



## Sistema de elementos de protección solar para los edificios en Cuba. Estudio de caso

### System of shading devices for buildings in Cuba. Case Study

Dania González Couret y Rolando Martínez Cabrera

**RESUMEN:** El presente trabajo refiere los resultados de una investigación realizada con vistas a proponer un sistema de elementos ligeros de protección solar que puedan ser producidos en Cuba y adicionados a las fachadas de los edificios con vistas a reducir la carga térmica a través de la envolvente arquitectónica y el consumo de energía. Para ello se definió un espacio interior modular climatizado con tres posibles funciones, del cual se derivaron los requisitos a satisfacer por los elementos de protección solar a diseñar. Su comportamiento en cuanto a reducción de la transferencia térmica y de la iluminación natural interior se evaluó mediante simulación automatizada con el programa Ecotect V5. La aplicación en un caso de estudio permitió demostrar que el costo de inversión requerido para proteger del sol la fachada del edificio puede ser amortizado en menos de dos años a partir de la reducción de la carga de climatización.

**PALABRAS CLAVE:** protección solar, arquitectura bioclimática, Cuba.

**ABSTRACT:** This paper reports the results of research conducted in order to propose a system of lightweight sun protection devices that can be produced in Cuba and added to the facades of the buildings in order to reduce the heat load through the architectural envelope and the energy consumption. For this, a modular indoor air-conditioned space with three possible functions, of which the requirements were derived to satisfy the elements of sun protection design, was defined. Its performance in terms of reduced heat transfer and natural lighting inside was assessed using automated simulation with Ecotect V5. The application in a case study helped to show that the required investment for the solar protection of the building facade can be amortized in less than two years from reducing air conditioning load.

**KEYWORDS:** shading devices, bioclimatic architecture, Cuba

## Introducción

La protección solar de los cierres exteriores de los edificios es un requisito esencial para la eficiencia energética en casi todos los climas. Evitar la entrada del sol en los espacios interiores es deseable en los meses de verano en los climas templados e incluso fríos, pero en los climas cálidos resulta imprescindible. En los climas cálido-secos es posible aprovechar la radiación solar diurna para calentar los cierres exteriores (paredes y cubiertas) y almacenar en ellos ese calor para desprenderlo al espacio interior durante la noche, momento en que las temperaturas bajan, incluso por debajo de la zona de confort.

Sin embargo, en climas cálido-húmedos como el de Cuba, donde las temperaturas son altas todo el día y todo el año, evitar el calentamiento de los cierres exteriores es un recurso esencial del diseño bioclimático en cualquier época del año. Es conveniente evitar el calentamiento de las superficies exteriores de paredes y cubiertas para reducir el flujo de calor hacia el espacio interior y con ello, la ganancia térmica. Así mismo, resulta imprescindible proteger las ventanas de la penetración de la radiación solar directa, que además de contribuir a elevar la temperatura interior, provoca deslumbramiento.

La situación se agrava cuando se trata de ventanas de vidrio, donde se produce el efecto invernadero que contribuye a elevar la temperatura interior. Quienes piensan que en los edificios climatizados esto no resulta tan necesario, no tienen en cuenta las consecuencias del asoleamiento en los espacios interiores. El uso de cortinas para evitar el deslumbramiento obstruye las visuales al exterior y genera aumento del consumo de energía en iluminación artificial y en climatización por la ganancia térmica (que no se resuelve con una cortina interior). También, a pesar de la climatización artificial se afecta el confort de las personas sometidas al efecto de una radiación asimétrica (el calor radiante de la ventana por un lado y el frío del aire acondicionado por el otro).

La norma cubana "Requisitos de diseño para la eficiencia energética de las edificaciones" (NC220-1:2009) [1], en su Parte I referida a la envolvente arquitectónica, establece los ángulos requeridos para la protección solar de las edificaciones según la orientación de sus fachadas. Sin embargo, los diseños arquitectónicos que se ejecutan en Cuba no cumplen estos requerimientos y de manera general, emplean grandes superficies de vidrio expuestas a la radiación solar sin protección. La razón fundamental que argumentan los arquitectos para justificar esta práctica es la inexistencia en el mercado de un surtido de elementos de protección solar que puedan ser empleados en los diseños arquitectónicos para ser adicionados a las fachadas de los edificios en dependencia de su orientación.

El presente trabajo refiere los resultados de una investigación realizada a solicitud de los Ministerios de la Industria Básica y de la Industria Sideromecánica (hoy unificados en el Ministerio de Energía y Minas), con vistas a proponer un sistema de elementos ligeros de protección solar que puedan ser producidos en Cuba para su adición a las fachadas de los edificios (tanto los de nueva ejecución como los existentes) en diferentes contextos, con vistas a reducir la carga térmica a través de la envolvente arquitectónica y el consumo de energía. El estudio fue realizado para la ciudad de La Habana, con una latitud de 22° Norte.

1. OFICINA NACIONAL DE NORMALIZACIÓN. *NC 220\_1, 2009: Edificaciones. Requisitos de Diseño para la eficiencia energética. Parte 1: Envolvente del edificio*. La Habana: ONN, 2009.

## Materiales y métodos

Los requisitos a satisfacer por la protección solar parten del uso del espacio interior. Por tanto, la investigación se inició identificando el tipo de espacio a tomar como objeto de estudio. Se decidió trabajar para espacios climatizados con el objetivo de demostrar el posible impacto de la protección solar en la reducción del consumo energético de la edificación. Con vistas a generalizar a escala arquitectónica los resultados obtenidos para cada espacio estudiado, se seleccionaron edificios conformados por espacios de función principal que se repiten en forma modular.

A partir de la revisión de las normas cubanas vigentes se establecieron los requisitos a satisfacer por los elementos de protección solar a diseñar como garantía de un ambiente interior apropiado.

Para abordar el diseño de los dispositivos se partió de un estudio del repertorio nacional e internacional precedente que hizo posible arribar a una clasificación tipológica de estos elementos, que unida a los ángulos requeridos sirvió de base para su diseño geométrico inicial, que fue posteriormente precisado en cuanto a forma y detalles en dependencia de los posibles materiales a emplear en su ejecución.

Cada uno de los elementos diseñados como parte del sistema fue sometido a una evaluación de su comportamiento desde el punto de vista de la iluminación natural y la reducción de la carga térmica en un espacio de 6 m por 6 m y 2,70 m de puntal, a partir del empleo del programa Ecotect V 5,5 (2005)<sup>1</sup>, considerando ventanas de vidrio simple de piso a techo con marcos de aluminio. Se asumió una absorción y reflexión de 0,28 y 0,8 respectivamente para la protección solar, de 0,8 y 0,75 para la ventana (con una suciedad de 0,9), así como 0,85 y 0,6 para las superficies interiores.

Para la simulación automatizada se tomó un cielo "parcialmente cubierto" con una luminosidad de 10 000 lux [2] y un horario de simulación entre 9:30 am y 15:30 pm. Los niveles de iluminación mínimos y los coeficientes de uniformidad obtenidos para los espacios estudiados se compararon con los requerimientos identificados.

La radiación transmitida a través de la fachada protegida se simuló para los días de mayor radiación incidente en los meses más críticos para cada orientación y se estimó la reducción de la capacidad de enfriamiento requerida del equipo de climatización con respecto a la necesaria con la fachada sin protección.

Por último, se ofrecieron recomendaciones técnicas para su aplicación práctica y se verificó su posible impacto en un edificio real de oficinas, tomado como caso de estudio. Para ello, se seleccionó un espacio de oficina con dimensiones representativas de los restantes en su planta, ubicado hacia la fachada sureste que resultó ser la de mayor incidencia de la radiación solar, cuyo comportamiento se simuló con y sin protección solar, empleando el programa Ecotect V 5.5.

Los elementos de protección solar empleados en la simulación fueron seleccionados de las variantes de diseño propuestas como parte del sistema, respondiendo a los requerimientos de protección derivados del espacio estudiado y su orientación.

Para las ventanas se empleó un coeficiente de reducción de 0,6, producto de la refracción del vidrio [2], correspondiente a un vidrio difusor de una capa, y un coeficiente de reducción de 0,87 calculado según la estructura de la ventana, así como 0,9 por suciedad. En las superficies interiores de las paredes y techo (de color blanco) se asumió una reflexión de 0,85, y 0,6 para el piso gris claro.

2. ALEMANY, A., A. ALFONSO, A. M. DE LA PEÑA, Gisela DÍAZ. *Climatología, Iluminación Natural y Acústica*. La Habana: ISPJAE, 1986.

<sup>1</sup> Software disponible en Internet para facilitar el diseño en 3D y aplicar las herramientas necesarias para lograr la eficiencia energética.

Mediante la simulación automatizada se verificó la afectación que los elementos de protección propuestos ocasionan en el comportamiento de la iluminación natural en la oficina, tomada como objeto de estudio y la reducción que estos significan en la radiación transmitida al interior y por tanto, en la carga de climatización.

A partir de este resultado, se estimó la reducción de la carga total de climatización en los espacios vinculados a la fachada sureste del edificio y se realizó una valoración económica del tiempo de recuperación de la inversión necesaria para la adición de los elementos de protección solar en la fachada.

### Definición del objeto de estudio

La protección es un requisito esencial para cualquier tipo de espacio y edificio en las condiciones del clima de Cuba, sin embargo, en aquellos donde se emplea climatización artificial la protección solar tiene un mayor impacto en el ahorro de energía. Es por ello que se partió de la selección de programas arquitectónicos que puedan requerir de climatización artificial.

Entre los programas arquitectónicos cuyos espacios comúnmente se climatizan en Cuba se encuentran: los edificios de oficina, donde la ventilación (ya sea mecánica o natural) puede resultar molesta como recurso de acondicionamiento ambiental; los alojamientos hoteleros, donde hay que ofrecerles esta opción a los turistas que lo deseen, y los edificios de laboratorios y aulas especializadas, sobre todo, aquellas donde es necesario oscurecer para proyectar, lo cual requiere de ventanas cerradas y por tanto, espacios sin ventilación natural.

Por su especificidad, los laboratorios quedaron excluidos de esta muestra inicial, y en los hoteles la atención se concentró en los espacios de alojamiento, que son los que necesariamente requieren de esta opción. Por tanto, el objeto de estudio se concentró en espacios repetitivos de edificios de carácter modular como oficinas, aulas y habitaciones de hotel. Para ello, se seleccionó un espacio genérico con dimensiones de 6,00 m X 6,00 m, adaptable a los requerimientos de aulas, oficinas e incluso, habitaciones de hotel.

### Requerimientos ambientales interiores a satisfacer

Partiendo de que se trata de espacios climatizados, la protección solar debe satisfacer dos requerimientos contradictorios: reducir la radiación solar directa que incide en la fachada y penetra por las ventanas, y a la vez, favorecer el cumplimiento de los requisitos de iluminación natural interior, dejando penetrar la cantidad necesaria de radiación difusa.

De estos dos requerimientos, la iluminación natural resulta decisiva en aulas y oficinas, por las labores visuales que en ellas se desarrollan, mientras que en los dormitorios el ambiente térmico interior y la privacidad visual constituyen el requisito principal. Las visuales al exterior son deseables en todos los casos. A partir de estas consideraciones, se realizó una búsqueda de los requerimientos de iluminación y ventilación natural, visuales, privacidad y protección solar propuestos en diversas fuentes, incluidas investigaciones y normas [3], [4], [5], [6], [7], [8], [9], [10] para identificar los rangos a cumplir (tablas 1 y 2).

Como que los requerimientos de iluminación natural varían en los tres tipos de espacio objeto de estudio, se asumió un nivel intermedio de 300 lux como valor mínimo a satisfacer en la comprobación del desempeño de los elementos de protección solar diseñados.

3. OFICINA NACIONAL DE NORMALIZACIÓN. *NC 53-86: 1983: Elaboración de proyectos de construcción. Iluminación natural en edificaciones.* La Habana: ONN, 1983.
4. OFICINA NACIONAL DE NORMALIZACIÓN. *NC 45-2: 1999.* La Habana: ONN, 1989.
5. OFICINA NACIONAL DE NORMALIZACIÓN. *NC - ISO 8995 CIES 008/E: 2001. Lighting of work places. Part I: Indoors, 2003. Iluminación de puestos de trabajo en interiores.* La Habana: ONN, 2002.
6. OFICINA NACIONAL DE NORMALIZACIÓN. *NC - ISO 7200: 2004. Documentación técnica de productos.* La Habana: ONN, 2004.
7. MAVILLA, M., "Control solar en edificios de oficinas". Director: Jesús Sánchez. Tesis de Diploma. ISPJAE. Facultad de Arquitectura. La Habana, 1983
8. MENÉNDEZ, C., "Sistema modular de dispositivos de protección solar en edificios sociales". Director: Elmer López de León. Tesis de Diploma. ISPJAE. Facultad de Arquitectura, La Habana, 1982.
9. RODRÍGUEZ, L., "Influencia de elementos de protección solar en el asoleamiento de los edificios". Director: Ana María de la Peña. Tesis de Diploma. ISPJAE. Facultad de Arquitectura, La Habana, 2003.
10. DE LA PEÑA, A. M., "Iluminación natural en edificios". Director: Alfonso González. Tesis de Diploma. ISPJAE. Facultad de Arquitectura, La Habana, 1992

Tabla 1: Requerimientos ambientales interiores en los espacios objeto de estudio.

ESPACIOS	NC 53-86: 1983 [3]	NC 45-2: 1999 [4]	NC-ISO 8995: 2003 [5]	Alemanya, 1986 [2]
DORMITORIO	70 LUX	75		150
AULAS	200 LUX		500	200
OFICINAS	150 - 200 LUX		300 - 500	200

Tabla 2: Ángulos de protección solar requeridos por orientación.

REFERENCIAS	N	NE	E	SE	S	SO	O	NO
NC – ISO 7200: 2004 [6]	80°		45°		50°		45°	
Mavilla, 1983 [7]		45°-40°	30°		45°-40°		30°	60°-40°
Menéndez, 1982 [8]	50°	20°		20°	25°	30°		30°
Rodríguez, 2003 [9]		80°		30°	30°	30°		80°
De la Peña, 1992 [10]	60°	35°	30°	30°	30°	30°	30°	40°
RESUMEN (H)	60°	35°	30°	25°	35°	30°	30°	40°
(V)	27°	35°						35°

## Resultados y discusión

### Clasificación tipológica de los elementos de protección solar

La clasificación tipológica de los posibles elementos de protección solar a emplear, se ordenó de acuerdo primero con su posición absoluta (horizontales o verticales), luego según su forma (rectos, curvos, quebrados y mixtos) y por último, a partir de su posición relativa (perpendiculares, paralelos y oblicuos a la fachada) (tablas 3 y 4).

Tabla 3: Clasificación de los elementos horizontales de protección solar.

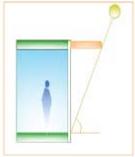
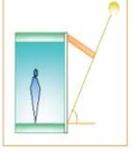
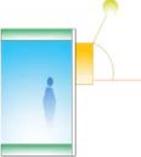
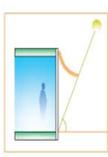
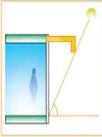
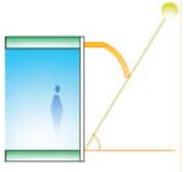
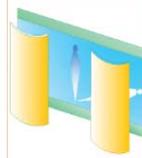
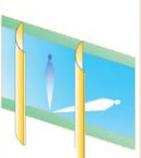
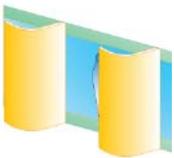
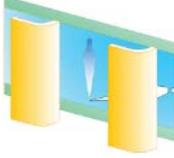
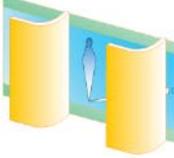
HORIZONTALES	FORMA	POSICIÓN RELATIVA		
		PERPENDICULARES	PARALELOS	OBLICUOS
	RECTOS			
	CURVOS			
	QUEBRADOS			
MIXTOS				

Tabla 4: Clasificación de los elementos verticales de protección solar.

	FORMA	POSICIÓN RELATIVA		
		PERPENDICULARES	PARALELOS	OBLICUOS
VERTICALES	RECTOS			
	CURVOS			
	QUEBRADOS			
	MIXTOS			

Adicionalmente, todos los tipos clasificados se pueden desarrollar a partir de elementos sólidos o en trama, y pueden ser fijos o móviles. Por la forma en que se realiza el movimiento pueden ser desplazables, giratorios, plegables o enrollables y es posible ejecutarlo de forma manual, mecánica o automatizada.

### Soluciones de diseño propuestas

Las propuestas de diseño tomaron como base el repertorio internacional evaluado y un inventario de los materiales disponibles en el país para la elaboración de los dispositivos propiamente y de su estructura portante. El proceso transitó por varias etapas, que comenzaron con el diseño geométrico de cada elemento, a partir de los ángulos de protección requeridos para las diferentes orientaciones, luego el formal y por último, la solución en detalle de los elementos componentes. En todos los casos y etapas se consideraron las posibilidades de movimiento.

La geometría de cada elemento tipo responde a los ángulos de protección solar asumidos (tabla 2), de donde se derivaron sus dimensiones, considerando una separación no menor de 0,60 m y no mayor de 1,20 m con respecto a la fachada, por razones tanto estructurales como estéticas y funcionales. Esto permitiría la posible abertura de ventanas ubicadas detrás de los elementos de protección solar, así como su manipulación, limpieza y mantenimiento desde el interior. La modulación horizontal asumida para todos los elementos diseñados fue de 1,80 m, lo cual condiciona el

espaciamiento entre las estructuras de soporte y fijación a la fachada. En la figura 1 se muestran esquemas que ilustran el diseño geométrico de varios tipos de elementos de protección solar.

Para cada esquema geométrico propuesto se consideró su posible ubicación en los edificios y la expresión formal resultante, teniendo en cuenta su empleo para vanos de diversas dimensiones y proporciones, así como la protección parcial o total de la fachada, a partir de su composición modular y sus posibilidades de movimiento. En la figura 2 se muestran algunas posibles soluciones formales en función de los requerimientos de protección y los criterios de diseño a asumir por los proyectistas para su selección, resumidas en 12 tipos cuyo desempeño fue posteriormente verificado.

Una vez determinadas las características geométricas de cada tipo de elemento de protección y valoradas sus posibles soluciones formales, se estudiaron los detalles de fijación de las lamina a la estructura y de esta a la fachada de los edificios.

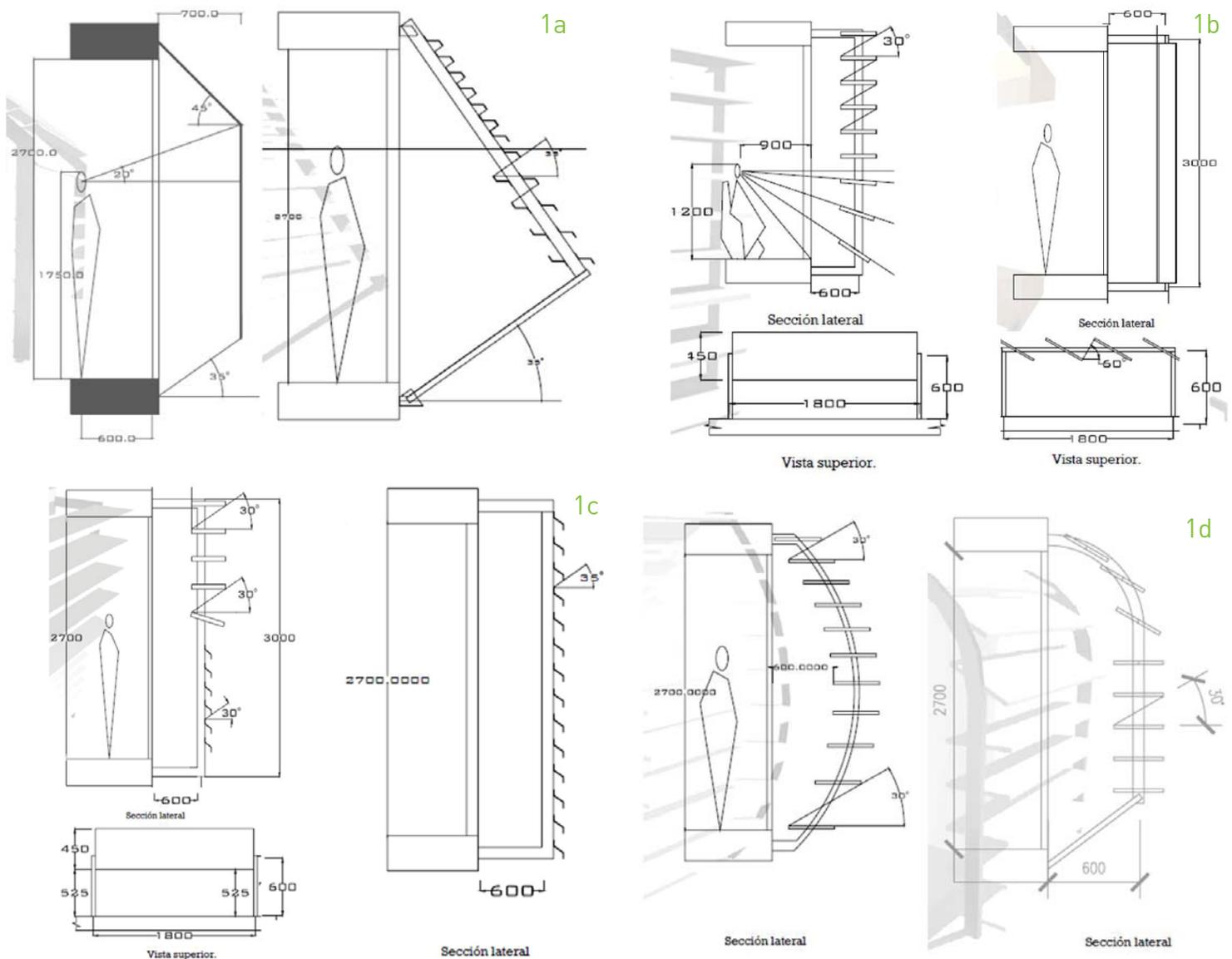


Figura 1a, b, c y d : Diseño geométrico de los elementos de protección solar.

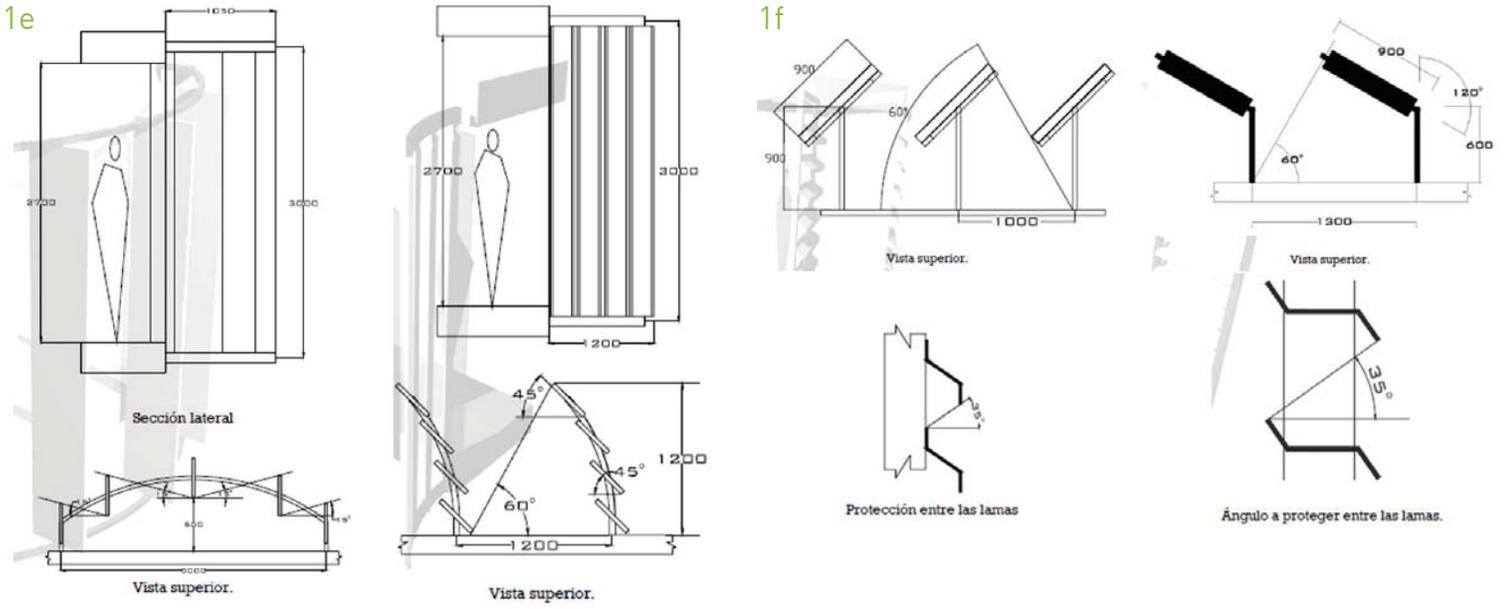


Figura 1e, y f : Diseño geométrico de los elementos de protección solar.

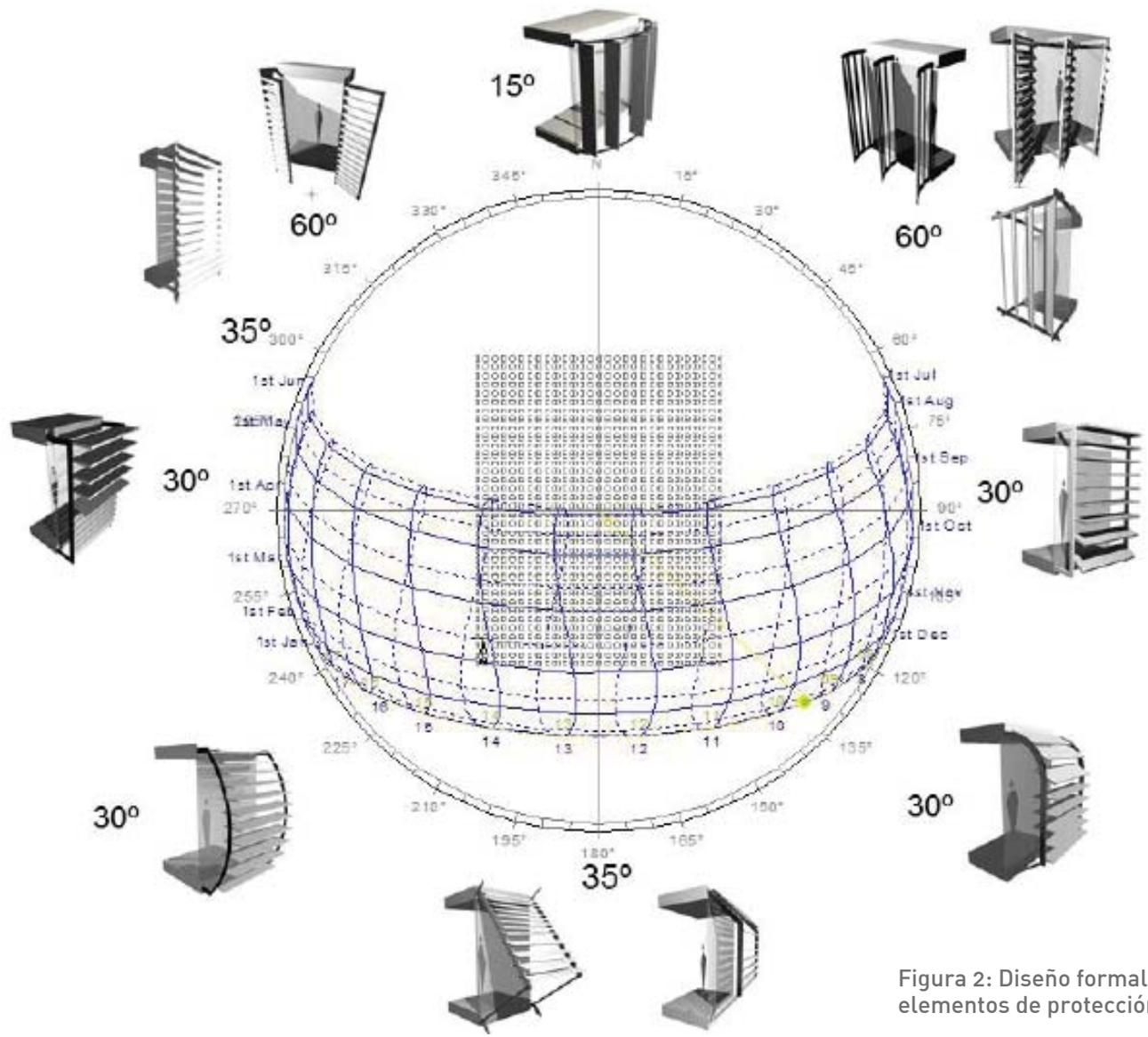


Figura 2: Diseño formal de los elementos de protección solar.

## Comprobación de la influencia de los elementos de protección solar en el ambiente interior

Las propuestas de diseño de los elementos de protección solar elaboradas en función de los ángulos requeridos para cada orientación, fueron sometidas a un proceso de simulación automatizada para verificar su influencia en el ambiente interior, tanto en la reducción de la carga térmica como de los niveles de iluminación natural. (Figura 3)

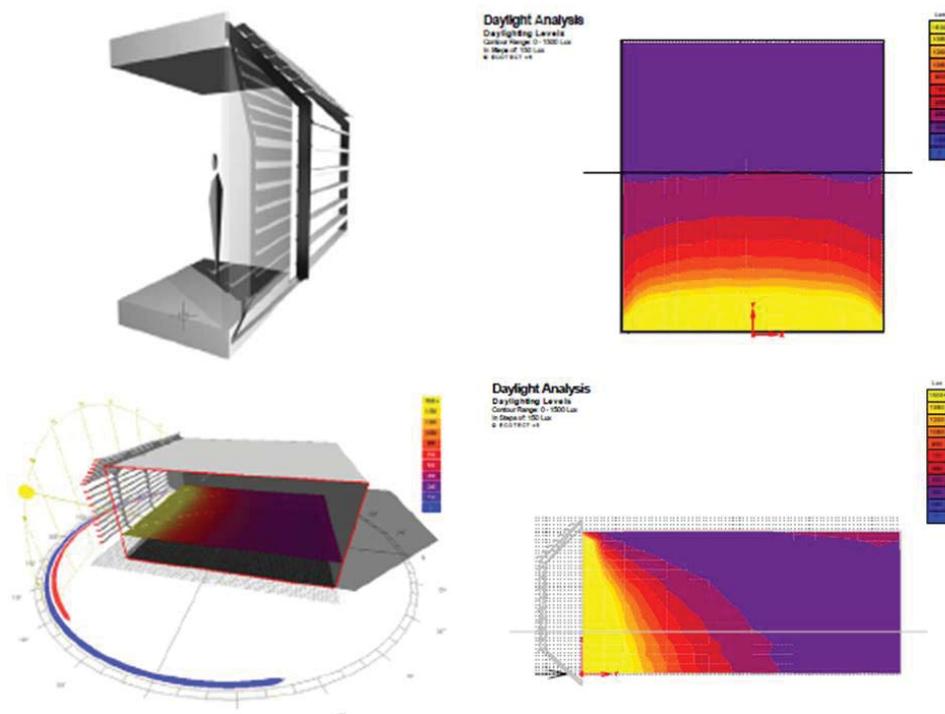


Figura 3: Resultados de la simulación de la iluminación natural con el elemento de protección solar Tipo 1, orientado al sur.

En la tabla 5 se resumen los resultados obtenidos en la simulación con respecto a la reducción de la radiación transmitida por el cierre exterior del espacio como consecuencia de la adición de cada tipo de elemento de protección solar en diferentes orientaciones. También se ha estimado la disminución que esto significa en cuanto a las toneladas de refrigeración del equipo de climatización requerido si se adicionan los elementos de protección solar propuestos, lo cual tiene un impacto económico positivo directo.

Tabla 5: Reducción de la radiación transmitida por el cierre hacia el espacio interior y su implicación en la reducción de las toneladas de refrigeración equivalente del equipo de climatización a emplear.

Elemento de protección	Angulo de protección	Orientación simulada	Reducción de la radiación transmitida por el cierre (W)	Reducción en Toneladas de refrigeración equivalentes
1	35°(H)	Sur	539	0,15
2	30°(H)	Oeste	1046	0,29
3	60°(V)	Noreste	1232	0,35
4	30°(H)	Sureste	6646	1,89
5	35°(H)	Sur	459	0,13
6	35°(H) y 60°(V)	Noreste	403	0,11
7	30°(H)	Noroeste	3916	1,11
8	30°(H)	Suroeste	392	0,09
9	30°(H)	Este	5729	1,73
10	35°(H) y 60°(V)	Noreste	365	0,10
11	15°(V)	Norte	48	0,013
12	15°(V)	Noreste	319	0,09

Como puede apreciarse, en todas las orientaciones se logran impactos favorables con la adición de elementos de protección solar. Los mayores corresponden a aquellos compuestos por elementos horizontales con un ángulo de 30°. Llama la atención que en los espacios orientados hacia el oeste no se obtienen con la protección solar reducciones considerables de la radiación transmitida hacia el interior, como era de esperarse, pero esto se debe a que el horario definido para la simulación fue limitado a las 15:30, momento en el que la radiación incidente en estas orientaciones alcanza sus mayores valores.

También se comprobó el efecto de los elementos de protección solar en la reducción de los niveles de iluminación natural interior, cuyos resultados se resumen en la tabla 6. El comportamiento es muy similar en todos los casos. Los niveles máximos obtenidos en los puntos más cercanos a la ventana es de 1 500 lux, y el nivel mínimo asumido de 300 lux se alcanza a una distancia que oscila entre 3,00 m y 4,00 m con respecto al cierre exterior.

Tabla 6: Distancia con respecto al cierre exterior a la que se obtiene un nivel de iluminación natural de 300 lux en los espacios simulados con la adición de los elementos de protección solar propuestos.

Elemento de protección	Angulo de protección	Orientación simulada	Distancia del cierre exterior (m) a la que el nivel de iluminación natural es 300 lux
1	35°(H)	Sur	3,18
2	30°(H)	Oeste	3,25
3	60°(V)	Noreste	3,00
4	30°(H)	Sureste	3,35
5	35°(H)	Sur	3,27
6	35°(H) y 60°(V)	Noreste	3,58
7	30°(H)	Noroeste	3,32
8	30°(H)	Suroeste	3,36
9	30°(H)	Este	3,20
10	35°(H) y 60°(V)	Noreste	3,43
11	15°(V)	Norte	4,01
12	15°(V)	Noreste	3,29

Para las dimensiones de los espacios asumidos como objeto de estudio con una profundidad de 6 m, esto significa que entre un tercio y la mitad del espacio en la zona más alejada de la ventana, el nivel de iluminación natural no será suficiente, de manera que deberá ser complementado con iluminación artificial.

Con este fin podrá colocarse una hilera de luminarias paralelas a la fachada en el tercio final del espacio hacia el fondo, que pueda ser accionada de forma independiente con respecto a la iluminación artificial a usar en el espacio durante el período nocturno. Esto contribuirá además a mejorar la uniformidad, ya que los valores estimados en todos los espacios resultan inferiores a 0,2, y por tanto, menor que el valor normado de 0,3 [3].

Como era de esperar, de manera general las distancias menores a las que se alcanza el nivel de iluminación mínima de 300 lux se corresponden con el empleo de los elementos de protección de mayores ángulos en su diseño geométrico, que representan por tanto, una mayor obstrucción para la entrada de la luz natural.

### Caso de estudio

Para demostrar las ventajas de la adición de los elementos de protección propuestos en un caso real, se seleccionó el edificio Almendares,

correspondiente a una inmobiliaria de oficinas de CIMEX ubicado en la avenida 31 entre 6 y 8 en el municipio Playa (figura 4). Este es actualmente uno de los edificios de esa institución con mayor consumo de energía por climatización.

Para el experimento se escogió la fachada con mayor incidencia de la radiación solar, que resultó ser la sureste (622 W/m<sup>2</sup>) (tabla 7), según los resultados de la simulación efectuada con el programa Ecotect V5.5 en las cinco fachadas para los meses y días de mayor incidencia solar en cada una, que resultaron ser el 13 de junio para el entorno norte (noroeste, norte y noroeste), el 18 de enero en el entorno sur (sureste, sur y suroeste), y el 30 de abril para las orientaciones este y oeste. En la Tabla 7 se resumen los máximos valores de radiación obtenidos en la simulación para cada fachada.

Tabla 7: Valores máximos de la radiación solar incidente en las fachadas del edificio Almendares, según resultados de la simulación efectuada con Ecotect V5.5.

Orientación	Superficie de la fachada (m <sup>2</sup> )	Máxima radiación unitaria (W/m <sup>2</sup> )	Máxima radiación total (kW)
Noreste	153	513	78,97
Sureste	473	622	294,29
Suroeste	350	589	206,32
Noroeste	517	462	239,29
Este (esquina)	111	576	64,37

Se escogió por tanto, una oficina vinculada a la fachada sureste en una ubicación intermedia, de 4,90 m de frente, 5,40 m de profundidad y un puntal de 2,40 m, cuyas dimensiones y proporciones son similares al resto de las oficinas vinculadas a esa fachada (figura 5), de manera que a partir de los resultados obtenidos en este espacio se pudo estimar la reducción de la carga térmica para toda la fachada, una vez que se adicionen los elementos de protección solar propuestos.

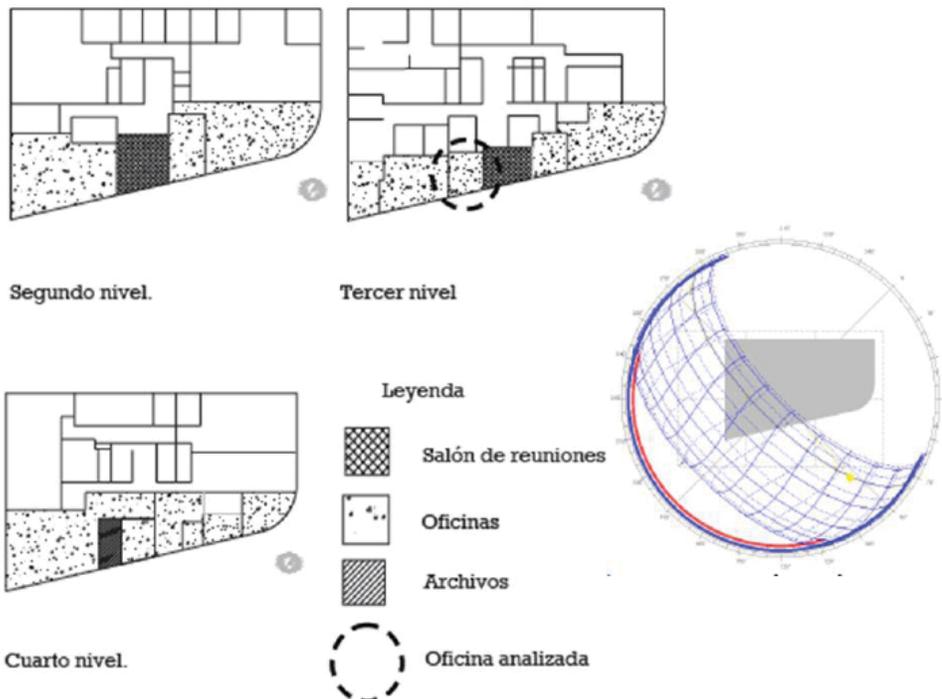


Figura 5: Ubicación de la oficina objeto de estudio en el esquema del edificio en planta.



Figura 4: Caso de estudio: Edificio Almendares.

A partir de aquí se definieron las condiciones geométricas a satisfacer por cualquier elemento de protección solar a emplear en la fachada seleccionada, a partir del ángulo requerido, las dimensiones de las ventanas existentes y su forma de apertura, así como la altura de la fachada (figura 6). Sobre esta base se valoraron posibles dispositivos a emplear de los diseñados el sistema propuesto.

Finalmente se seleccionó un dispositivo compuesto por elementos horizontales múltiples en un ángulo de 300 (figura 7), y se diseñó el sistema de fijación en función del material de la fachada, haciendo coincidir su modulación con la de los paneles del muro cortina. El elemento de protección se sitúa a 70 cm de la fachada para facilitar la apertura de las ventanas.

Empleando el programa Ecotect V5.5 se evaluó el comportamiento de la iluminación natural (niveles de iluminación y uniformidad), y la radiación transmitida con y sin la protección solar, a partir de lo cual, se estimó la carga térmica total para toda la fachada.

Como resultado se obtuvo que el espacio sin protección permite un nivel mínimo de iluminación natural de 600 lux a partir de una profundidad de 3,50 m, con un máximo de 1 500 lux junto a la ventana, para una uniformidad de 0,4. Con la protección solar el nivel mínimo de iluminación natural se reduce a 450 lux a 2,90 m de la fachada, y la uniformidad es de 0,3 (figura 8). Por tanto, en el espacio estudiado, aun empleando los elementos de protección solar, es posible cumplir los niveles mínimos de iluminación natural requeridos y la uniformidad en su distribución.



Figura 6: Ventanas del espacio objeto de estudio.



Figura 7: Elemento de protección solar seleccionado.

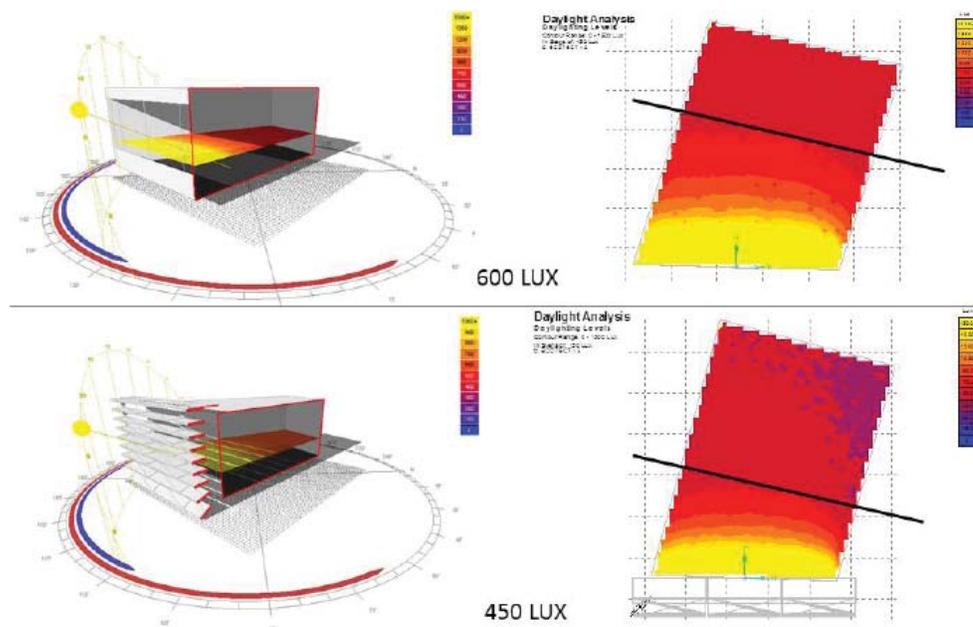


Figura 8: Resultados de la simulación de la iluminación natural en el espacio objeto de estudio.

El comportamiento de la radiación fue simulado para el día más crítico del año en esta orientación (18 de enero), considerando una reflexión de 0,62 y una absorción de 0,44 para el muro de hormigón de color beige. La carga térmica total transmitida al interior del local sin protección fue de 19 543 W, y a las 11:00 am (hora más crítica) alcanzó 4 094 W, lo que equivale a 1,16 t de refrigeración. Con el empleo de la protección solar la radiación total transmitida fue de 1 889 W, y en la hora más crítica, a las 8:00 am, la carga

fue de 664 W. Esto significa una reducción total de 17 654 W y de 3 430 en la hora crítica, lo que equivale a 0,97 t de refrigeración.

El área total de fachada del piso donde se ubica la oficina estudiada es de 76,4 m<sup>2</sup> (6 veces el área del cierre exterior de esa oficina, que equivale a 2 076 m<sup>2</sup>). Para estimar la reducción de la carga térmica en toda la fachada se asumió el valor de la oficina estudiada como representativo de todo el piso, y este valor a su vez, repetido para todo el edificio. Sobre esa base, la reducción total de la carga térmica con el empleo de elementos de protección solar en la fachada sureste del edificio equivale a una disminución de 18,4 t en la demanda de equipos de climatización.

Una valoración económica de estos resultados arroja que el costo de los elementos de protección solar para cubrir toda la fachada, que se ha estimado en 17 280,00 CUC, podría amortizarse en menos de dos años, al reducir en 65 kWh el consumo de energía diario [11].

## Conclusiones

El presente trabajo muestra un sistema de elementos de protección solar de posible producción en Cuba para ser empleado en edificios climatizados, nuevos o existentes, con vistas a mejorar sus condiciones ambientales interiores y reducir su consumo energético.

Como resultado de la simulación de la reducción de la carga térmica y la iluminación interior, se demuestra que permiten reducir la carga de refrigeración de los equipos de climatización a emplear, y que la reducción de la iluminación natural interior puede ser compensada con iluminación artificial en la zona más alejada del cierre exterior.

Su aplicación en un caso de estudio permite demostrar que la inversión necesaria para su adición en la fachada del edificio objeto de estudio puede ser amortizada en menos de dos años.

11. MARTÍNEZ CABRERA, R., "Diseño de elementos de protección solar para reducir el consumo energético por climatización en los edificios". Director: Dania González Couret. Tesis de Diploma. ISPJAE. Facultad de Arquitectura, La Habana, 2008.



*Dania González Couret  
Arquitecta, Doctora en Ciencias,  
Profesora. Titular de la Facultad de  
Arquitectura del ISPJAE. Directora de  
Posgrado del ISPJAE.  
Correo electrónico:  
dania@arquitectura.cujae.edu.cu*

*Rolando Martínez Cabrera  
Arquitecto, Especialista de Proyectos,  
Empresa de Consultoría, Diseño e  
Ingeniería Constructiva ECODIC*