

Evaluation of the natural illumination and sunlighting of bioclimatic houses for hot humid climates

José Indriago, Rosalinda González, Pablo La Roche, Francisco Mustieles, María Machado e Ignacio Oteiza

Instituto de Investigaciones de la Facultad de Arquitectura y Diseño, Universidad del Zulia, Apartado Postal 15399, Maracaibo, Venezuela. Teléfono +58 261 7598503. E-mail: indriago@luz.ve

Abstract

In intertropical latitudes such as Venezuela with warm humid climates, the analysis of the natural illumination and the sunlighting, allow establishing parameters for the adequate design of the openings in a construction (form, size, protection), since by them penetrates the greatest quantity of heat by the influence of the direct and diffuse solar radiation. This article is referred to the study of both variables in a bioclimatic house design for the population of Tamare, a locality of the Zulia State, Venezuela. In the same are exposed two aspects: 1) The quantitative analysis of the natural illumination through an experimental study that includes measurements of the exterior horizontal illuminance and interior illuminance in a physical model of the bioclimatic house; 2) The study of the sunlighting through a three-dimensional digital model. This work has allowed determining if the light levels are sufficient for the accomplishment of the indoor, or if these are higher or lower. In this case it will permit to choose an adequate design strategy for obtaining the light comfort, going from the use of artificial light used in a conscious way to save energy, to the design of elements that allow the control of the solar radiation and at the same time permit to have the necessary light conditions to accomplish the activities.

Key words: Sunlighting, natural illumination, bioclimatic design, computer-aided design.

Evaluación de la iluminación natural y asoleamiento de viviendas bioclimáticas para climas cálido-húmedos

Resumen

En climas cálido húmedos, el análisis de la iluminación natural y el asoleamiento, permiten establecer parámetros para el diseño adecuado de las aberturas de una edificación (forma, tamaño, protección, etc.), ya que por ellas penetra gran cantidad de calor por la influencia de la radiación directa y difusa. Este trabajo está referido al estudio de ambas variables, en una vivienda bioclimática diseñada para localidades intertropicales con clima cálido húmedo, en este caso específico al Estado Zulia, Venezuela. En el mismo se exponen dos aspectos: 1) El análisis cuantitativo de la iluminación natural a través de un estudio experimental, que abarca mediciones de iluminación exterior e interior en un modelo a escala de la vivienda bioclimática; 2) El estudio de la penetración de la luz solar (asoleamiento), a través de un modelo digital tridimensional. El estudio permitió determinar si los niveles de iluminación, son adecuados para la realización de las actividades dentro del espacio, o si son altos o muy bajos. Esto nos ayudará a tomar una decisión adecuada de diseño para obtener el bienestar lumínico, desde el uso de iluminación artificial utili-

zada de manera consciente, hasta el diseño de elementos que permita el control del asoleamiento y al mismo tiempo permitan tener las condiciones de luz para la realización de las actividades.

Palabras clave: Asoleamiento, iluminación natural, diseño bioclimático, diseño asistido por computadora.

Introducción

En latitudes con climas cálido húmedos como Venezuela, deben diseñarse edificaciones que permitan reducir la influencia de la radiación solar directa y reflejada; y en este caso, las ventanas deben recibir una atención especial, debido a que por ellas penetra una gran cantidad de calor [1].

El objetivo de la propuesta de vivienda bioclimática es responder a las condiciones ambientales de la región, replanteando un diálogo entre la arquitectura y el acondicionamiento ambiental. Sobre todo, superar el comportamiento térmico de las viviendas que se han construido, basadas su mayoría, en la popularidad estética de modas y modelos importados desde el exterior, disponibilidad de recursos económicos y energía barata, negando la realidad de nuestro medio ambiente [1].

La vivienda bioclimática, se diseñó para ser adaptada a localidades intertropicales, para este caso específico, el Estado Zulia, cuya capital Maracaibo tiene una ubicación geográfica de latitud: 10° 40'N, longitud 71° 35' O, con una altitud promedio de 40 msnm; y es realizada por petición de PDVSA (Petróleos de Venezuela, SA). Incorpora principios de diseño de algunas viviendas, que se consideran se han adaptado, bioclimáticamente, de forma muy favorable a las condiciones del lugar y que se han construido en esta región en diversos periodos, como la vivienda indígena palafítica, la vivienda colonial - republicana (segunda mitad del siglo XIX y primeras décadas del siglo XX) y la vivienda petrolera (1920-1960) [2].

En los últimos años, la situación económica en Venezuela ha cambiado: los ingresos han mermado significativamente y la energía es más costosa. Esto obliga a tomar conciencia acerca de incorporar sistemas pasivos de acondicionamiento ambiental y tratar de disminuir o racionalizar el uso de sistemas activos de acondicionamiento ambiental, que aumentan el consumo de energía eléctrica (mayor gasto económico) y proporcio-

nan más calor al entorno, comprometiéndonos a redefinir nuestra arquitectura (Figura 1).

Entre los componentes de diseño utilizados para la vivienda bioclimática, se propone un sistema de ventana denominado VMB (Ventana Matricial Bioclimática); esta ventana ha sido ideada como un conjunto de elementos con funciones especializadas, donde cada elemento asume diferentes funciones: ventilación, iluminación natural, protección solar, relaciones visuales y privacidad, constituyendo así un sistema activo regulador de las condiciones exteriores [3].

El trabajo trata dos aspectos importantes que inciden en el confort ambiental: la iluminación natural en los espacios, estudiada experimentalmente a través de una maqueta a escala y el asoleamiento interior y exterior, analizado a través de un modelo digital tridimensional, de la vivienda bioclimática.

Este análisis ha permitido determinar si los niveles de iluminación natural, en los espacios interiores, eran los adecuados o si era necesario complementarla con iluminación artificial, lo que implicaba un gasto energético y una carga de calor adicional.

También se observó el asoleamiento interior desde la perspectiva del usuario, estudiándose la penetración de luz solar, a través de la VMB, así como, las sombras arrojadas por el edificio y los patrones de luz - sombra sobre las fachadas del edificio.

La Ventana Matricial Bioclimática

La vivienda bioclimática fue diseñada como una vivienda aislada, pero su conformación urbanística es en hilera, para reducir costo de urbanización y uso de suelo urbano. Los espacios constitutivos como vivienda aislada han sido ocluidos, es decir, el patio trasero, el porche y el jardín delantero han sido absorbidos por la vivienda y se ubican dentro de ella.

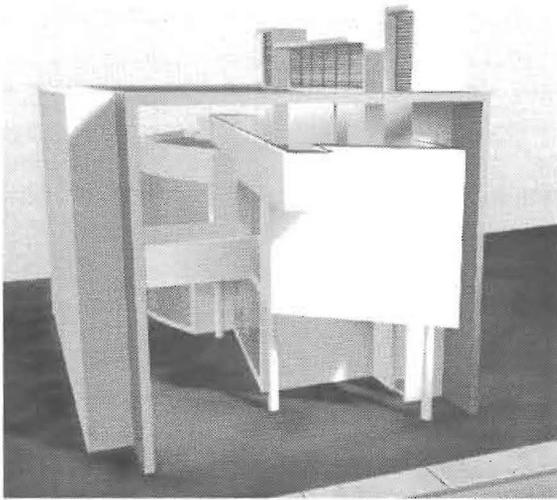


Figura 1. La cuarta vivienda: un nuevo modelo bioclimático.

Las fachadas se desarrollan a lo largo de la vivienda, hacia el interior, a través de volúmenes curvos o sinuosos, que tienden formalmente a reforzar hacia adentro el concepto de espacio exterior: la percepción de convexidades es una de las características del espacio exterior [2].

El estudio, en este trabajo se centra, en el análisis de uno de los elementos arquitectónicos más importante para el diseño de espacios habitables, la ventana; ya que por ella las edificaciones pueden ser iluminadas y ventiladas de manera natural, además de proporcionar las visuales y relaciones necesarias hacia el exterior.

El diseño detallado de la vivienda, así como su concepción como un Contenedor Bioclimático, ha sido analizado en otros escritos mencionados en las referencias bibliográficas de este trabajo, en ellos se estudian otras características del diseño formal y otros dispositivos bioclimáticos pasivos, que ayudan a mantener un nivel adecuado de confort ambiental, según los cánones establecidos por expertos en la materia como Givoni [4] y Olgyay [5].

La ventana es la parte de una edificación por la cual penetra la mayor parte del calor; en climas cálido húmedos pensar en ventanas implica pensar en protecciones solares. En muchos casos, mientras no se solucione el problema de las ventanas, no importa cuán bien resuelto estén otros elementos de la edificación, no habrá

cambios relevantes en lo que concierne a la temperatura interior. Según el método de Mahoney [6], en condiciones climáticas cálido húmedas, se recomienda:

- Amplias ventanas, ocupando entre un 40 y 80% de la superficie de las paredes norte y sur, en las cuales 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 (fachada Norte), la apertura de la vivienda bioclimática se ha diseñado como un gran ventanal, emulando a la vivienda palafítica: la Ventana Matricial Bioclimática (VMB). La VMB es concebida como un sistema de elementos con diversas funciones especializadas, en la cual la superficie está dividida en bandas horizontales y en líneas verticales y puntos, asumiendo cada uno responsabilidades en relación con la ventilación, protección solar, iluminación natural, relaciones visuales e intimidad, constituyéndose, en conjunto con el resto de los elementos que conforman la vivienda, en un sistema activo y plano que regula las condiciones externas.

Las simulaciones realizadas a la VMB, a través del programa de computación CODYBA [7], demuestran que la edificación protege en un 80% la superficie de la VMB de la radiación solar. Los diferentes elementos de la ventana asumen responsabilidades bioclimáticas [2], según se describe a continuación:

Bandas horizontales

Se distinguen 5 bandas horizontales diferenciadas que actúan para (Figura 2):

- a. la ventilación cruzada para disipar el calor de la edificación y proveer ventilación de confort; esta banda está protegida de la radiación por romanillas de fibra de vidrio practicables, pintadas de blanco hacia fuera 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; construidas en vidrio transparente (6mm) con marcos blancos de aluminio;

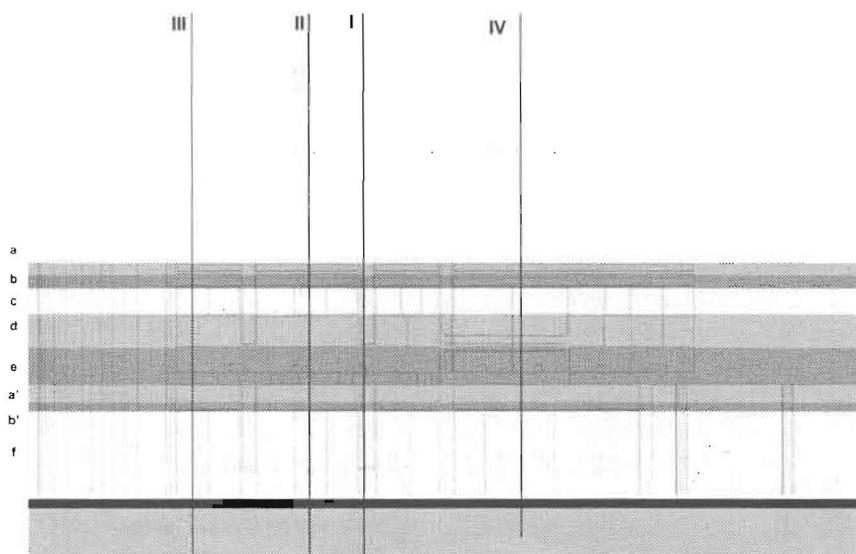


Figura 2. La ventana matricial bioclimática.

- d. la ventilación de confort; provee ventilación cruzada genérica para la persona cuando está sentada o acostada; construida en vidrio transparente (6mm) con marcos blancos de aluminio, pivotando horizontalmente;
- e. la intimidad y protección psicológica al vacío, con un vidrio traslúcido esmerilado (6mm);
- a') las mismas funciones que la banda a, pero sin requerir protección solar;
- b') las mismas funciones que la banda b;
- f. las relaciones visuales permanentes con el patio; construidas en vidrio transparente (6mm) con marcos blancos de aluminio.

Líneas verticales y puntos

Se distinguen 2 líneas y 2 puntos diferenciales que tienen las siguientes funciones:

- a. la ventilación para propósitos específicos y para la ventilación nocturna convectiva, esta línea está construida en aluminio pintado de blanco;
- b. el contacto directo interior- exterior; es una ventana cuadrada (60 cm.) construida en vidrio transparente (6mm) con marcos blancos de aluminio;
- c. la seguridad visual; son los pequeños cuadrados esmerilados en el vidrio ubicados a diferentes alturas para favorecer la percepción del vidrio a adultos y niños;

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

Para determinar la eficiencia bioclimática de la VMB, se llevaron se realizaron estudios concernientes a la ventilación natural y la radiación solar, utilizando programas de computación especializados como CODYBA y CASAMO CLIM [8]. Además se pudo constatar a través de modelos digitales tridimensionales de la vivienda, el aspecto de diseño arquitectónico y las visuales de la VMB y su relación con el entorno.

Se realizó le análisis de la iluminación natural dentro de la vivienda, determinando valores (análisis cuantitativo) de iluminancia (luxes), y el asoleamiento interior (análisis cualitativo), para determinar de manera visual si la VMB, estaba suficientemente protegida para impedir el paso de luz directa dentro de los recintos de la vivienda.

Análisis de la Iluminación Natural

Tal como un material más para la construcción de una edificación, como el concreto, el acero o el ladrillo, la luz debe ser considerada un elemento o factor de gran importancia en el diseño. La importancia de la iluminación en las edificaciones ha sido fundamental desde el principio de la historia de la arquitectura. La luz natural de-

terminaba en muchas ocasiones la apariencia externa de los edificios, y por medio de las ventanas o fenestraciones, se modelaban de manera específicas los espacios interiores, según éstas lo permitieran.

Estas características son heredadas por la luz eléctrica, hoy día. Esto permite al diseñador contar con dos útiles factores de diseño, la luz natural y la luz artificial, según lo requiera. Para un buen diseño de iluminación de un edificio, el proyectista podrá disponer de luz natural en el día, para iluminar los espacios internos y en muchas oportunidades complementarla con luz eléctrica, y en la noche iluminar con luz artificial, sustituyendo a la luz natural.

El diseño de iluminación en edificios debe [9]:

- proporcionar buena visibilidad para que las tareas puedan desarrollarse con el grado requerido de velocidad y precisión;
- proporcionar niveles de iluminación que permitan trabajar con menos esfuerzo;
- proporcionar condiciones de iluminación para tener seguridad con el mobiliario y un mínimo de deslumbramiento e incapacidad visual.

Un aspecto importante de la iluminación, contrario a la creencia popular, es que la planificación de la iluminación no es simplemente un problema de cálculo. El diseño de la iluminación, debe comenzar definiendo y entendiendo el problema de dotar adecuadamente a los espacios de luz, para el correcto funcionamiento del ojo y la visión. En muchas ocasiones se cree que la iluminación es un problema de ingeniería, o de decoración, pero raramente se reconoce como lo que verdaderamente es: un problema biológico.

La luz es parte de un grupo de energía llamada radiante, capaz de producir sensación visual. Para efectos de este trabajo, se define el término iluminación e iluminancia como el resultado de la luz cayendo en una superficie y se mide en footcandles (fc) o lux (lx), unidad del Sistema Internacional (SI): $1\text{fc} = 10.76\text{lx}$ [10].

La iluminación o iluminancia de una superficie es la relación entre el flujo luminoso que recibe la superficie y su extensión, se representa

$E = \frac{\phi}{S}$ (ϕ = flujo luminoso, S = superficie). La iluminancia constituye un dato importante para valorar el nivel de iluminación que existe en un puesto de trabajo, en la superficie de un recinto, en una calle, etc. El flujo luminoso se define a aquella parte de la energía que se transforma en energía radiante y produce una sensación luminosa, su unidad es el lumen (lm) [11] (Tabla 1).

Materiales

El estudio experimental de la iluminación natural en la vivienda bioclimática se realizó a través de una maqueta a escala 1:20, ya que el tamaño del modelo no afecta las propiedades físicas, los aspectos cuantitativos de distribución de la luz y comportamiento de la luz [12]. Además, estos modelos permiten analizar aspectos cualitativos de la iluminación natural, así como el estudio y registro visual fotográfico de los efectos de la iluminación, que no se logran matemáticamente (Figuras 3 y 4).

La maqueta se realizó con cartón, manteniendo los espesores a escala, de pisos y paredes. El color del cartón es blanco mate, el mismo que tendrán las superficies de la vivienda cuando sea construida (techo, pared y pisos), cuya reflectancia es de 80%.

La iluminancia se midió con un Universal Photometer, marca HAGNER analógico, con 5 escalas de medida, entre rangos de 0 a 100.000 luxes y dos sensores, uno exterior para medir iluminancia, y otro interno para medir luminancia interior. Este instrumento consta de un detector de luz, que se coloca adentro y afuera del modelo, y un medidor donde se lee el resultado.

Las fotografías internas y externas de la maqueta se realizaron con una cámara digital, marca MINOLTA, modelo Dimáge V, cuya característica principal es que la lente se puede separar del cuerpo, y colocarse en el interior del modelo, permitiendo fotografiar con mayor facilidad los espacios analizados.

Metodología del análisis

El estudio experimental en modelos permite, en este caso, evaluar métodos de predicción de iluminación interior. El método utilizado es conocido como Iluminancia Promedio Mantenido

Tabla 1
Distintos valores aproximados
de iluminancias

Mediodía de verano al aire libre, con el cielo despejado	100.000 lux
Mediodía de verano al aire libre, con el cielo cubierto	20.000 lux
Puesto de trabajo bien iluminado en un recinto interior	1000 lux
Buen alumbrado público	20 a 40 lux
Noche de luna nueva (luz de estrellas)	0,01 lux

Fuente: NIBRA. (S.F.) Manual de Luminotecnia. OSRAM.

Tabla 2
Valores de iluminancia típicas
para la realización de actividades (IES)

Oficinas, detalles (con normal o buena representación de colores)	500 lux
Industrial (manufacturación y ventas - con normal o buena representación de colores)	500 lux
Industrial (donde no es esencial la normal o buena representación de colores)	300 lux

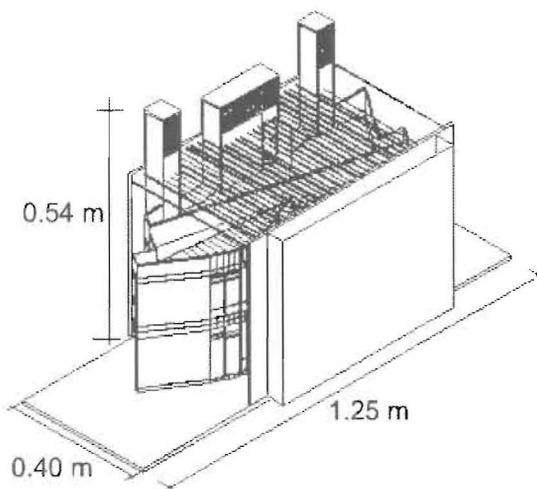


Figura 3. Medidas del modelo a escala de la vivienda.

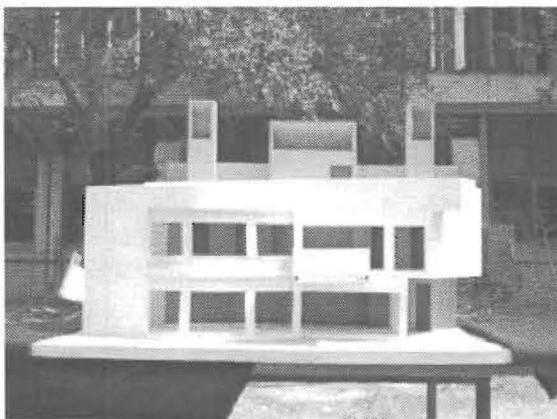


Figura 4. Fotografía de modelo sin el muro lateral.

(Average Maintained Illuminance), establecido por el CIBSE (The Chartered Institution of Building Services Engineers) [13] definido como la densidad promedio de luz, cayendo sobre la superficie de trabajo, en unidades de lux (lúmenes por metro cuadrado), determinada usando un medidor de iluminancia (luxómetro) [14] (Tabla 2).

El procedimiento realizado, según especifica el método, es medir la iluminancia en el interior del modelo en los espacios seleccionados, dibujando una retícula (1 × 1 m, para este caso de estudio, a escala 1:20). El sensor del luxómetro se movió en cada uno de los puntos, que estaban identificados con números y letras. Los números se le asignaron a las líneas perpendiculares a la ventana y las letras identifican las líneas paralelas a ella (Figuras 5 y 6).

El modelo se ubicó con las fachadas más largas en el sentido Norte-Sur, ubicándose la VMB en la fachada Norte de la vivienda. Otro elemento importante en el diseño de la vivienda es un muro cuyas dimensiones son 7 m de altura × 14 m de largo, y se encuentra a 3,5 m enfrente de la ventana, y cuyo color de la superficie forma parte de las variables en estudio, para determinar en cuanto varían los niveles de iluminación interior por efecto de la reflexión (Figuras 4 y 7).

Las mediciones se realizaron los días 16 de abril y 17 de mayo y se efectuaron, empezando por el centro de la retícula dibujada en el espacio, moviéndose hacia los lados, para evitar las diferencias de luminancia en el cielo, que se producen en periodos muy cortos de tiempo.

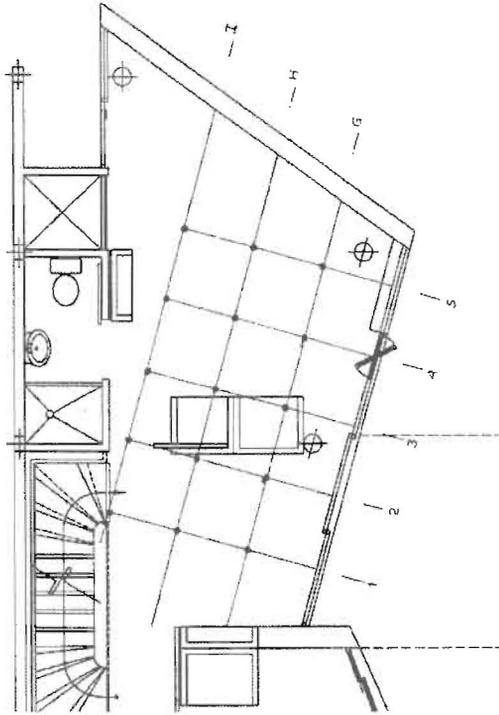


Figura 5. Reticula de medidas en el interior del modelo.

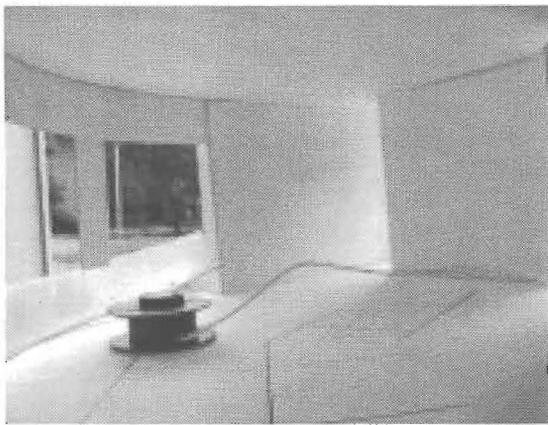


Figura 6. Fotografía interior del modelo.

Las medidas de iluminación se tomaron en el interior del modelo, cada dos horas, empezando a las 8:00 a.m., hora solar verdadera (HSV) en Maracaibo, 8:47 a.m. hora legal de Venezuela (HLV), hasta las 4:00 p.m. (HSV), 4:47 p.m. (HLV). Además, se realizaron mediciones de iluminación exterior antes y después de cada una de ellas. Los datos se registraban en planillas donde se anotaba el día, la hora, el espacio analizado y la cantidad de iluminación por punto. Las mediciones de

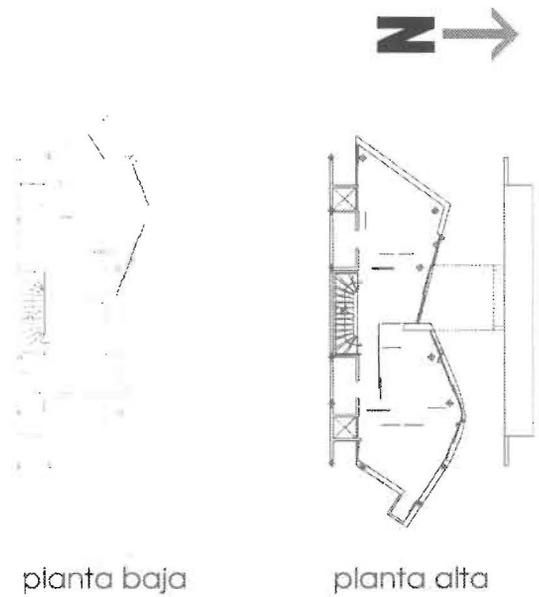


Figura 7. Orientación de la vivienda.

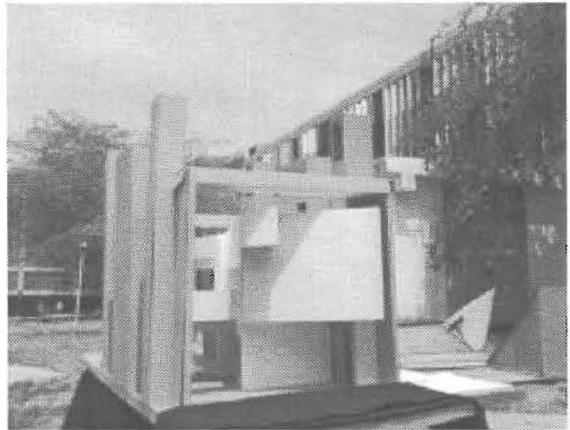


Figura 8. Fotografía del modelo en el sitio de experimentación.

iluminancia se realizaron con cielo despejado y cielo cubierto, cambiando el color de la superficie del muro exterior (blanco y marrón) (Figura 8).

Resultados y discusión del análisis de la iluminación natural

Del estudio del modelo a escala se obtuvieron los siguientes valores de iluminancia exterior, para Maracaibo (Tablas 3 y 4, Figura 9):

Tabla 3
Iluminancia global horizontal exterior con cielo claro, Maracaibo

Día: 16 abril	Horas				
Hora legal	8:47	10:47	12:47	14:47	16:47
Hora solar	8:00	10:00	12:00	14:00	16:00
Azimut	84°	87°	247°	272°	275°
Altitud solar	31°	60°	78°	60°	30°
Iluminancia Exterior Horizontal (LUXES)	40000	72000	90000	68000	32000

Tabla 4
Iluminancia global horizontal exterior con cielo nublado, Maracaibo

Día: 17 mayo	Horas				
Hora legal	8:47	10:47	12:47	14:47	16:47
Hora solar	8:00	10:00	12:00	14:00	16:00
Azimut	73°	68°	353°	290°	286°
Altitud solar	32°	60°	80°	58°	30°
Iluminancia Exterior Horizontal (LUXES)	21000	12000	31000	17000	20000

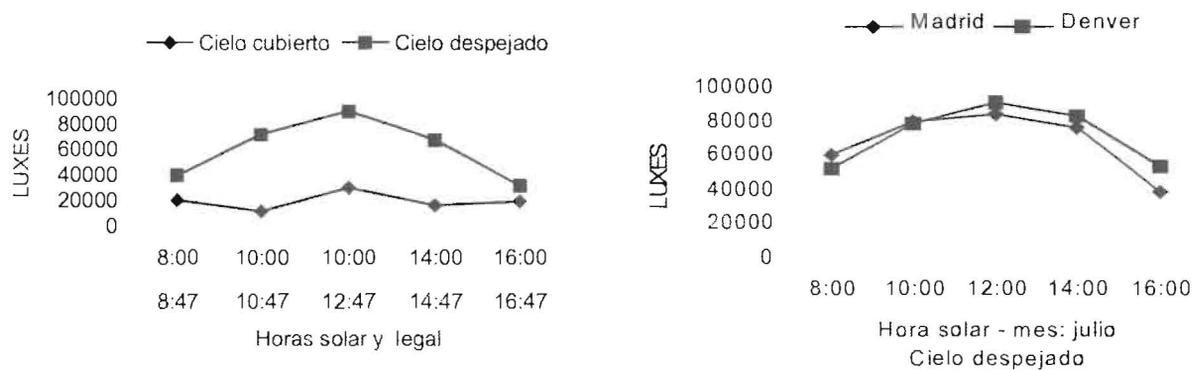


Figura 9. Iluminancia global horizontal exterior entre cielo despejado y cubierto para Maracaibo. Comparación con las ciudades de Madrid y Denver Latitud: 40°.

Las mediciones de iluminancia (lux) en el interior de la vivienda dieron como resultado valores por encima de lo establecido en los niveles de iluminación según el IES [10], el cual establece un promedio de 500 luxes para tareas de lectura normal de libros y documentos, y entre 500 y 1000 lux, para lecturas prolongadas y escritura. Según las mediciones se obtuvieron valores promedios de 2150 lux (línea H) a las 8:00 HSV, hora en la cual se registraron los mayores valores, por penetrar el sol directamente dentro de los recintos a través de la VMB (Figuras 10 y 11).

Estos valores corresponden a medidas con superficies de pared, piso y techo de color blanco, con un 80% de reflexión, con el muro exterior de color marrón, cielo despejado y una iluminancia exterior de 40000 luxes.

De las mediciones con cielo cubierto, del mismo espacio, con las mismas superficies, cambiando el color de la superficie del muro exterior de marrón a blanco, y con una iluminancia exterior horizontal de 21000 luxes (Figura 11), se obtuvo que:

Las iluminancias medidas sobrepasan entre 2 y 5 veces, el nivel luminoso recomendado

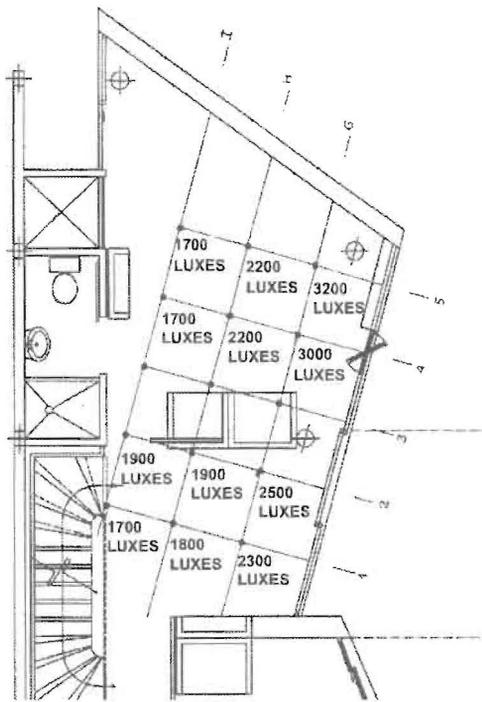


Figura 10: Iluminancia interior dormitorio principal - cielo despejado. Valores absolutos, Día 16 de abril 8:47 HLV - 8:00 HSV.

(mínimo en cualquier momento: 500 lux, siendo la curva de bienestar con iluminación natural de alrededor de 2000 lux máximo), del espacio tomado como ejemplo, y lo mismo sucedió con todos los espacios de la vivienda. En esto tiene mucha influencia el color claro de las superficies, que por su alta capacidad de reflexión, aumenta la claridad dentro del espacio.

Además, se puede observar que en días con cielo cubierto, pero utilizando la superficie del muro exterior color blanco, se obtienen valores similares a los medidos el día con cielo despejado y el muro color marrón (Tabla 5 y Figura 12).

Análisis de Penetración de la Luz Solar - Asoleamiento

Una de las principales causas de ganancia de calor en los edificios, es la obtenida por la radiación solar directa, que penetra a través de las ventanas. Estudios realizados para la ciudad de

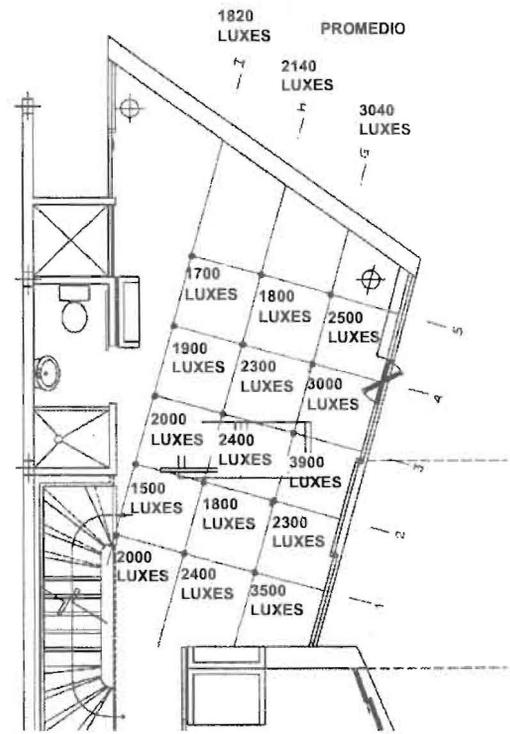


Figura 11: Iluminancia interior dormitorio principal - cielo cubierto. Valores absolutos, Día 17 de mayo 8:47 HLV - 8:00 HSV.

Maracaibo, indican que la fachada Norte de los edificios recibe un promedio anual diario de 5,21 horas entre los meses de abril y agosto de insolaación efectiva. En climas fríos esta situación puede ser favorable, porque ayuda a bajar los costos por calefacción, pero en climas cálidos esto debe evitarse, ya que se eleva demasiado la temperatura interna [15].

Para verificar si el diseño de la vivienda era el adecuado para reducir estas ganancias, se utilizó un modelo digital tridimensional, que fue analizado con varios programas que permiten la simulación solar, con lo cual se estudió la penetración de la luz solar a través de VMB, y así determinar si era necesaria la utilización de elementos extras, como protecciones solares, sobre todo en las grandes áreas de ventana hacia la fachada Norte.

El análisis matemático de la incidencia de la radiación solar en la vivienda, como se ha explicado anteriormente, con el programa CODYBA

Tabla 5
Medidas de iluminancia interna para una misma hilera de puntos, en condiciones de cielo despejado con muro marrón y cielo cubierto con muro blanco.
Día 17 de mayo. 8:47 HLV- 8:00 HSV

		1	2	3	4	5
Cielo despejado	H	1800	1900	2000	2200	2200
Muro marrón						
Cielo Cubierto	H	2400	1800	2400	2300	1800
Muro blanco						

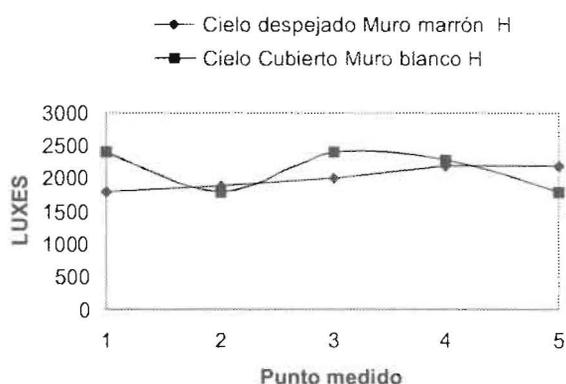


Figura 12. Comparación entre la iluminancia interna: cielo despejado con muro exterior marrón y cielo cubierto con muro blanco.

Comportement Dynamique des Bâtiments—mostró resultados donde la Ventana Matricial Bioclimática, está protegida por la envolvente de la vivienda durante todo el año, en un 80% entre las 9:00 y las 16:00 horas, pero en el caso de este estudio, el análisis es gráfico, cualitativo, con lo cual se simula, a través de modelos digitales, situaciones reales.

Con esta simulación se pudo observar el asoleamiento en las fachadas de la vivienda bioclimática, entendiéndose como asoleamiento, el sol que incide directamente en las fachadas, y por supuesto en la VMB. La ubicación de la ventana en la fachada Norte, facilita su protección ya que solo recibe de manera directa sol durante los meses de abril y agosto, con ángulos de incidencia (altitud solar) altos (entre 70° y 90°, para las hora entre las 10:00 y las 14:00), situación que permite, con pequeños aleros, proteger la paredes que dan hacia el Norte [16].

La fachada sur en la latitud estudiada (10° N), es la que más calor recibe, por estar asoleada una mayor cantidad de meses al año, y por los ángulos de incidencia menores (entre 40° y 50°, para las horas entre 10:00 y las 14:00), sobre las superficies, lo que conlleva a una radiación resultante mayor [14].

Para el caso de la vivienda bioclimática en esta fachada se encuentra un muro con una cámara de aire que aísla y protege la vivienda del sol directo, además contiene otros dispositivos bioclimáticos, como son las chimeneas eólicas que ayudan a captar los vientos y a enfriar de manera pasiva las habitaciones.

Elaboración del modelo digital 3D

Para la elaboración del modelo digital tridimensional y su posterior análisis, se utilizaron dos computadoras PC, con procesadores de 200 Mhz MMX, 64 Megabytes en RAM, y monitores SVGA de 14 y 17 pulgadas.

El programa para la construcción del modelo en dos y tres dimensiones, fue el AutoCAD, versión 14. Para la realización de las simulaciones de asoleamiento interior se utilizó 3D Studio versión 4 y las simulaciones del asoleamiento exterior se realizaron, con ArchiCad 5.0, 3D Studio versión 4 y Autocad 14.

Metodología de análisis

Primero se diseñaron los planos bidimensionales de la vivienda, con sus medidas exactas y con todas sus características arquitectónicas especiales, luego de definido el diseño, se elaboró con AutoCAD, un modelo tridimensional en alambre con varias capas que contenían las superficies que iban a utilizarse en el modelo, por

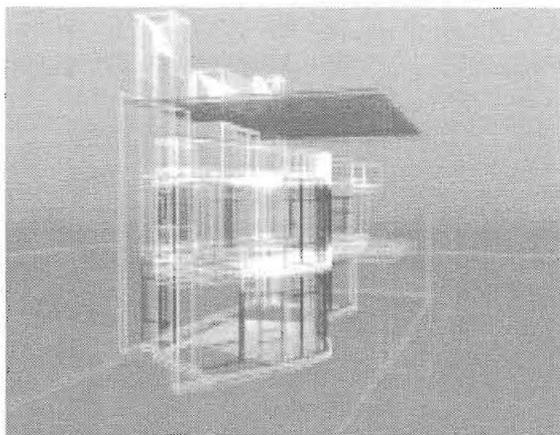


Figura 13: Modelo digital en estructura de alambre.

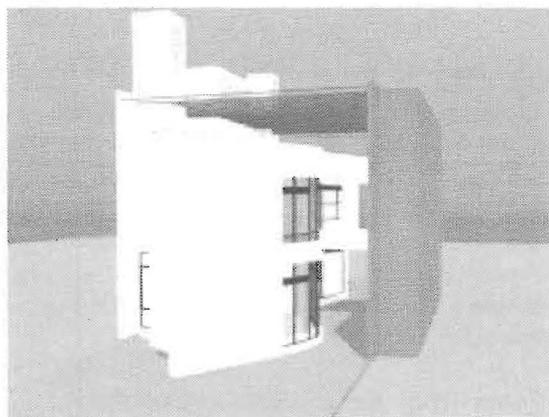


Figura 14: Modelo digital fotorrealista.

ejemplo: paredes interiores, piso interior, muro exterior, entre otras. Luego se importó el modelo a 3D Studio, donde se le colocaron los colores y materiales, con los cuales será construido el prototipo (Figuras 13 y 14).

Posteriormente se colocaron luces que simularían la luz solar, para lo cual se calculó el azimut y la altitud solar, para cada hora del estudio. Se ubicaron las cámaras interiores que permiten la visualización de la penetración de la luz dentro de la vivienda, utilizando una cámara con lente de 28 mm, a la altura de una persona (1.70 m) para poder visualizar mejor espacios pequeños, y así determinar si el sol penetra por la ventana. El programa 3D Studio tiene la ventaja, de poder realizar representaciones fotorrealistas de

manera rápida, por lo cual se obtienen las imágenes del asoleamiento en pocos minutos.

El análisis se realizó cada hora, comenzando desde las 7:00 a las 19:00 horas, para las fechas escogidas de simulación, el 21 de junio (solsticio de verano) y 21 de diciembre (solsticio de invierno), fechas en las cuales la radiación solar directa afecta de manera significativa las fachadas Norte y Sur de la vivienda, debido a la ubicación geográfica de Venezuela. También se efectuaron estudios para las fechas de análisis de la iluminación natural (16 de abril y 17 de mayo), para observar el asoleamiento a través de la VMB, los mismos días que se realizó el estudio de iluminación con la maqueta a escala.

Para el análisis del asoleamiento exterior, se utilizaron los tres programas antes mencionados. En este procedimiento se utilizó el módulo que permite realizar el estudio de asoleo, de 3D Studio y el Archicad, cuyo uso es muy práctico, ya que con solo introducir los datos de coordenadas geográficas, orientación del modelo y la fecha de análisis de la localidad a estudiar, se generaron automáticamente los patrones luz-sombra, y animaciones del recorrido solar.

Resultados y discusión del estudio del asoleamiento

Del análisis computarizado de la vivienda, se obtuvieron imágenes de los patrones de luz y sombra, que la vivienda genera sobre su entorno y sobre sus propias fachadas.

También se observó la penetración del sol a través de la ventana matricial bioclimática (VMB), determinándose, cualitativamente, que el asoleamiento directo del sol por la ventana, es bajo o no existe, durante las horas más calurosas del día, entre las 9:00 y las 16:00 horas, lo conlleva a suponer que la ganancia térmica por radiación solar directa deber ser baja, esta suposición fue comprobada, matemáticamente, como se explicó anteriormente (Figuras 15, 16 y 17).

También se comparó la calidad espacial del modelo a escala con el modelo digital, siendo ambos similares, lo que permite realizar estudios del asoleamiento del espacio, en ambos, que son difíciles de visualizar matemáticamente (Figura 18).

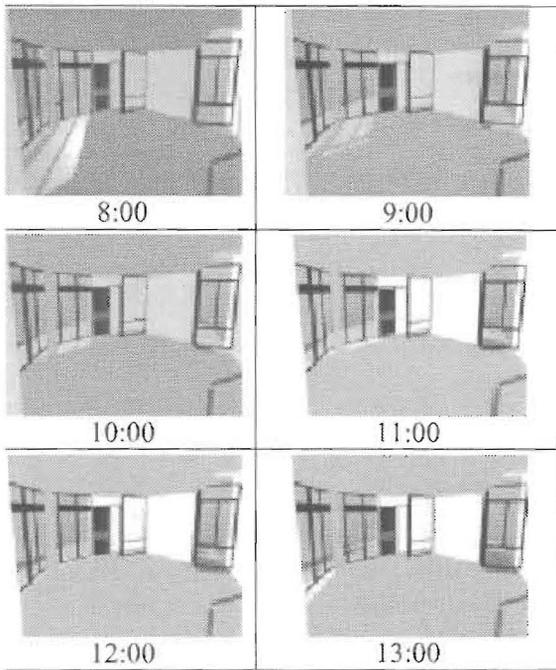


Figura 15. Simulación del asoleamiento interior de la vivienda bioclimática, día 21 de junio.

Es necesario recordar que las simulaciones se realizaron en condiciones en las cuales, los modelos no tenían edificaciones vecinas, ni vegetación, de modo que estuvieran en la situación más desfavorable para su estudio.

En el análisis de luz y sombra, también se generaron imágenes en vista de planta para observar las sombras arrojadas al contexto por la vivienda (Figura 19).

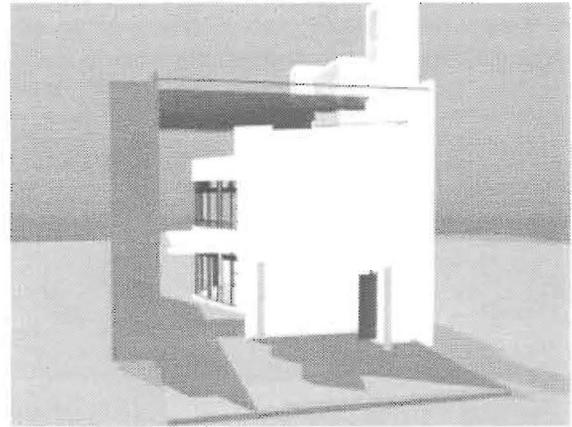


Figura 16. Estudio del asoleamiento de las fachadas de la vivienda bioclimática.

Conclusiones

Del estudio de la iluminación natural y asoleamiento, se obtuvieron las siguientes conclusiones:

1. El diseño de fachadas sinuosas y los elementos constitutivos de la ventana matricial bioclimática, permite minimizar la penetración de luz solar directa en los espacios, sin protecciones adicionales, por lo que podemos deducir que se disminuye la ganancia térmica, por asoleamiento directo.
2. Los niveles de iluminación registrados en el interior de la vivienda, son en promedio cuatro (3) veces superiores a los valores míni-

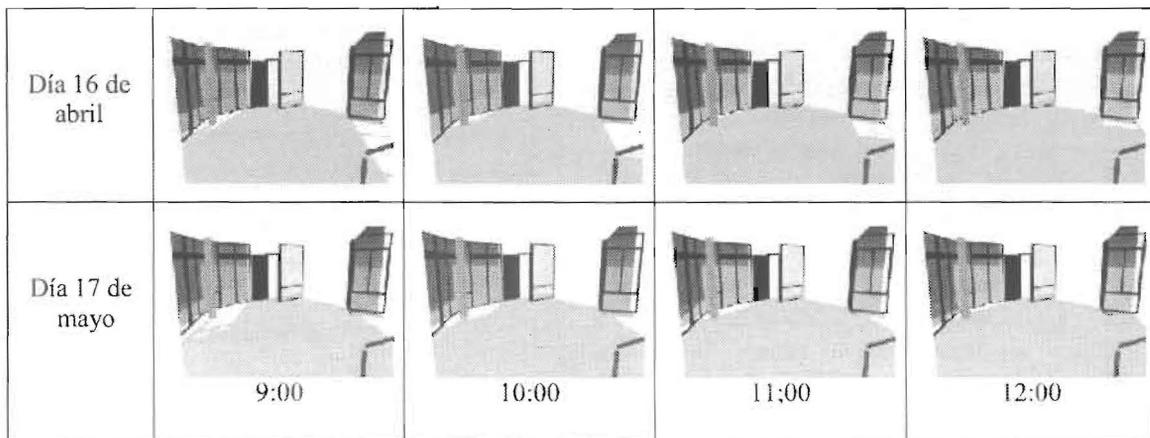


Figura 17. Simulación del asoleamiento interior de la vivienda bioclimática, días 16 abril y 17 de mayo.

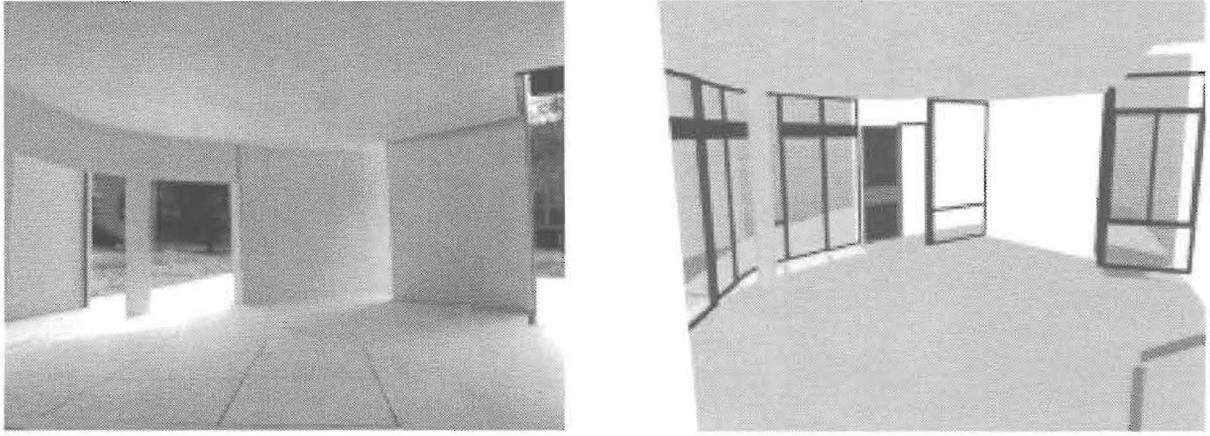


Figura 18. Comparación espacial del modelo analógico y digital.

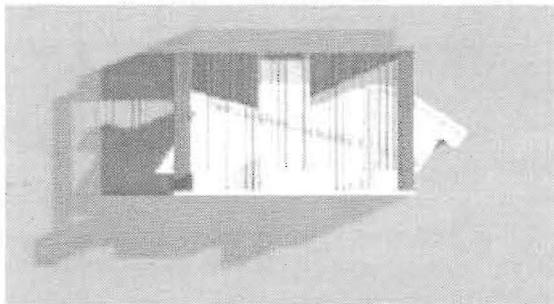


Figura 19. Simulación digital del asoleamiento exterior, hora 10:00, día 21 de junio.

mos adecuados para el confort lumínico, estipulados en normas internacionales (IES), por lo que no es necesario el uso de iluminación artificial, durante el día; a esto también contribuye la poca profundidad de los espacios, permitiendo una alta iluminación en el fondo de las habitaciones.

3. Las altas iluminancias registradas en la vivienda bioclimática pueden traer problemas de brillo (luz reflejada) en algunos espacios, por lo que es recomendable usar colores mates, diferentes al blanco, que permitan reducir el brillo que pudiera generarse en las habitaciones.

4. La reflexión alta de las superficies también contribuye a la generación de calor en la vivienda, ya que la luz al ser absorbida por otras superficies, se transforma en calor y luego es emitida a las habitaciones, por lo que se deben disminuir los niveles de iluminación natural dentro de la vivienda, esto se lograría con el uso de colores menos reflectivos que el blanco.

5. La simulación digitalizada de la vivienda permitió, con muy bajo costo, analizar el asoleamiento a través de la VMB, en diferentes épocas el año y horas, y desde diferentes puntos de vista, observándose los diversos patrones de luz-sombra que genera la iluminación natural en la vivienda bioclimática.

6. Por ser la primera vez que se realiza un estudio de iluminación natural, con respecto a sus aspectos cuantitativos en Maracaibo, muchos de los datos obtenidos, no pudieron ser comparados con información anterior, pero se pudo confrontar con datos de otras ciudades y latitudes, en este caso se pudo comparar con las ciudades de Madrid y Denver (latitud 40°N)[17] y Buenos Aires (35° S) [18], permitiéndonos generar información base que podrá ser consultada, comparada y mejorada en otros trabajos de investigación. No se consiguió información de iluminancias, en ciudades ubicadas en latitud 10°.

7. Es necesario generar bases de datos, con información sobre iluminación natural, para lograr un adecuado análisis lumínico en el interior de las edificaciones, apoyar la toma de decisiones y trazar estrategias de diseño adaptadas las condiciones lumínicas del medio ambiente.

Agradecimientos

Agradecimiento al CONDES por el financiamiento de la Investigación "Herramientas Automatizadas en el área de Lumínica".

Referencias

1. La Roche P, Machado M, Mustieles F, De Oteiza I. (1997) "La cuarta vivienda: una propuesta bioclimática para climas cálidos", IV Encuentro Nacional de la vivienda, Maracaibo, 12-15 octubre.
2. Mustieles, F. M. Machado, P. La Roche. R. González, J. Indriago, I. de Oteiza, I. (1998): "Cerramientos bioclimáticos para climas cálidos húmedos: La cuarta vivienda". Informes de la Construcción Instituto Eduardo Torroja Vol 49 N° 453
3. Mustieles F, Machado M, La Roche P, González R, Indriago J, de Oteiza I. (1997) "MBW: A matricial Bioclimatic Window". CIB World Building Congress, Gävle, Suecia.
4. Givoni, B (1994) "Passive and Low Energy Cooling of Building" Van Nostrand Reinhold, New York.
5. Olgay, V (1968) "Clima y arquitectura en Colombia", Universidad de Arquitectura, Cali.
6. Naciones Unidas (1973) "Diseño de viviendas económicas y servicios de la comunidad. El clima y el diseño de casas", Naciones Unidas Volumen I, New York.
7. Brau J., Roux J., Depecker P. (1987) "Micro-informatique et comportement thermique des bâtiments en régime dynamique: CO-DYBA" Génie Climatique, 11.
8. Campana D., Watremez G. (1990) "CASAMO-CLIM: Manuel d'utilisation" ADEME Service Formation, Paris.
9. Committee on Lighting Education of the Illuminating Engineering Society of North America (1977) "ED-2 IES Lighting. Fundamentals Course", New York, Illuminating Engineering Society of North America.
10. IES (1995) "Lighting Handbook - Reference & Application". 8th Edition.
11. NIBRA (SF). "Manual de Luminotecnia", OS-RAM.
12. Soler A., Oteiza P. (1996) "Métodos experimentales, utilidades informáticas y dispositivos para la iluminación natural en edificios", Tecnología y Construcción, Volumen 12 Número II, Instituto de Investigaciones Facultad de Arquitectura y Diseño, Universidad del Zulia, Instituto de Desarrollo Experimental de la Construcción, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad Central de Venezuela.
13. The Chartered Institution of Building Services Engineers, CIBSE (2001) CIBSE Society of Light and Lighting, en Internet: <http://www.cibse.org>
14. Lightswitch (2001) "Measuring Average Maintained Illuminance". En Internet: <http://www.lightswitch.co.uk/help/illum.htm>
15. La Roche P. (1993), "Herramienta Automatizada para el Diseño Bioclimático de Edificaciones: ASICLIMA." Trabajo especial de grado para optar la titulo de Magister Scientiarum, División de Postgrado, Facultad de Arquitectura Universidad del Zulia, Maracaibo, Venezuela.
16. González E., Hinz E., De Oteiza P., Quiros C. (1986). Proyecto Clima y Arquitectura", Volumen 2, Ediciones Gustavo Gili, Mexico.
17. Oteiza S, Pilar. (1991). "Estudio combinado de iluminación natural y ganancia solar térmica pasiva en edificios docentes", Trabajo de Ascenso, Facultad de Arquitectura, Universidad del Zulia, Maracaibo, Venezuela.
18. Evans, J. M., Torres, S. (2000), "El recurso de iluminación natural en Buenos Aires. Resultado de un año de mediciones", En Internet: <http://g.unsa.edu.ar/asades/actas2000/05-59.html>

Recibido el 30 de Abril de 2001

En forma revisada el 19 de Junio de 2002