivienda colonial republicana de Maracaibo data de la segunda mitad del siglo XIX y de principios del siglo XX y es la heredera natural de ciertos principios arquitectónicos y bioclimáticos de la vivienda colonial de origen español (Figura 2).

La envolvente en la vivienda colonial republicana

Es una vivienda rectangular en hilera con patio lateral trasero, con una única fachada coloreada dotada de una puerta alta, acompañada de una, dos o tres ventanas, igualmente altas y espesas.

Los tejados son a dos aguas, inclinados hacia la calle y hacia el patio, recubiertos por tejas de arcilla y soportados por una estructura en madera que se apoya sobre muros relativamente espesos construidos con mortero de arcilla y suelo, sujetado por cañas, tipo bahareque; en algunos casos se pueden encontrar tapias en las paredes laterales.

La ventana espesa

Las dimensiones de las ventanas coloniales-republicanas oscilan alrededor de 90 cm de ancho por 2 m de alto, y entre 50 y 70 cm de ancho; es el resultado de la sobreposición en el espesor de varios planos con responsabilidades diferenciadas:

- celosía en romanillas de madera o tamiz entrelazado: reduce la entrada de radiación solar directa y reflejada, disminuyendo a la vez la intensidad de la luz; no almacena calor y no lo deja pasar al interior, pero sí permite el paso del aire; preserva a su vez la intimidad familiar: deja ver hacia afuera sin ser visto;
- hojas de madera no permeables protectoras de lluvias, de vientos no deseados, del polvo y creadoras de espacios oscuros; en muchos casos, disponían éstas, a su vez, de una pequeña ventana superior en vidrio con marco de madera, capaz de asegurar la iluminación de la pieza en adversidades climáticas;
- plano de seguridad: conformado por barrotos de madera, separados a 15 cm;
- al ser ventanas proyectadas hacia el exterior, se desarrolla un poyato que favorece la comunicación con el pasante.

La vivienda petrolera

El desarrollo de las viviendas petroleras en el Estado del Zulia abarcó aproximadamente cuatro décadas (1920-1960) y es el fruto de la experiencia habitacional de las grandes transnacionales del petróleo holandesas, británicas y estadounidenses en el área tropical (Figura 3).

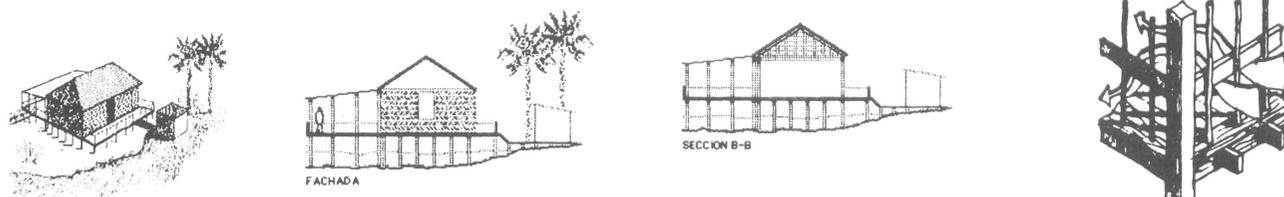


Fig. 1.- La vivienda palafítica.

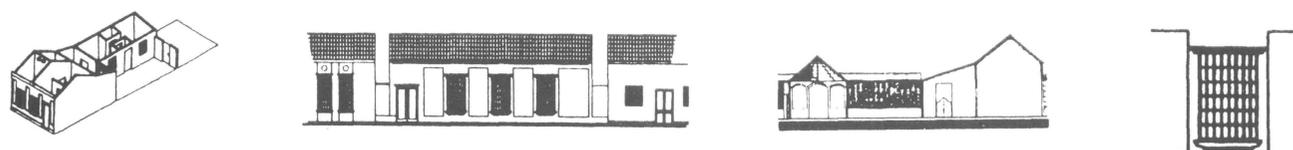


Fig. 2.- La vivienda colonial republicana.

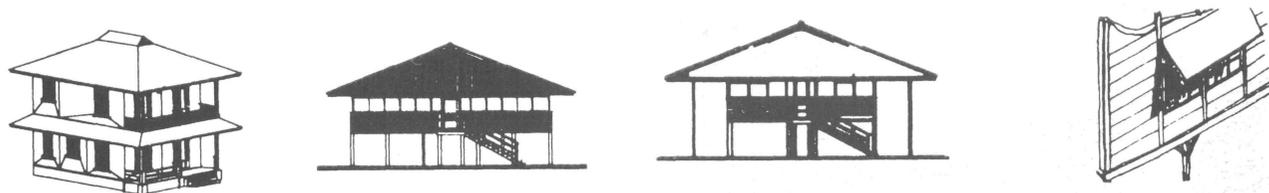


Fig. 3.- La vivienda petrolera.

Vivienda autoprottegida

La arquitectura de la vivienda petrolera es heredera de las grandes cubiertas: el sombrero construido; es la arquitectura del dominio de los aleros y de la separación del suelo.

Es una vivienda rectangular aislada rodeada completamente de jardines, con cuatro fachadas, generalmente blancas, en las cuales se inscriben puertas y ventanas, bajo la protección de una gran cubierta-techo o de aleros.

Los tejados son a cuatro aguas, recubiertos por láminas de zinc y soportados por una estructura aporticada en madera o metal; los cerramientos exteriores son de metal o de madera, con cámara de aire. El piso también es de madera constituyendo una suerte de tarima.

La ventana autoprottegida

La ventana de la vivienda petrolera es vertical (90 cm de ancho por 1,5 m de alto) y está protegida de la radiación solar por aleros, galerías o árboles. Tiene marcos de madera o de metal conteniendo los cristales; frecuentemente se le incorporaba un mosquitero en los asentamientos cercanos al lago de Maracaibo.

LA CUARTA VIVIENDA

La Cuarta Vivienda ha sido concebida como una vivienda aislada pero en hilera, para reducir costos de urbanización y reducir el consumo de suelo urbano. La alta densidad existente, característica de centros urbanos coloniales, ha sido propuesta para áreas suburbanas, pero respetando el carácter aislado de la vivienda suburbana. La Cuarta Vivienda trata de racionalizar los costos de urbanización considerando una forma específica de vida, la del suburbio.

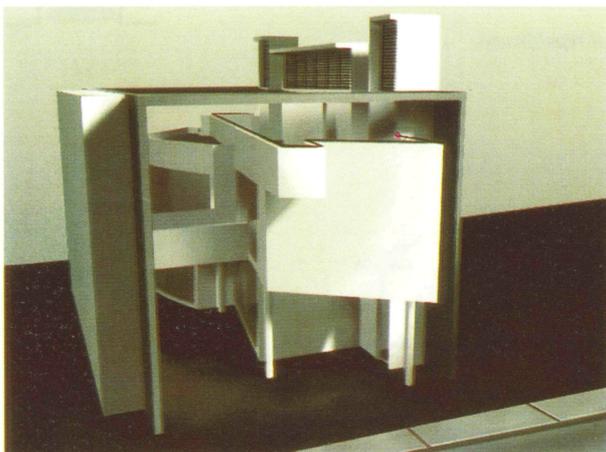
Tal es así, que los espacios constitutivos de la vivienda aislada se han ocluido: el patio trasero y el jardín-porche delantero han sido absorbidos por la vivienda, a la manera de las mesitas removibles de los aviones: el exterior se ha plegado (patio y jardín-porche) y se ha ubicado adentro. La vivienda, a su vez, se ha verticalizado y convive en paralelo con este exterior ocluido; una falla de luz en la medianera restante -a la manera de un retiro lateral- termina por aislar una vivienda que se concibió en hilera; nace así una tipología extraída del sitio: *la vivienda aislada en hilera*.

La vivienda así producida, no mira a la calle, sino que desarrolla su fachada a lo largo del puesto exterior hacia

adentro, contribuyendo, a través de volúmenes contorneados, a reforzar hacia adentro el concepto de espacio exterior: la percepción de convexidades es una de las características del espacio exterior.

La Cuarta Vivienda ha sido concebida en horizontal, está organizada en tres bandas: la *banda-sirviente acondicionante*, la *banda servida-acondicionada* y la *banda-patio* (3).

En la *banda sirviente-acondicionante* se ubican todos los servicios de la vivienda (cocina, baños) y todos los sistemas de acondicionamiento activo y pasivo de la misma. Es un gran desfiladero de viento en el cual se ubican los servicios de la vivienda.



La idea principal de esta banda es la de servir y acondicionar los grandes espacios de la vivienda: habitaciones, sala, comedor. Es ella quien asume, a su vez, la rigidez, para que esos espacios resulten libres, flexibles, cambiantes, capaces de acoger en el espacio y en el tiempo otras actividades.

Esta banda se concibió como un plano habitado, un plano que pasó a ser espeso, para acoger servicios y sistemas de acondicionamiento.

En la *banda servida-acondicionada* es donde se ubican las habitaciones, la sala, el comedor, y el vehículo. Esta banda mantiene con la anterior una relación existencial: sin ésta última, ella no existiría.

Es la banda de la libertad, de los cambios; que atiende la particularidad de cada familia y su evolución.

Esta banda fue concebida como objetos habitados que libremente se organizan entre las bandas sirvientes-acondicionantes de la agrupación en hilera.

La *banda patio* interna, pero concebida como exterior -lugar del verde, de los rayos de luz y viento, escenario de convexidades-, nace de un proceso de oclusión y de

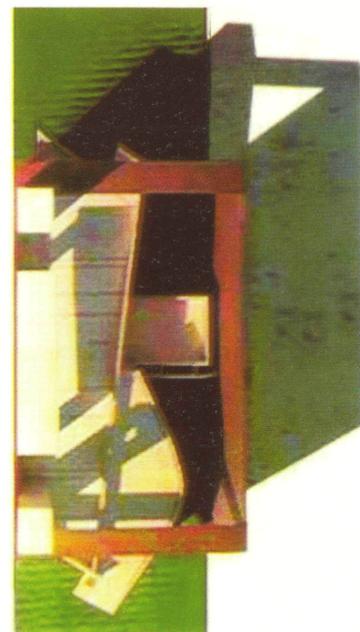
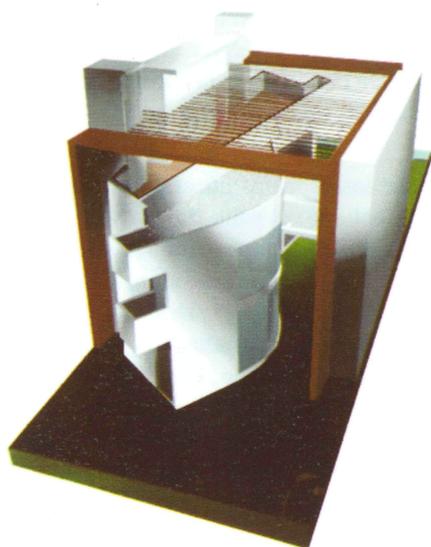


Fig. 4.- La Cuarta Vivienda: un nuevo modelo bioclimático.

plegamiento hacia adentro de las tradicionales áreas externas de la vivienda -patio trasero, verde lateral, porche y jardín frontal-.

La banda patio, conjuntamente con la banda sirvientec-acondicionante son las responsables del acondicionamiento bioclimático de la vivienda. Adicionalmente, la banda patio es un paso más en el enriquecimiento de la evolución histórica del exterior de la vivienda (Figura 4).

El Contenedor Bioclimático, CB

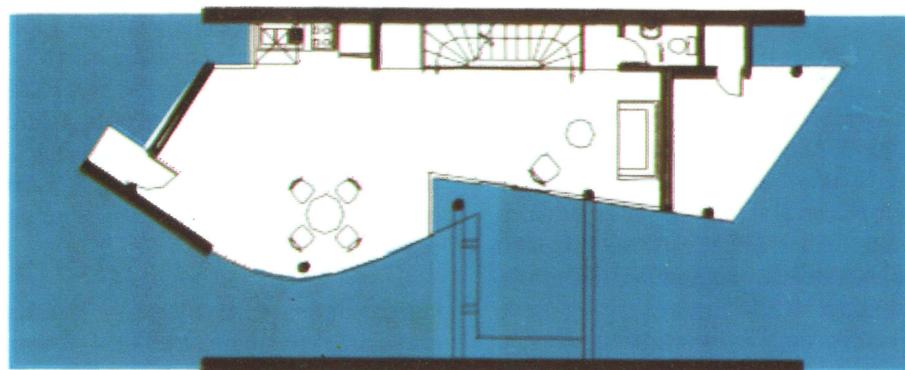
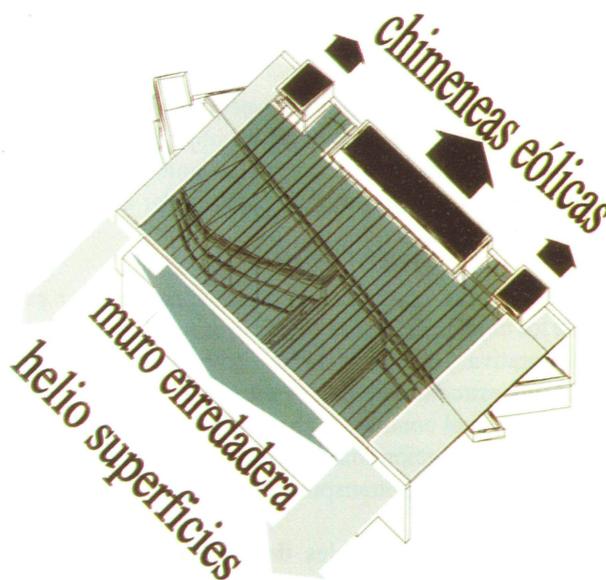
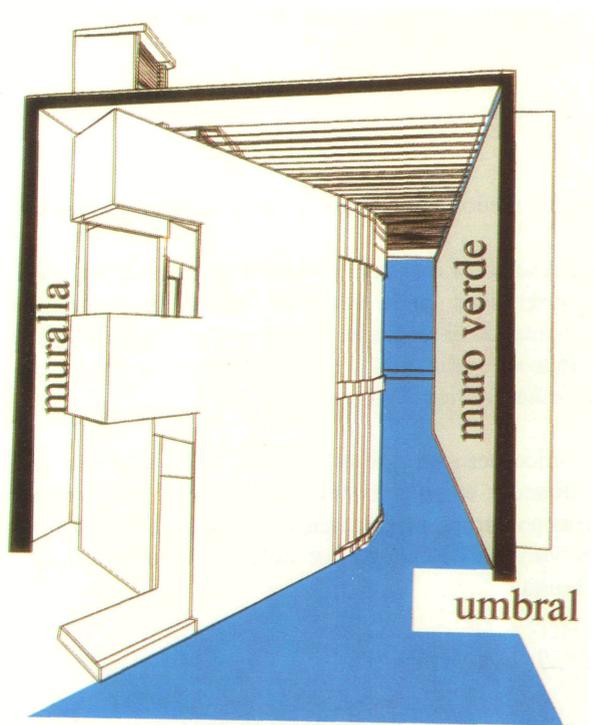
El contenedor de la Cuarta Vivienda es el resultado de un proceso de doble pliegue, uno material y el otro inmaterial.

El primero viene de la tierra, y el segundo del cielo (Figura 5).

El *pliegue material* es opaco y pesado; sus responsabilidades bioclimáticas conciernen la protección de la radiación solar; trabaja también como medianera, soporte estructural y servicios. Está integrado por tres elementos bioclimáticos principales:

- la muralla o *Rempart*, espeso muro medianero de servicios, es responsable de la protección de los planos horizontales de los objetos habitados, conduciendo la brisa al interior de esos objetos, previamente enfriada por enfriamiento evaporativo;

- la planta baja *Ying-yang*, está compuesta de dos bandas de naturaleza opuesta pero que se complementan: una inorgánica, para mantener baja la temperatura interior, y otra orgánica, que minimiza la reflexión de la radiación solar y enfría el aire exterior;



Planta baja Ying-yang

Fig. 5.- El Contenedor Bioclimático.

- el *Muro Enredadera*, responsable de la protección de los planos verticales de los objetos habitados, conduciendo y enfriando la brisa a todo lo largo, lo que provoca efectos físicos y psicológicos en el habitante.

El *pliegue inmaterial* es permeable y ligero; sus responsabilidades bioclimáticas conciernen a la protección de la radiación solar, regulando la iluminación y la ventilación; está integrado por dos elementos bioclimáticos principales:

- el *Techo Bioclimático Geométrico*, definido por:

I) "heliosuperficies", protegiendo de la radiación solar el techo de los objetos habitados y sus aberturas, generando electricidad y agua caliente; son ligeras para evitar almacenar calor y construidas con hierro y cemento; en ellas se pueden ubicar colectores solares (8 m²) capaces de producir suficiente energía para calentar un tanque de 400 litros, y un sistema fotovoltaico (11,2 m²) capaz de generar 960 w, suficiente para activar extractores de aire instalados en las "chimeneas eólicas" y para iluminar los "umbrales" del contenedor;

II) "puntos de vientos o chimeneas eólicas", que aúna la brisa para la ventilación natural de los objetos habitados; son blancas y construidas con material aislante; trabajan en conjunto con las "líneas verdes", para ayudar a bajar la temperatura del aire; y

III) "líneas verdes", protegiendo de la radiación solar el techo de los objetos habitados por un proceso de transpiración evaporativa, y tamizando la luz y la ventilación; son en realidad una estructura de cables metálicos, cubierta con vegetación, la cual controla la absorción, la reflexión y la transmisión de radiación solar, bajando la temperatura del aire a través de la evapotranspiración;

- los *Umbrales*, responsables de la regulación de la ventilación y de la iluminación natural; definen la entrada a la vivienda autocontenida.

Evaluación térmica

Para determinar la eficiencia térmica del contenedor, se analizaron dos variantes de edificio, uno con contenedor y otro sin contenedor, utilizando la información meteorológica de la estación localizada en el aeropuerto internacional. Los valores promedios de los últimos 10 años fueron dibujados en un mapa psicrométrico conforme al método de Givoni (4) a fin de examinar las relaciones existentes entre la zona de confort de ventilación y las estrategias de diseño.

El estudio fue llevado a cabo a partir del programa Casamo-Clim (5); se simuló la mejor (enero) y la peor (agosto) condición climática, considerando las cargas internas generadas por una familia de cuatro personas, por los

electrodomésticos y por la iluminación artificial. La información utilizada para determinar el índice de satisfacción tomó como referencia la temperatura de 30 °C con una velocidad del viento de 2m/s, tal como propuso Givoni (6) para los países en vías de desarrollo. La información fue obtenida después de cinco días de inicialización.

Para el análisis se asumieron igualmente tres alternativas de funcionamiento del edificio:

- apertura de las ventanas y de las chimeneas eólicas para permitir el movimiento del aire;

- cerramiento de las ventanas en la mañana para mantener la temperatura nocturna y puesta en funcionamiento de ventiladores para lograr ventilación de confort, abriendo las ventanas y las chimeneas eólicas en la noche para permitir el movimiento del aire;

- utilización de enfriamiento mecánico a diferentes horas del día.

Los resultados del análisis son mostrados en el cuadro 1.

Los resultados muestran para todo el año, valores diarios comprendidos en la zona de confort de ventilación, exceptuando el mediodía y las primeras horas de la tarde, cuando se localizan en la zona de enfriamiento mecánico y de deshumidificación convencional.

El único caso en que el edificio funciona peor con el contenedor es cuando está enfriado mecánicamente en horas nocturnas, precisamente cuando el contenedor evita las pérdidas de energía por radiación nocturna hacia la cubierta.

El CB: conclusiones

Conforme a los resultados de las evaluaciones, se determinó la eficiencia del modelo con contenedor para disminuir la temperatura, mantener el confort interno y disminuir también las cargas de climatización durante las 24 horas, a pesar de registrar un consumo energético más alto en el enfriamiento mecánico desde las 9 a las 18 horas (alternativa 4); sin embargo, el mapa psicrométrico de Maracaibo muestra que el enfriamiento mecánico es requerido al mediodía y en las primeras horas de la tarde, sin embargo, en la noche se puede lograr confort utilizando ventilación natural.

Las simulaciones llevadas a cabo mostraron que el CB logra bajar la temperatura interior, 4 °C en todos los casos. La presencia del CB disminuye la amplitud térmica en todas las alternativas.

La revisión de los tres modelos bioclimáticos de envolventes previos existentes en la región ha permitido el desarrollo de

Cuadro 1: Evaluación térmica del Contenedor Bioclimático para 5 alternativas.

alternativas		enero		agosto			
		con contenedor	sin contenedor	con contenedor	sin contenedor		
		a	b	b/a	c	d	d/c
I Edificio abierto 24 horas al día	(1) temperaturas promedio (°C)	27,19	27,64		28,77	28,97	
	temperatura máxima (°C)		+2,65			+1,75	
	temperatura mínima (°C)	+0,48			+1,02		
	índice de confort	0	0,66		0	0,84	
II Edificio cerrado en la mañana y abierto en la noche	(2) temperaturas promedio (°C)	25,95	28,28		27,67	30,01	
	temperatura máxima (°C)		+7,46			+7,15	
	temperatura mínima (°C)	+0,76			+0,64		
	índice de confort	0	0,81		0	1,16	
III Edificio con enfriamiento mecánico desde las 8.00 hasta las 18.00 horas, abriendo el edificio en la noche	(3) temperaturas promedio (°C)	25,55	25,89		26,49	26,01	
	temperatura máxima (°C)		+1,35			+0,46	
	temperatura mínima (°C)	+0,81			+0,56		
	consumo energético (kwh)	4,48	27,32	6,1	12,3	34,75	2,8
IV Edificio con enfriamiento mecánico desde la 21 hasta las 6.00 horas, cerrando el edificio durante el resto del día	(4) temperaturas promedio (°C)	26,93	28,69		27,31	29,73	
	temperatura máxima (°C)		+6,68			+7,20	
	temperatura mínima (°C)	+1,43			+0,27		
	consumo energético (kwh)	7,76	5,32	0,7	13,24	12,36	0,9
V Edificio con enfriamiento mecánico 24 horas	consumo energético (kwh)	12,29	30	2,4	19,75	41,6	2,1
Notas:							
.(1) con 30 cambios/hora en el día;							
.(2) con 30 cambios/hora en la noche y 1 cambio/hora en el día;							
.(3) usando aire acondicionado en el día para proveer 26°C de temperatura con 30 cambios/hora en la noche, para proveer enfriamiento nocturno convectivo;							
.(4) cerrando el edificio en el día con 1 cambio/hora.							

un nuevo modelo, el CB, el cual incorpora tecnología contemporánea con tradición.

La noción palafítica de filtro envolvente, la envolvente espesa de la vivienda colonial republicana y la envolvente-sombrero de la vivienda petrolera han sido consideradas y reformuladas en la Cuarta Vivienda, vivienda autocontenida, creando un contenedor bioclimático de baja tecnología que mejora el confort en la vivienda para climas cálidos húmedos.

La Ventana Matricial Bioclimática, VMB

La ventana es la parte de la envolvente por la cual penetra la mayor cantidad de calor; en climas cálidos húmedos pensar en ventanas implica pensar en protecciones solares; mientras los problemas climáticos de las ventanas no estén resueltos, no importa cuan bien resueltos puedan estar los otros elementos de la envolvente, no habrá cambios significativos en lo que concierne a la temperatura interior. Conforme al método de Mahoney (7), en condiciones climáticas como la del Lago de Maracaibo, se recomienda:

- ventanas amplias, ocupando entre el 40 y 80% de la superficie de las paredes norte y sur en la cual se inscriban, permitiendo a la vivienda respirar: un cristal practicable;

- y considerar en el diseño de la ventana la radiación difusa por razones de humedad.

Hacia el patio, la apertura de la Cuarta Vivienda ha sido concebida como una gran ventana como en la vivienda palafítica: la Ventana Matricial Bioclimática (VMB). La VMB es un sistema de elementos con funciones especializadas, en la cual la superficie está dividida en bandas horizontales y en líneas verticales y puntos, asumiendo diferentes responsabilidades en relación con la ventilación, protección solar, iluminación natural, relaciones visuales e intimidad, constituyéndose como el CB, en un sistema activo y plano que regula las condiciones externas. Este sistema es una readaptación mejorada de la ventana colonial, la cual regulaba esas mismas funciones pero en un espesor de 50-70 cm de profundidad. Es una ventana a doble entrada, horizontal y vertical.

Las simulaciones llevadas a cabo muestran que el CB protege el 80% de la superficie de la VMB de la radiación solar. La entrada horizontal, las bandas, asume las responsabilidades bioclimáticas genéricas de una ventana en climas cálidos húmedos y las relaciones visuales; la entrada vertical, las líneas y puntos, asumen las responsabilidades bioclimáticas específicas (8).

Bandas horizontales

Se distinguen 5 bandas diferenciadas que trabajan para (Figura 6):

- a) la ventilación cruzada para disipar el calor de la envolvente y proveer ventilación de confort; esta banda está protegida de la radiación solar por romanillas de fibra de vidrio practicables, pintadas de blanco hacia afuera para reflejar la luz del sol y de oscuro hacia adentro para evitar la radiación difusa;
- b) la protección solar; separa la banda *a* de la banda *c* que permite las relaciones visuales; es una banda en aluminio blanco;
- c) las relaciones visuales; construida en vidrio transparente (6 mm) con marcos blancos de aluminio;
- d) la ventilación de confort; provee ventilación cruzada genérica para la persona cuando está sentada o acostada; construida en vidrio transparente (6 mm) con marcos blancos de aluminio, pivotando horizontalmente;

e) la intimidad y protección psicológica al vacío, con un vidrio translúcido esmerilado (6 mm);

a') las mismas funciones que la banda *a*, pero sin requerir protección solar;

b') las mismas funciones que la banda *a*;

f) las relaciones visuales permanentes con el patio; construida en vidrio transparente (6 mm) con marcos blancos de aluminio.

Líneas verticales y puntos

Se distinguen 2 líneas y 2 puntos diferenciados que trabajan para:

I) la ventilación para propósitos específicos y para la ventilación nocturna convectiva; esta línea está construida en aluminio pintado de blanco;

II) el contacto directo interior-externo; es una ventana cuadrada (60 cm) construida en vidrio transparente (6 mm) con marcos blancos de aluminio;

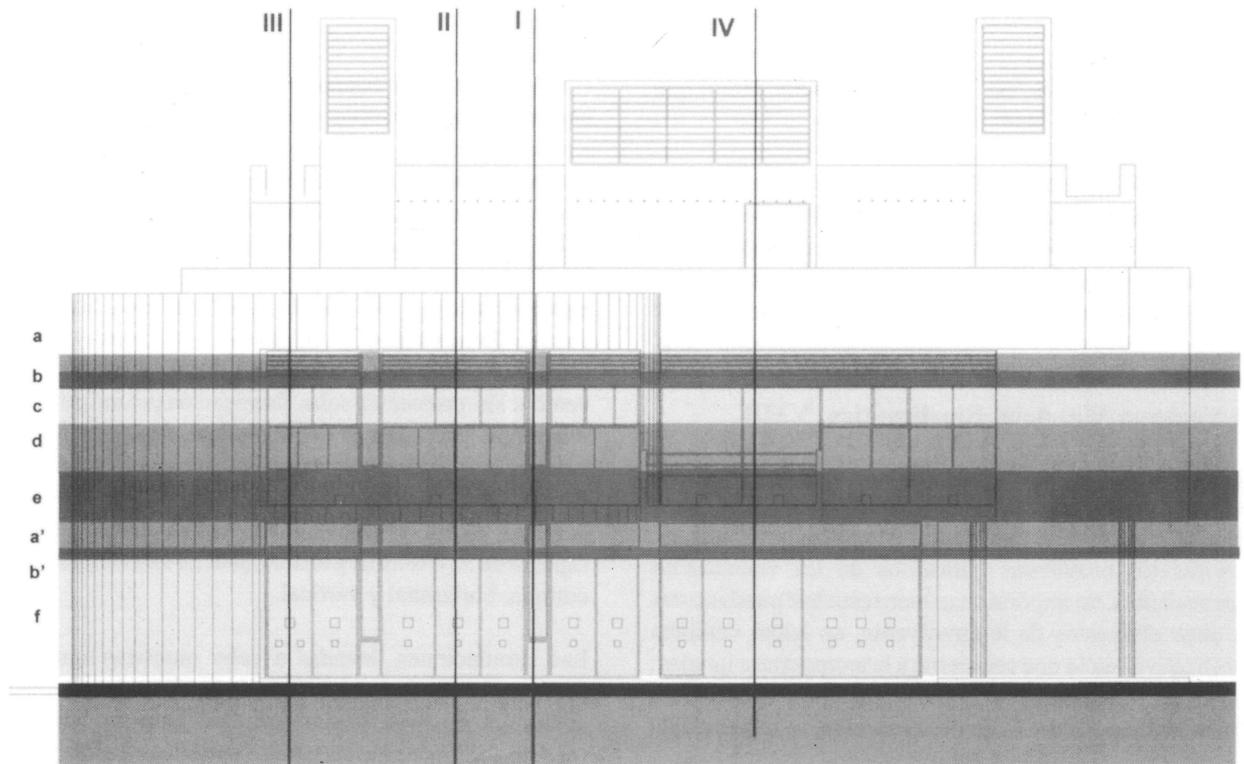


Fig. 6.- La Ventana Matricial Bioclimática.

III) la seguridad visual; son pequeños cuadrados esmerilados en el vidrio ubicados a diferentes alturas para favorecer la percepción del vidrio a adultos y niños;

IV) la ventilación de confort y acceso al patio; son puertas corredizas de vidrio (1,2 por 2 m).

Evaluación térmica

Para determinar la eficiencia térmica de la VMB, se llevaron a cabo tres análisis diferentes concerniendo la ventilación natural, la iluminación natural y la radiación solar.

Ventilación natural

La VMB ha sido concebida en conjunto con chimeneas eólicas, que capturan el viento y generan ventilación transversal a través de los espacios interiores. La sección de estas chimeneas es de forma cuadrada (1m), abriéndose a los dormitorios con una ventana de romanillas de fibra de vidrio, operable (2,5 m de alto por 1 m de ancho).

La ventilación cruzada en la VMB se realiza a través de dos bandas (*a*, *d*), dos líneas (*I*, *IV*) y un punto (*III*), renovando el aire y proveyendo ventilación de confort día y noche, incrementando la pérdida de calor del cuerpo por evaporación, evitando el sudor y enfriando la estructura del edificio. La banda *a* tiene 40 cm de alto y la banda *d*, 70 cm; ambas pivotan horizontalmente. Cuando la banda *d* esté cerrada, el confort térmico será preservado por ventiladores, siendo necesario renovar el aire al menos una vez por

hora. La línea *I* es una abertura vertical de 30 cm de ancho por 1,9 m de alto; la línea *IV* es una puerta de 1,2 m por 2 m.

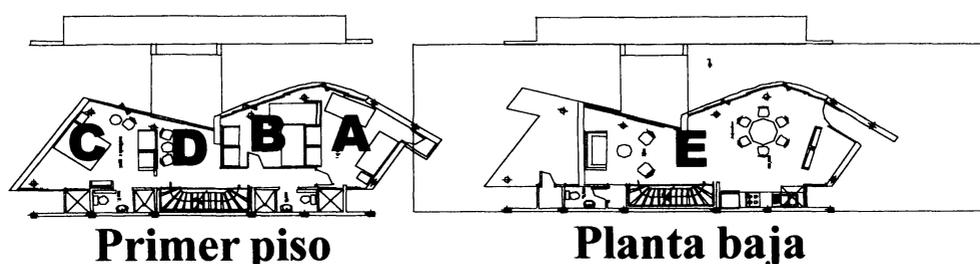
La especialización de las salidas en la VMB resulta de la necesidad en climas cálidos húmedos de renovar el aire interior y generar un flujo de aire (de al menos 0,4 m/s) para crear la sensación de enfriamiento. La apertura de las bandas, líneas y puntos de la VMB y de la chimeneas eólicas depende de las diferencias de temperatura existente entre el interior y el exterior: se abrirán cuando la temperatura exterior sea menor que la interior. La VMB y las chimeneas eólicas disponen de mecanismos de cerramiento y apertura de baja tecnología. El flujo de aire será introducido o evacuado a través de las chimeneas eólicas dependiendo de las condiciones exteriores de velocidad del viento y del momentos del día, mañana o noche.

Aplicando la fórmula de Olgyay (9), se calculó la velocidad del viento en el interior de la vivienda, asegurándose, así, la renovación de los espacios con 60, 30, 20, 15 y 10 cambios/hora, con ventiladores localizados en las chimeneas eólicas.

Los resultados muestran diferentes índices de ventilación para generar en los espacios el mismo confort de ventilación. El promedio en el edificio fue respectivamente de 4,56, 2,28, 1,52, 1,14 y 0,76 m/s, mejorando los valores registrados experimentalmente en el palafito, en la vivienda colonial republicana y en la vivienda petrolera, porque siempre hay movimiento del aire en la Cuarta Vivienda (Cuadro 2).

Cuadro 2: Velocidades del viento en los espacios interiores de la Cuarta Vivienda.

cambio de aire por hora	60 c/h	30 c/h	20 c/h	15 c/h	10 c/h
espacios	velocidad m/s				
A	4,72	2,36	1,57	1,18	0,78
B	2,02	1,01	0,67	0,51	0,36
C	4,55	2,28	1,51	1,13	0,75
D	0,89	0,44	0,29	0,22	0,14
E	10,65	5,32	3,55	2,66	1,77
promedio	4,56	2,28	1,52	1,14	0,76



Iluminación natural

El método del transportador para determinar el factor cielo fue aplicado para analizar la iluminación natural en los espacios interiores de la Cuarta Vivienda. Los tres componentes del factor cielo fueron estimados: el componente cielo, el reflejo externo y el reflejo interno. Los resultados mostraron que el nivel promedio de iluminación natural varía entre 320 luxes (eje G) y 210 luxes (eje I), el cual es superior a los valores estándar (100 lux/cuarto) establecidos por ENELVEN, Energía Eléctrica de Venezuela. Existe una buena distribución de iluminación natural, porque no hay una excesiva diferencia entre los niveles de iluminación obtenidos; el factor de uniformidad es de 0,65, superior al límite estándar (0,3) (Figura 7).

Radiación solar

Para determinar la eficiencia de las protecciones solares se realizaron tres simulaciones diferentes:

- en relación con el análisis del comportamiento térmico de edificios en régimen dinámico, se utilizó el programa

CODYBA -Comportement Dynamique des Bâtiments-(10); los resultados de la simulación mostraron una completa protección solar de la VMB por el contenedor, liberando la ventana de toda responsabilidad en relación con la protección solar, como la ventana autoprotegida de la vivienda petrolera;

- en relación con el impacto de la radiación solar en el edificio, un modelo analógico de la Cuarta Vivienda fue estudiado en el heliodón y otro modelo digital en el programa 3D-Studio; en este último fueron especificados materiales y texturas; luego se estableció la posición geográfica y se calculó el azimut solar y su altitud para el 21 de junio y el 21 de diciembre, desde las 7 am hasta las 7pm, cuando la inclinación solar es superior en las fachadas norte y sur. Posteriormente se simuló la trayectoria solar en el programa 3D-Studio para determinar la incidencia de la iluminación natural y de la sombra en los espacios interiores de la vivienda, considerada en la simulación como un elemento aislado y sin árboles en los alrededores. A pesar de estas consideraciones, los resultados mostraron que la penetración directa de la luz solar en las horas más calientes (9 am y 4 pm) de Tamare es baja, minimizando las ganancias de calor por radiación solar (Figura 8).

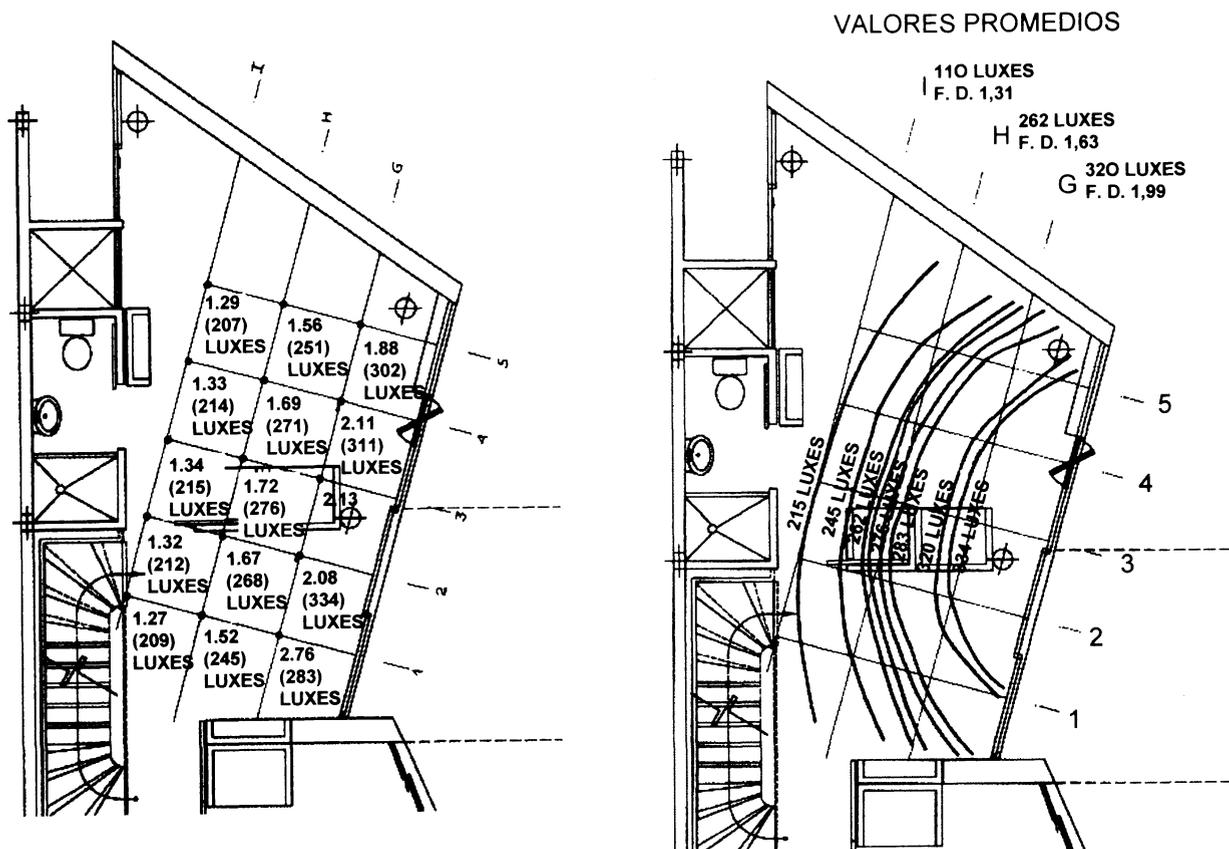


Fig. 7.- Muestra del análisis de la iluminación natural de la Cuarta Vivienda.

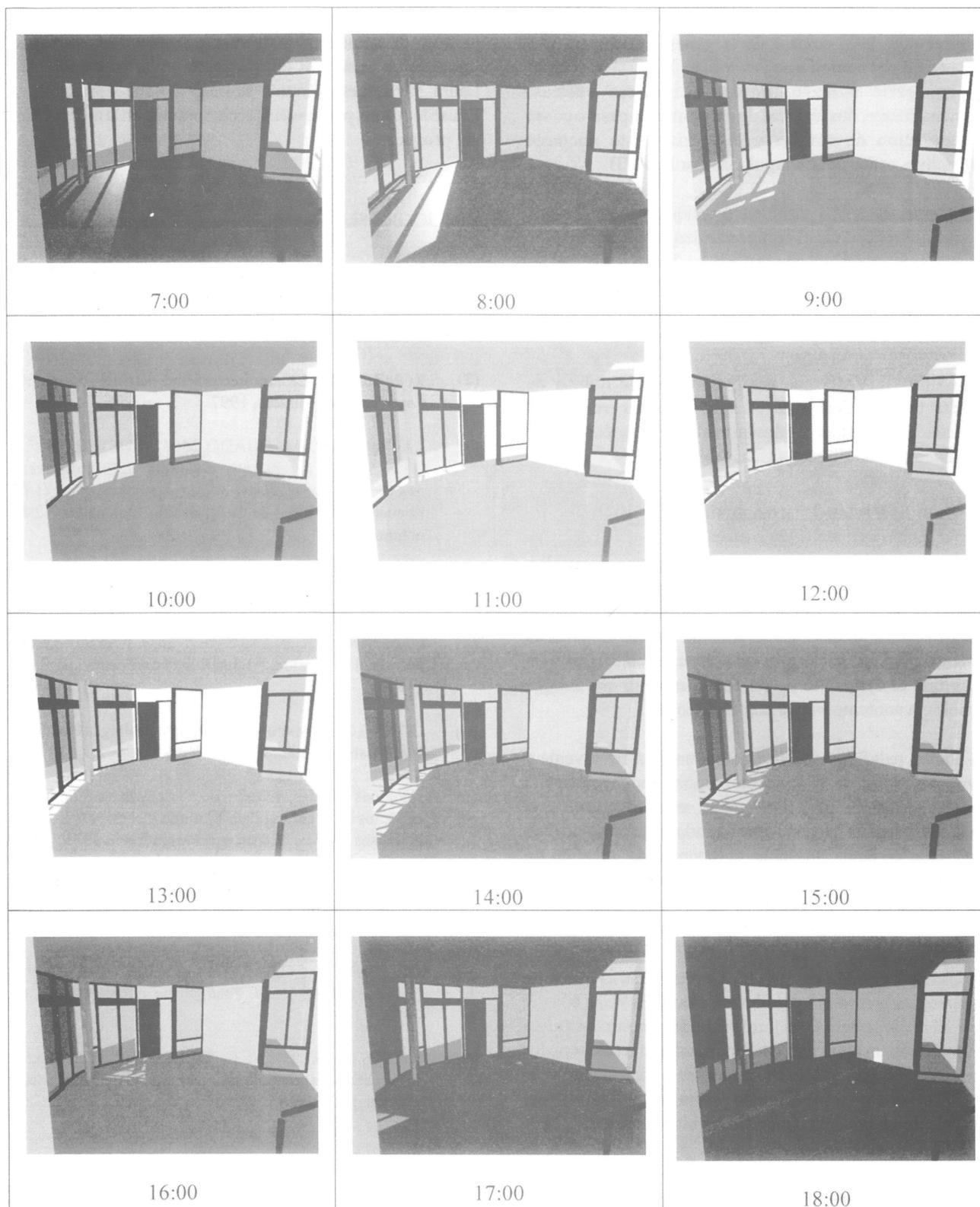


Fig. 8.- Muestra del análisis de la radiación solar en la Cuarta Vivienda con el programa 3D-Studio

La VMB: conclusiones

El sistema de la VMB intenta regular las condiciones térmicas aplicando las siguientes técnicas bioclimáticas: 1) reducción de la ganancia de calor por radiación solar usando una adecuada selección y combinación de materiales, incluyendo con precisión aberturas y cerramientos; y 2) control de la ganancia de calor por convección y promoción de la ventilación cruzada cuando sea necesario a través de las chimeneas eólicas. Adicionalmente, dos técnicas de enfriamiento pasivo como la ventilación de confort y el enfriamiento nocturno convectivo, están siendo reguladas por la VMB.

Igualmente, la VMB también reconoce y concilia dos ópticas diferenciadas: el comportamiento bioclimático de los espacios, asumido por las bandas horizontales, y las necesidades climáticas específicas y cambiantes del hombre en los espacios interiores, asumidas por las líneas verticales y los puntos.

Por último, la VMB muestra que es posible utilizar de manera bioclimáticamente eficiente grandes ventanales acristalados en climas cálidos húmedos, protegiéndolos de la radiación solar directa, difusa y reflejada.

La Cuarta Vivienda: conclusiones

Alta tecnología no significa solamente nuevos materiales, sino que también, evidentemente, se refiere a nuevas formas o técnicas de utilización de materiales tradicionales o del saber-hacer tradicional. La revisión de los tres modelos de viviendas bioclimáticas previas existentes en la región ha permitido el desarrollo de un nuevo modelo que integra tecnología contemporánea con tradición.

La noción palafítica de filtro envolvente, la envolvente y ventana espesas de la vivienda colonial republicana y la envolvente-sombrero y la ventana autoprotegida de la vivienda petrolera han sido consideradas y reformuladas en la Cuarta Vivienda, vivienda autocontenida, creando un contenedor, el CB, y una ventana, la VMB, de baja tecnología que mejora el confort en la vivienda para climas cálido-húmedos, y que a la vez reduce los costos de urbanización.

La Cuarta Vivienda comenzará a construirse este año en Tamare, por la empresa petrolera nacional PDVSA; una vez terminada, se le hará un seguimiento de su comportamiento bioclimático, comparándose los resultados reales con los simulados, y será entonces cuando se podrá juzgar si ha asumido eficientemente el relevo generacional en una región históricamente rica en experiencias bioclimáticas.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico de la Universidad del Zulia (Venezuela) por haber financiado el proyecto de investigación que permitió el desarrollo de la Cuarta Vivienda, y a la compañía nacional de petróleo PDVSA por financiar la construcción próxima de la misma, y a Nervinson Soles y Elizabeth Sáez -arquitectos asistentes del proyecto-, y a los estudiantes Laura Rodríguez, Mónica Morán, Rosana Fernández y Eduardo Abreu, por su valiosa colaboración en la realización del proyecto.

BIBLIOGRAFÍA

- (1) GARCÍA, A., *El espacio primigenio*, ponencia presentada en la IX Conferencia Internacional sobre Conservación de Centros Históricos y del Patrimonio Edificado, Valladolid, 7-11 julio, 1997.
- (2) ROMERO, P., *La arquitectura del petróleo*, Ediciones Lagoven S.A., Caracas, 1997.
- (3) LA ROCHE, P., MACHADO, M.V., MUSTIELES, F. y OTEIZA, I., *La cuarta vivienda: una propuesta bioclimática para climas cálidos*, ponencia para el IV Encuentro Nacional de la Vivienda, Maracaibo, 12-15 octubre, 1997.
- (4) GIVONI, B., *Man, Climate and Architecture*, 2nd ed, Applied Science Publishers, London, 1976.
- (5) CAMPANA, D., WATREMEZ, G., CASAMO-CLIM: Manuel d'utilisation, ADEME Service Formation, Paris, 1990.
- (6) GIVONI, B., *Passive and Low Energy Cooling of Buildings*, Van Nostrand Reinhold, New York, 1994.
- (7) Naciones Unidas, *Diseño de viviendas económicas y servicios de la comunidad. El clima y el diseño de casas*, Naciones Unidas, Volumen I, Nueva York, 1973.
- (8) GARCÍA, J.R. y FUENTES, V., *Viento y Arquitectura. El viento como factor de diseño arquitectónico*, Editorial Trillas, México, 1995.
- (9) OLGAY, V., *Clima y arquitectura en Colombia*, Universidad del Valle, Facultad de Arquitectura, Cali, 1968.
- (10) BRAU, J., ROUX, J.J., DEPECKER, P., *Micro-informatique et comportement thermique des bâtiments en régime dynamique: CODYBA*, Génie Climatique, 11, 1987.

* * *