

Eficiencia de los elementos de control solar oblicuos en el sombreado de las aberturas

Carlos E. Quirós Lacau

RESUMEN

El presente trabajo tiene por objeto establecer indicadores de eficiencia para elementos de sombra oblicuos en el control del asoleamiento de las aberturas en las edificaciones y su comparación con los obtenidos en dispositivos horizontales y verticales, con el fin de señalar los prototipos más adecuados en un medio intertropical. El análisis se llevó a cabo según las orientaciones típicas de las fachadas utilizando simulación gráfica computarizada y maquetas experimentales expuestas en un heliodon. Los resultados obtenidos establecen que el uso de elementos oblicuos es conveniente para las fachadas con orientaciones intermedias, específicamente, hacia el noreste, noroeste, sureste y suroeste.

ABSTRACT

Efficiency of oblique solar control elements in the shading of windows

Efficiency indexes for oblique solar protection elements in windows are proposed and compared with efficiency indexes from horizontal and building elements, in order to propose the most adequate prototypes in an intertropical medium. Typical orientations of the facades were analyzed using computer graphic simulations and scale models in a heliodon. Results indicate that oblique elements are convenient for northeast, northwest, southeast and southwest facades.

DESCRIPTORES

Ahorro energético
Asoleamiento
Diseño Bioclimático
Simulación

INTRODUCCION

Según la disposición de los elementos de sombra y sus posibilidades de combinación, los sistemas de protección solar se pueden clasificar en: horizontales, verticales y mixtos (Olgyay, 1956). Atendiendo a la movilidad de los dispositivos de control solar se pueden clasificar en parasoles fijos y móviles (Agell, 1978). Los elementos fijos están incorporados rígidamente a la obra arquitectónica y no ofrecen posibilidad de regulación; los móviles son aquellos que permiten regulación alrededor de sus ejes, bien sea manual ó automática.

La oblicuidad de los sistemas de sombreado para las aberturas y/o fachadas se puede plantear según dos opciones: a) Cuando la variación de la pendiente se plantea en la dimensión más larga de los dispositivos de sombra, se tienen los elementos **oblicuos** propiamente dichos. El plano que contiene a la protección está inclinado con respecto a un plano horizontal (visto frontalmente) y, es perpendicular al plano vertical de la fachada, (figura 1). En este caso, los elementos alcanzan una posición intermedia entre los protectores verticales y horizontales, ofreciendo una máscara de sombra de características muy particulares que lo diferencian de aquellos, (figura 2). b) Cuando la variación de la pendiente se plantea en el sentido de su dimensión más corta, se tienen elementos **declinantes**. La superficie plana que los contiene forma un ángulo oblicuo con respecto al plano de la fachada, visto según una sección transversal al parasol (figura 1). En éste caso, la configuración de la máscara de sombra no difiere notablemente con respecto a las posiciones básicas (horizontal, vertical ú oblicua). (figura 2).

La importancia de este reporte de investigación consiste en que, hasta el presente, son muy escasos los trabajos que apuntan hacia el desarrollo de técnicas de

sombreado de las fachadas y aberturas utilizando elementos inclinados de control solar que sean perpendiculares al plano de fachada. Aquí se exploran sus posibilidades de utilización, considerando la dirección de la pendiente de los elementos y las orientaciones estipuladas para las aberturas.

La eficiencia de las protecciones solares (Rivero, 1967) se determina en este reporte a partir de la comparación porcentual del área de sombra proyectada sobre el vano por dichos dispositivos con respecto al área total de la ventana desprotegida; el promedio de los porcentajes horarios obtenidos para una orientación determinada corresponde a la eficiencia del sistema para la fecha estipulada. En nuestro caso se realizaron simulaciones para 4 fechas características que proporcionan una idea bastante aproximada de los índices de eficacia termo-luminica; éstas correspondieron a las fechas de los solsticios y los equinoccios (Junio 21, Diciembre 22, Marzo 21 y Septiembre 23).

METODOLOGIA

a) Selección de la tipología de abertura

Como abertura de referencia, se seleccionó la tipología de configuración cuadrada y de un metro cuadrado de superficie. Dichas proporciones permiten obtener en forma rápida los rangos de sombreado (áreas y porcentajes) y establecer sus comparaciones para los casos de aberturas que constituyan múltiplos y sub-múltiplos de dicho módulo de referencia.

Al plano del cristal de la ventana, lugar de proyección de los efectos del asoleamiento, se lo hizo coincidir con el plano de fachada de la abertura para evitar la inclusión de las sombras proyectadas por los marcos de la ventana y obtener así valores de efectividad específicos para la tipología de protección evaluada.

b) Selección de los prototipos de sistema de control solar

Para simplificar el espectro de alternativas posibles de sistemas de control solar se seleccionó la opción estructurada por tres elementos de sombra fijos y ortogonales a la fachada, los cuales, atendiendo a la tipología a considerar pueden disponerse vertical, horizontal u oblicuamente. De esta manera se utiliza un número mínimo de elementos para alcanzar, hasta en los casos más desfavorables (verticales y oblicuos), una protección adecuada de la abertura. Se consideraron los sistemas de protección solar oblicuos con pendiente positiva (hacia la derecha) y negativa (hacia la izquierda) para una mejor visualización y comprensión acerca de su comportamiento lumínico.

El área de la superficie protectora es la misma en

FIGURA 1
Sistemas de protección solar - clasificación geométrica

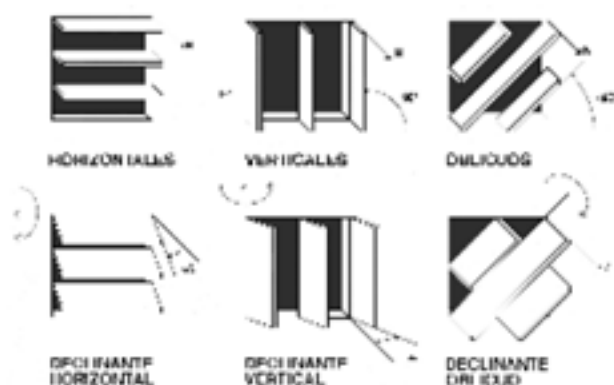


FIGURA 2
Prototipos - Dispositivos de sombra

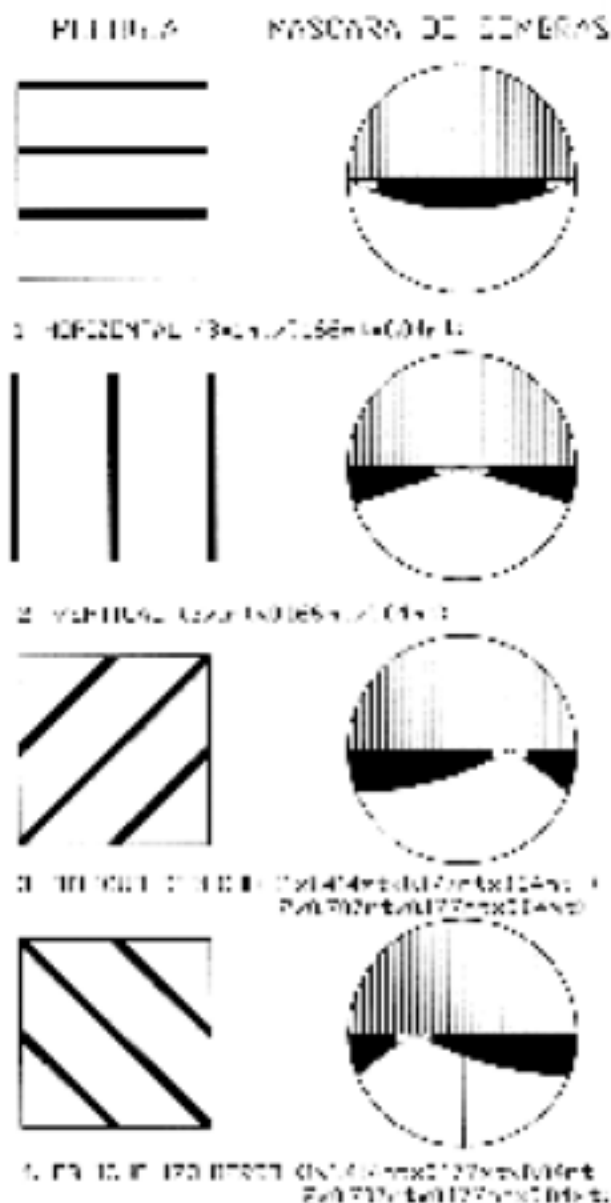
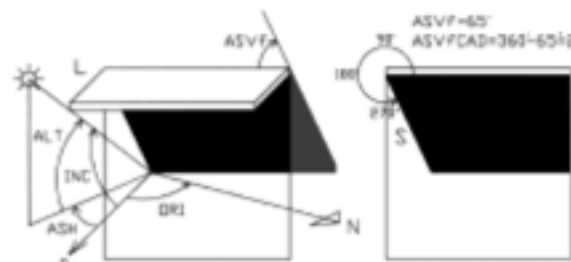


FIGURA 3

Simulación gráfica de patrones de sombreado

3a. ANGULOS SOLARES RELATIVOS A LA EDIFICACION



3b. PATRONES DE SOMBRA EN ELEMENTOS OBLICUOS

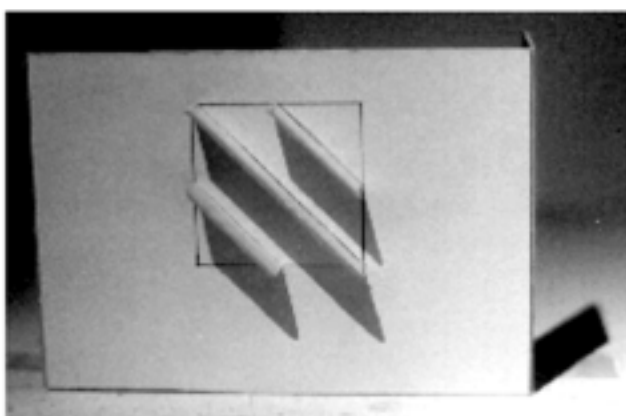


FACHADA NORTE
FECHA: JUNIO 21
HORA: 10 hrs.
EFECTIV: 22.5%

FACHADA NORTE
FECHA: JUNIO 21
HORA: 16 hrs.
EFECTIV: 79%

FIGURA 4

Simulación experimental en el heliodón



cada una de las tipologías descritas, adoptándose la equivalente a la mitad del área de la abertura (0.5 m²). Se conviene en que la utilización de una mayor o menor superficie de control solar afectará, según la tipología estudiada, las dimensiones de la sombra proyectada, pero no sus características formales y patrones de variabilidad. En la figura 2 aparecen discriminadas las dimensiones de los elementos de sombra considerados en este estudio y sus respectivas máscaras de sombras.

c) Determinación de ángulos y factores de sombras

A partir de las ecuaciones de la trigonometría plana y esférica aplicadas al rayo solar, tomando como refe-

rencia el plano del horizonte (Szokolay, 1983), se pueden determinar a través de tablas generadas en hojas de cálculo las coordenadas horarias del sol con respecto a los planos de la edificación (ángulos verticales y horizontales de sombra), así como los factores de longitud de sombra arrojada por los dispositivos de protección solar. En este estudio se tomó como referencia a la ciudad de Maracaibo, de latitud geográfica similar a la de las principales ciudades venezolanas; por su parte, las posiciones horarias aparentes del sol fueron referidas al meridiano de 60 grados oeste para expresar el tiempo en función de la Hora Legal de Venezuela (Quirós, 1985). Las expresiones analíticas utilizadas son las siguientes:

Ángulos relativos a la edificación:

$$ASH = AZI - ORI \quad (1)$$

$$INC = \arccos(\cos ASH * \cos ALT) \quad (2)$$

$$ASVf = \text{Atan} \left[\frac{\tan ALT}{\sin ASH} \right] \quad (3)$$

donde:

ASH = ángulo de sombra horizontal

AZI = azimut solar

ORI = orientación de la fachada estipulada

INC = ángulo de incidencia solar

ALT = altitud solar

ASVf = ángulo de sombra vertical frontal

(ver figura 3a).

Ángulo y factor para la representación de la sombra:

$$ASVf \text{ CAD} = 180 + ASVf \text{ (Si ASVf es negativo)} \quad (4a)$$

$$ASVf \text{ CAD} = 360 - ASVf \text{ (Si ASVf es positivo)} \quad (4b)$$

$$Fs = \tan INC \quad (5)$$

$$S = L * Fs \quad (6)$$

donde:

ASVf Cad = ángulo de sombra frontal (según convención AutoCad)

Fs = factor de sombra para un elemento unitario perpendicular al plano vertical

S = longitud de la sombra arrojada

L = longitud del voladizo

(ver figura 3b).

d) Representación de los patrones de sombreado

Para la simulación gráfica y del cálculo del área sombreada en la abertura producida por la protección solar, con un alto grado de analogía y de precisión, se utilizó el paquete computarizado AutoCad for Windows versión 12. En cada archivo se obtienen por capas, los patrones horarios de luz y sombra generados por una tipología en cada orientación típica, durante un día específico del año (figura 3b).

Simultáneamente se llevó a cabo la simulación de los efectos del asoleamiento a través de maquetas

elaboradas a escala 1:20 de los prototipos y utilizando el heliodon (versión francesa) disponible en el IFA, con el fin de visualizar tridimensionalmente y de registrar en una forma continua los efectos a través de medios audiovisuales (figura 4).

e) Obtención de los rangos de efectividad

Cada serie de valores obtenidos en cuanto a la efectividad de la tipología de protección solar es procesada gráficamente, obteniéndose de esta manera gráficos de variabilidad estadística diaria, mensual y/o anual, cuyo análisis permitió extraer resultados y establecer conclusiones.

RESULTADOS

En la fachada norte, la disposición horizontal de los elementos de sombra alcanza 70.5% de efectividad, excediendo en 6.1% a la configuración oblicua y en 11.2% a la vertical. Por su parte, en la orientación sur se alcanzan valores similares (68.9%, 62.4% y 58%). El patrón de variabilidad de la efectividad del sombreado en ambas orientaciones, revela un mayor porcentaje en horas meridianas para elementos horizontales y para las primeras y últimas horas del día en el caso de los verticales; en los dispositivos oblicuos se observa un comportamiento similar a los señalados para los verticales, pero con una mayor penetración solar a mitad de la mañana o de la tarde, (figuras 5 y 6).

En las fachadas este y oeste se obtuvo un valor de 57% para las protecciones horizontales y 19.5% para las verticales, existiendo una diferencia de 38.2% de eficiencia. En el caso de la tipologías oblicuas, se alcanzaron valores intermedios a éstos y que oscilaban entre 39.6% para los inclinados hacia el sur y 48.8% para los inclinados hacia el norte. Las curvas de variabilidad horaria de efectividad ofrecen un patrón similar en todas las tipologías, expresado por una ascendencia de los valores hacia las horas del mediodía y acentuado más en el caso de los diseños horizontales (véase las figuras 5 y 7).

Para las orientaciones noreste y noroeste, los sistemas de control solar oblicuos orientados hacia el norte alcanzan valores de efectividad del 69%, excediendo a los horizontales en 7.3% y a los verticales en 21%. Los parasoles inclinados hacia el sur, alcanzan los valores menores, estimados en 43.4%. Los patrones de variación para los horizontales se mantienen a lo largo del año, mientras que el resto de las tipologías ofrecen variaciones marcadas, (figura 5).

En las fachadas sureste y suroeste, los elementos de sombra horizontal alcanzan 63.91 de efectividad y aquellos con pendiente sur, con 60.9%; le siguen los

FIGURA 5
Efectividad de las protecciones solares según tipología y orientación de la abertura (Promedio anual)

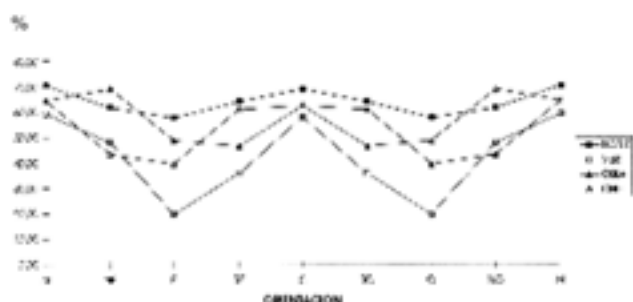


FIGURA 6
Efectividad en fachada sur (Diciembre 22)

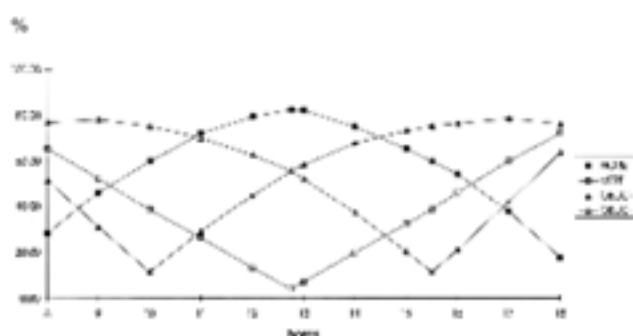


FIGURA 7
Efectividad en fachada oeste (Marzo 21)

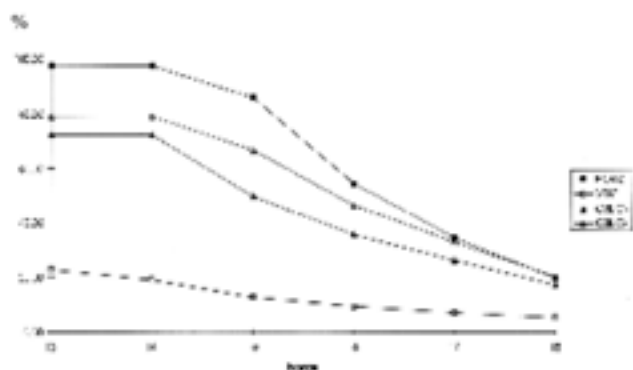


FIGURA 8
Efectividad en fachada sureste (Junio 21)

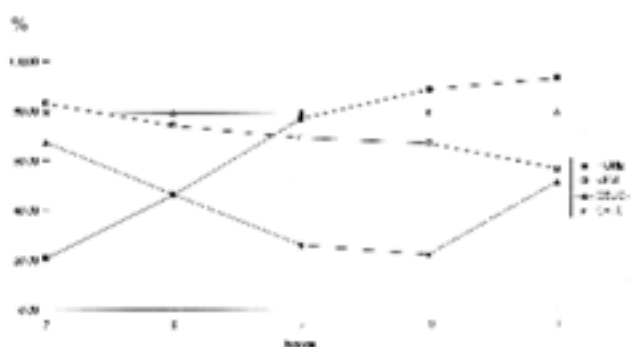


TABLA 1

Resumen de la eficiencia de los elementos verticales y horizontales en el sombreado de las aberturas

MARZO 21

Epo	ELEMENTOS HORIZONTALES								ELEMENTOS VERTICALES								Epo	
	hor	N	NE	E	SE	S	SO	O	NO	N	NE	E	SE	S	SO	O		NO
7																		7
8																		8
9																		9
10																		10
11																		11
12																		12
13																		13
14																		14
15																		15
16																		16
17																		17
18																		18
19																		19
pm																		pm

JUNIO 21

Epo	ELEMENTOS HORIZONTALES								ELEMENTOS VERTICALES								Epo	
	hor	N	NE	E	SE	S	SO	O	NO	N	NE	E	SE	S	SO	O		NO
7																		7
8																		8
9																		9
10																		10
11																		11
12																		12
13																		13
14																		14
15																		15
16																		16
17																		17
18																		18
19																		19
pm																		pm

DICIEMBRE 21

Epo	ELEMENTOS HORIZONTALES								ELEMENTOS VERTICALES								Epo	
	hor	N	NE	E	SE	S	SO	O	NO	N	NE	E	SE	S	SO	O		NO
7																		7
8																		8
9																		9
10																		10
11																		11
12																		12
13																		13
14																		14
15																		15
16																		16
17																		17
18																		18
19																		19
pm																		pm



inclinados hacia el norte con 46.5% y los verticales con 35.7%. Las curvas de variabilidad del factor sombra, son similares al caso señalado anteriormente, (figuras 5 y 8).

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los valores promedios de efectividad de los elementos oblicuos de sombra se sitúan generalmente entre los obtenidos para los elementos horizontales y los verticales, por constituir una posición intermedia entre dichas posiciones relativas. Sin embargo, para las aberturas localizadas en fachadas con orientación intermedia, tales como la noreste, noroeste, sureste y suroeste son altamente eficientes. El uso de elementos de protección solar oblicuos en una fachada sur (con pendiente positiva) y norte (con pendiente negativa) puede ser conveniente para edificaciones localizadas en climas fríos en, la alta montaña, o en latitudes medias durante el invierno, ya que permite la incidencia solar directa en algunas horas del periodo matutino

TABLA 2

Resumen de la eficiencia de los elementos oblicuos en el sombreado de las aberturas

MARZO 21

Epo	ELEM. OBLICUOS POSITIVOS (///)								ELEM. OBLICUOS NEGATIVOS (\\)								Epo	
	hor	N	NE	E	SE	S	SO	O	NO	N	NE	E	SE	S	SO	O		NO
7																		7
8																		8
9																		9
10																		10
11																		11
12																		12
13																		13
14																		14
15																		15
16																		16
17																		17
18																		18
19																		19
pm																		pm

JUNIO 21

Epo	ELEM. OBLICUOS POSITIVOS (///)								ELEM. OBLICUOS NEGATIVOS (\\)								Epo	
	hor	N	NE	E	SE	S	SO	O	NO	N	NE	E	SE	S	SO	O		NO
7																		7
8																		8
9																		9
10																		10
11																		11
12																		12
13																		13
14																		14
15																		15
16																		16
17																		17
18																		18
19																		19
pm																		pm

DICIEMBRE 21

Epo	ELEM. OBLICUOS POSITIVOS (///)								ELEM. OBLICUOS NEGATIVOS (\\)								Epo	
	hor	N	NE	E	SE	S	SO	O	NO	N	NE	E	SE	S	SO	O		NO
7																		7
8																		8
9																		9
10																		10
11																		11
12																		12
13																		13
14																		14
15																		15
16																		16
17																		17
18																		18
19																		19
pm																		pm



cuando quizás se hace necesaria la ganancia térmica en el interior del recinto después del periodo nocturno. Sin embargo, combinar los elementos inclinados entre sí, resulta una solución más efectiva de control solar para el caso de climas cálidos.

Los elementos de sombra horizontales resultan los más efectivos en una localización intertropical como la nuestra, ya que para las posiciones meridianas e intermedias del sol, su eficacia resulta casi constante a lo largo del año; debido a la relativa cercanía al ecuador terrestre, no se registran inclinaciones estacionales notables, por lo que las trayectorias solares tienden a ser ortogonales al horizonte y las posiciones meridianas cenitales. Por sí solos pueden satisfacer en gran porcentaje los requerimientos de sombra en el día, ya que cubren las aberturas en el momento más crítico del periodo desde el punto de vista térmico; las otras tipologías (verticales y oblicuas) deberán asociarse necesariamente con los dispositivos horizontales para alcanzar una protección más permanente durante el

día. En las tablas 1 y 2 aparecen en forma resumida e ilustrada, la eficiencia de los tipos de protección solar considerados en función de la hora y orientación para las fechas de los solsticios y equinoccios.

Las fachadas con mayor amplitud de ángulos horizontales de sombra como la norte y la sur, debido a su condición de paralelismo con respecto a las trayectorias solares, determinan que los elementos verticales de sombra resulten bastante efectivos para los ángulos de mayor abertura horizontal; éstos reducen notablemente la incidencia solar lateral a la abertura, desde el saliente y/o poniente, hasta una posición intermedia matutina y/o vespertina del astro. Su uso en fachadas de menor amplitud horizontal, como las fachadas este y oeste, resulta ineficiente por ser perpendiculares a la dirección de las trayectorias solares; sin embargo, esto puede ser subsanado orientando dichos elementos de sombra hacia el norte o al sur, según la época del año.

Para obtener mejores resultados, es conveniente el cálculo de la eficiencia de los sistemas de protección solar para un día promedio de cada mes, y, si es posible, para cada día del año. Debido a que en AutoCad el

proceso de representación gráfica y de cálculo se hace muy lento manualmente, se requerirá para alcanzar los objetivos señalados un programa computarizado diseñado específicamente para tales fines, o bien, automatizar el proceso mediante la elaboración de instrucciones de procesamiento de listas en lenguaje de programación Lisp, dentro del mismo paquete de AutoCad (AutoLisp).

Este estudio puede ser ampliado tomando en cuenta otros aspectos y factores en la configuración de los elementos de protección solar oblicuos, tales como la variación en el número de elementos empleados, en el ángulo de inclinación y en la sección transversal de los mismos, sus posibilidades de rotación y de combinación, inclusive con las otras tipologías. Por otro lado, será de mucho interés efectuar el análisis en un número mayor de orientaciones (16 a 32), con el fin de obtener un espectro más completo de la variabilidad horaria de los ángulos y factores de sombra, así como de la efectividad correspondiente a la tipología considerada.

RECONOCIMIENTO

Al Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico (CONDES) de la Universidad del Zulia por el financiamiento de la investigación "Control de la ganancia térmica en las aberturas de la edificación", de la cual se extrae el presente artículo científico. Un agradecimiento muy especial a Mónica Montero, Laura Rodríguez, Mónica Pardi, Jhonny Alarcón y Javier Medina por el apoyo prestado en el procesamiento de la información y en la representación gráfica y tridimensional de los prototipos propuestos en la investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGELL, Carlos (1978): *Análisis comparativo de sistemas de protección solar en arquitectura. Particularización: Ciudad de Caracas*. Facultad de Arquitectura, Universidad Central de Venezuela, Caracas, 68 p.

DE OTEIZA, P.; GONZÁLEZ, E.; HINZ, E.; QUIRÓS, C. (1986): *Proyecto Clima y Arquitectura*. Editorial Gustavo Gili, México, 503 p.

OLGYAY, Victor; OLGAY, Aladar. (1976): *Solar Control and shading devices*. Princeton University Press, Princeton, 201 p.

QUIRÓS, Carlos. (1985): *Heliográfica en arquitectura*. La Universidad del Zulia, Facultad de Arquitectura, Maracaibo, 234 p.

RIVERO, Roberto (1972): *Asoleamiento en Arquitectura*. Servicio de Climatología aplicada a la Arquitectura, Facultad de Arquitectura, Universidad de La República, Montevideo, 35 p.

RIVERO, Roberto (1967): *Parasoles I - Estudio comparativo de la eficacia de los parasoles fijos ante la radiación solar*. Servicio de Climatología aplicada a la Arquitectura, Facultad de Arquitectura, Universidad de La República, Montevideo, 95 p.

SZOKOLAY, S. V. (1983): *Arquitectura Solar*. Editorial Blume, Barcelona (España), 278 p.

YÁÑEZ, Guillermo (1983): *Energía Solar, Edificación y Clima*. Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo, Madrid, Tomo 1, 584 p.