

ESTANTES DE LUZ: VERIFICACIÓN DE ILUMINACION NATURAL, ASOLEAMIENTO Y PROTECCION SOLAR EN MAQUETAS DE ENSAYO

Gabriela A. Casabianca * y John M. Evans +

Centro de Investigación Hábitat y Energía (CIHE), SICyT
Facultad de Arquitectura Diseño y Urbanismo, Universidad de Buenos Aires
CC 1765, Correo Central (1000), Capital Federal, Tel/Fax (011) 4789-6274
Email: gcasab@fadu.uba.ar

RESUMEN: El trabajo de investigación presentado tiene como objetivo desarrollar métodos sencillos que permitan evaluar el funcionamiento de los estantes de luz utilizando maquetas de ensayo, analizando las características de la iluminación natural resultante y su relación con las posibilidades de aprovechamiento y protección solar. Durante el desarrollo del estudio se realizaron maquetas de estudio y se elaboró una guía para realizar los ensayos y verificaciones en el Cielo Artificial y el heliodón del Laboratorio de Estudios Bioambientales. Las siguientes etapas incluyeron la evaluación del comportamiento de estos dispositivos dentro del edificio proyectado y el desarrollo una guía para proyectistas, destinada a facilitar la incorporación de estos dispositivos en el diseño y posibilitar la rápida verificación de su performance mediante maquetas. Las conclusiones muestran la factibilidad de utilizar las maquetas y el trabajo en el laboratorio como una importante herramienta de diseño, tanto del edificio como de dispositivos tecnológicos.

PALABRAS CLAVE: Estantes de luz, iluminación natural, asoleamiento, maquetas.

INTRODUCCION

En los últimos años, se promovieron nuevas técnicas y dispositivos tecnológicos destinados a reducir el consumo energético, optimizando recursos de diseño y desarrollando sistemas pasivos de acondicionamiento. En el campo de la iluminación natural se propusieron mejoras en la calidad, cantidad, distribución y control de la luz resultante a través del diseño y desarrollo de nuevos dispositivos como lumiductos, estantes de luz, vidrios especiales, etc. (1, 2, 3). Estos dispositivos tienen distinta influencia en las características de la iluminación natural resultante, y pueden tener o no también distinto grado de influencia sobre las características del asoleamiento en invierno y la protección solar en épocas cálidas. Además requieren una cuidadosa integración en el proyecto arquitectónico y tienen relación directa con las condiciones de confort, principalmente visual, en los espacios interiores.

Los estantes de luz actúan distribuyendo la iluminación natural a través de reflexiones, aumentando así el nivel de iluminación hacia el interior de los locales. Según su diseño, tienen además influencia sobre las posibilidades y características del asoleamiento invernal, pudiendo proporcionar protección solar para evitar sobrecalentamiento en épocas cálidas. La propuesta de la investigación se centra en el estudio y propuesta de métodos simples que permitan analizar y evaluar esta situación desde la etapa de anteproyecto y sus consecuencias en el comportamiento energético del edificio (4, 5).

El trabajo está incorporado en el proyecto UBACYT AR-025 "Arquitectura energéticamente eficiente: aplicación de nuevas tecnologías de acondicionamiento", dirigido por el Arq. John M. Evans.

OBJETIVOS

Los objetivos del estudio son:

- Evaluar el funcionamiento de los estantes de luz en relación con las características de la iluminación natural resultante, las ganancias solares en invierno, la protección solar en verano y el comportamiento energético general del edificio.
- Estudiar alternativas de diseño y su integración en el proyecto arquitectónico. Se incluye el análisis de alternativas que incorporen complementariamente otros sistemas innovadores con el objetivo de optimizar el funcionamiento de los estantes de luz: vidrios especiales, sist. Prismáticos, espejos o membranas reflectivas especiales, paneles laser (LCP = Laser Cut Panels), etc. Se incluye el ensayo de algunas de esas alternativas en el Laboratorio de Estudios Bioambientales (LEB) del CIHE.
- Elaborar una guía de diseño para proyectistas.
- Desarrollar una guía o método para elaborar maquetas de ensayo que puedan ser probadas en el cielo artificial y el heliodón del LEB.

* JTP CIHE-SICyT- UBA

+ Director Proyecto UBACYT

METODOLOGÍA

La metodología propuesta para el desarrollo del trabajo incluyó, sintéticamente, los siguientes puntos:

- Análisis de las características de los estantes de luz y métodos de ensayo de iluminación natural.
- Elaboración de maquetas y realización de ensayos y/o simulaciones en Heliódón y en el Cielo Artificial del Laboratorio de Estudios Bioambientales del CIHE.
- Desarrollo de mediciones y verificaciones.
- Evaluación general de su comportamiento en relación con las condiciones de confort lumínico y térmico resultantes en los espacios interiores.
- Simulaciones en computadora utilizando diversos programas disponibles en el CIHE.
- Desarrollo de una guía metodológica y/o de diseño para proyectistas.
- Evaluación final y desarrollo de conclusiones

DESARROLLO DEL ESTUDIO

Las tareas desarrolladas abarcaron los siguientes puntos:

1- Relevamiento bibliográfico. La búsqueda de información incluyó otros sistemas innovadores de iluminación natural recientemente desarrollados para estudiar posibles alternativas de combinación con los estantes de luz con el fin de optimizar su funcionamiento.

2- Análisis de ejemplos de edificios que tengan estantes de luz en el diseño de sus aventanamientos con el fin de evaluar los resultados obtenidos, considerando especialmente el funcionamiento del dispositivo en la etapa de uso del edificio. A tal fin se desarrolló una ficha para sintetizar la información sobre los ejemplos analizados.

3- En función a la información obtenida se eligieron las configuraciones básicas que se verificaron mediante maquetas en el Cielo Artificial y el Heliódón del LEB. Para esta elección se consideró principalmente la posibilidad de elegir diseños sencillos, factibles de ser ensayados y construidos en edificios sin mayores complicaciones ni conocimientos técnicos muy específicos por parte del proyectista y el constructor de la obra. A partir de estas variantes básicas se ensayaron otras derivadas de las iniciales.

Con respecto a la información analizada, en la mayor parte de los casos la información es eminentemente técnica y numérica, de difícil comprensión por parte de profesionales no especializados en el tema iluminación natural. La intención de los ensayos en el Cielo Artificial y el heliódón fue producir información con fines didácticos y eminentemente prácticos, fácil de trasladar a la etapa de diseño.

Las variantes ensayadas fueron las más sencillas, ya que el objetivo fue evaluar la respuesta no sólo desde el punto de vista de la iluminación sino también las condiciones de protección y penetración de la radiación solar directa en distintas épocas del año. Las variantes básicas ensayadas son: A Estante horizontal interior – exterior, B Estante horizontal interior-exterior + antepecho reflejante blanco, C Doble estante, exterior –interior, D Estante inclinado, interior-exterior., D.1-Estante inclinado 30° hacia el interior, D.2- Estante inclinado 30° hacia el exterior, E Estante horizontal interior y F Estante horizontal exterior

Estante simple int/ext	Estante + antepecho reflej.	Doble estante
Estante inclinado int/ext	Estante interior	Estante exterior

Tabla 1. Variantes de estantes de luz analizadas.

A partir de estas variantes básicas se ensayaron otras derivadas de estas iniciales. Se analizaron además 3 variantes de terminaciones superficiales: blanca, espejada y en aluminio mate. Como referencia, además, se consideró la situación inicial de la abertura sin estante de luz.

4- Ejecución de las maquetas y ensayos en el Cielo Artificial y el Heliódón. En esta etapa se evaluó el comportamiento de los estantes de luz utilizando maquetas de un local base de referencia, estudiándose en los ensayos los siguientes puntos:

- respuesta del dispositivo respecto a la iluminación natural, medida con luxómetros en el cielo artificial.
- comportamiento del dispositivo con respecto a la protección solar en verano y la ganancia de radiación directa en invierno, verificados en el heliódón del CIHE. Esto permite una primera aproximación al comportamiento respecto a las condiciones de eficiencia energética que surgen de la implementación del dispositivo en un local o edificio.
- Desarrollo de fichas síntesis y tablas comparativas de los resultados obtenidos en los distintos ensayos para facilitar la evaluación y elaboración de conclusiones.

Un estudio adicional que surgió a partir de los ensayos realizados en el Heliódón del LEB fue la posibilidad de analizar las características de los reflejos de luz directa hacia el interior del local que se producen en las distintas épocas del año y horas del día.

Los ensayos se realizaron tomando como base un local de referencia representado mediante una maqueta. En los ensayos se verificaron los siguientes puntos: primero, la respuesta del dispositivo respecto a la iluminación natural, medida con luxómetros en el cielo artificial y validando el modelo bajo condiciones de cielo real y segundo, el comportamiento del dispositivo con respecto a la protección solar en verano y la ganancia de radiación directa en invierno, verificados en el heliódón del CIHE.

La maqueta, a escala 1:10, representa un caso base de espacio arquitectónico de gran profundidad (4m x 7 m), con una ventana de 3m x 2 m en uno de los lados menores. Las reflectancias de las superficies del local son: pared 55 %, piso 30 % y cielorraso 90 % (color blanco). En la planta del modelo se trazó una grilla de medición de 16 x 9 puntos, donde los puntos a medir coincidieron con los marcados en el modelo. Una vez obtenidas las mediciones los resultados se pueden presentar mediante una planta con líneas indicando iguales valores de iluminación (líneas de isolux) e indicando en una sección los valores absolutos (lux) o relativos (FLD, proporcionales a la iluminación exterior, expresados porcentualmente).

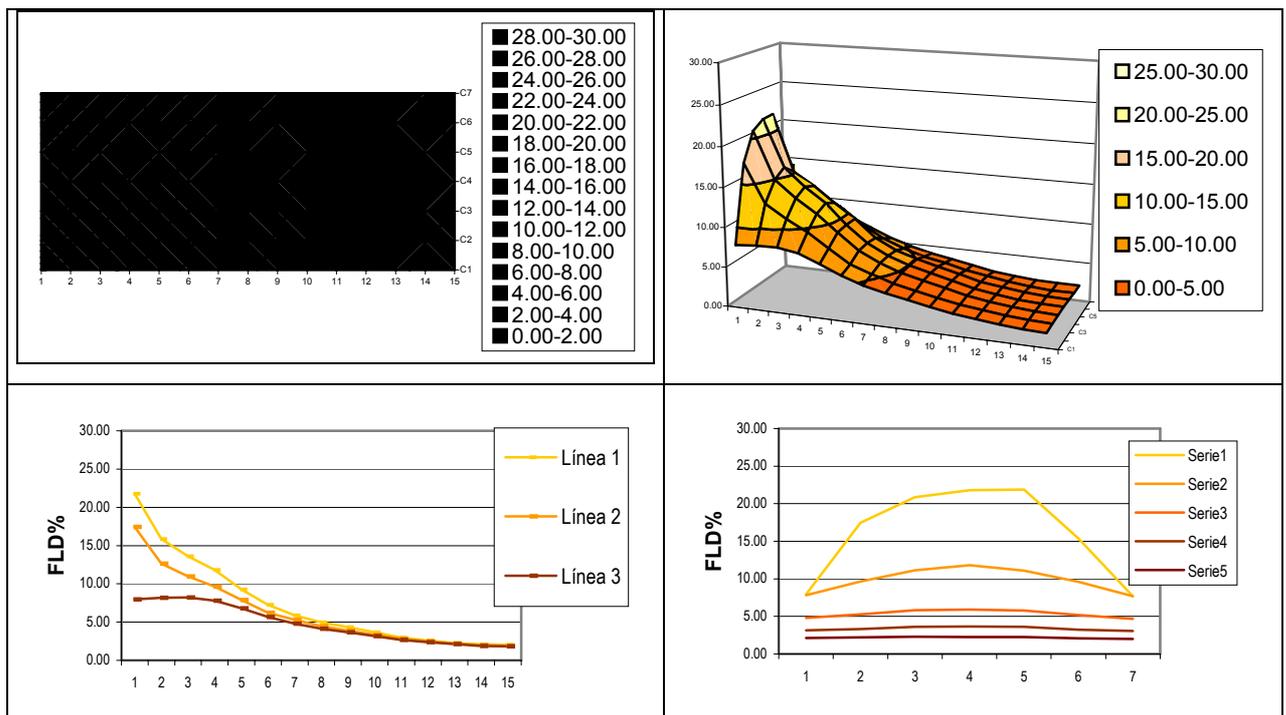


Tabla 2: Gráficos de resultados. Distribución del FLD % caso: Ventana + estante horizontal interior/ exterior blanco – estante $h=2.20$ m (1.30 m del antepecho). Referencias Tabla 2: Gráfico 1: Distribución del FLD % en planta; Gráfico 2: Distribución tridimensional del FLD % desde la ventana hacia el interior del local; Gráfico 3: Distribución del FLD % a lo largo del local (Línea 1, centro de la ventana, L3 lateral y L2 intermedia) y Gráfico 4: Distribución del FLD % en el ancho del local, a distinta distancia respecto a la ventana (Serie 1 junto a la ventana, Serie 5 la más alejada, a intervalos de 3 metros).

Las mediciones se llevaron a cabo utilizando luxímetros calibrados: uno se colocó en el exterior de la maqueta y otro en su interior. Con ambas mediciones se establece el Factor de Luz Diurna (FLD), que indica el porcentaje de la iluminación exterior que llega al interior del local (6). Esto permite comparar niveles de iluminación, homogeneidad y calidad de la iluminación interior. Se calculó también un factor de corrección que contempla las diferencias entre los dos sensores y la

diferencia de altura entre las dos series de datos (las del interior y las del techo de la maqueta). Los sensores utilizados son un Li-Cor LI-250 y un LT-Lutron LX-130. Con los valores resultantes se realizaron gráficos que permiten visualizarlos rápidamente, indican el comportamiento del dispositivo y permiten la comparación entre las distintas configuraciones ensayadas.

Ensayos en el Heliódón

Los ensayos realizados en el simulador del movimiento de sol permitieron estudiar el comportamiento del dispositivo con respecto a la protección solar en verano y la ganancia de radiación directa en invierno. En los ensayos se verificaron las condiciones de incidencia directa de los rayos solares, su penetración en los espacios interiores y las características de la protección solar. En una de las instancias se midió también el nivel de iluminación en relación con la componente directa en distintas orientaciones en invierno, equinoccios y verano.

Las mediciones se realizaron a lo largo de una línea central de la maqueta, correspondiente al centro de la ventana. En este caso, aparecen alteraciones en las líneas curvas correspondientes al FLD % debidas a problemas de incidencia directa de los rayos solares y reflejos sobre el sensor o bien debido a sombras proyectadas por el mismo estante de luz en un determinado sector, en ciertas horas del día. Estas mediciones se complementan con observaciones de la incidencia de los rayos en el interior de la maqueta y el estudio de los reflejos producidos por el dispositivo mismo.

Se analizaron variantes correspondientes a distintas orientaciones y en todos los casos se estudiaron las condiciones en invierno, equinoccios y verano.

Una parte del análisis realizado en el heliódón fue identificar mediante observación directa las zonas del techo que actúan como áreas de reflexión secundarias, reflejando la luz recibida desde el estante de luz. Los resultados se volcaron en tablas que indican para cada configuración las áreas de reflexión en el cielorraso.

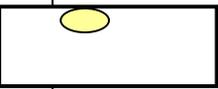
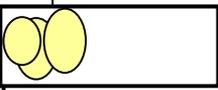
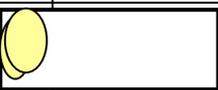
Hora	Invierno	Equinoccios	Verano
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			

Tabla 3: Reflejos sobre el cielorraso. Ventana + estante inclinado 30° hacia el interior. Posición interior/exterior. Orientación NorEste.

Protección solar

La función de los sistemas de protección solar es limitar la ganancia de radiación solar que ingresa en un local o edificio. Esta función es crítica para mantener las condiciones de confort térmico y visual y minimizar o evitar las ganancias de radiación en épocas cálidas. Los estantes de luz, por su geometría y posición semejante a un alero, pueden ser utilizados como dispositivos para proveer protección solar en las áreas próximas a las ventanas.

Los ensayos sobre penetración solar y estudio de reflejos realizados en el heliódón del LEB permitieron visualizar rápidamente, mediante observación directa, la aptitud de los estantes de luz en sus distintas configuraciones con respecto a la protección solar.

El estante de luz cumple con tres importantes requerimientos de un sistema de protección solar: evita o reduce la componente directa de la radiación solar, controla la componente difusa y la reflejada; evita o modifica mediante el redireccionamiento de la luz los reflejos provenientes de fuentes externas y no compromete la iluminación o ventilación naturales. Sin embargo, como otros sistemas de protección dispuestos horizontalmente en o sobre las aberturas, no resulta eficaz respecto a los rayos de bajo ángulo de incidencia. Admite luz directa por la mañana y la tarde, lo que lo hace poco eficaz en orientaciones próximas al Este y al Oeste. En conclusión, presentan un buen grado de aptitud en orientaciones cercanas al Norte, sobre

todo en latitudes medias y el estante o sector exterior es el que presenta una mejor respuesta desde el punto de vista de la protección solar.

FLD % C. Directa - Verano - 12 hs.

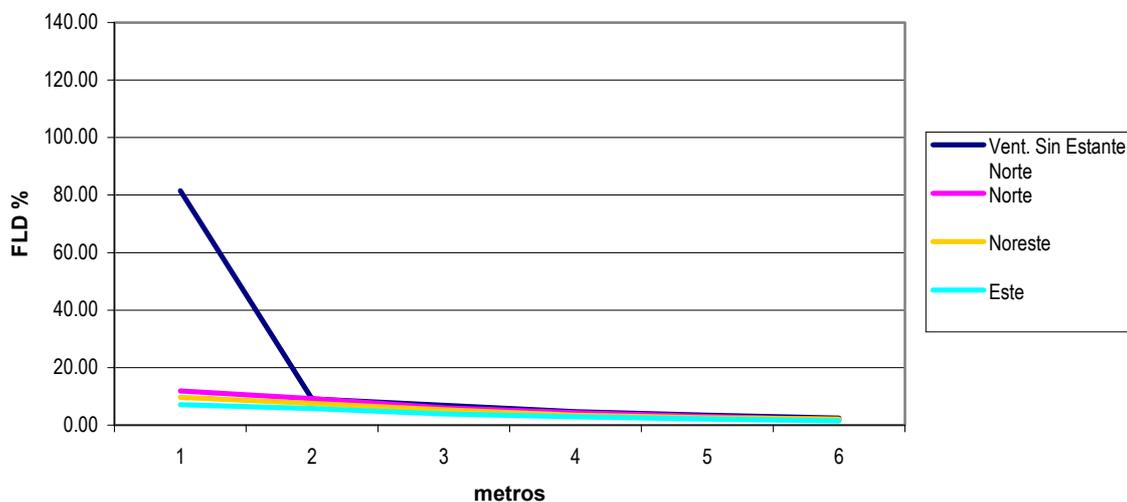


Gráfico 1: FLD % Componente Directa en Verano para una ventana sin estante de luz y con estante, en distintas orientaciones.

Guía para el diseño de estantes de luz

Considerando que el objetivo del diseño del dispositivo es optimizar la iluminación natural disponible con el fin de obtener una sensible mejora en la calidad y cantidad de luz natural dentro de un local o edificio, se desarrolló una breve guía para orientar al proyectista en las distintas etapas de diseño y verificación de los estantes de luz y otros dispositivos para proporcionar iluminación natural. Los puntos que incluye son:

a- Diseño preliminar del dispositivo

El primer paso es el diseño del estante de luz en función a las características del edificio, su localización y entorno, y se indican aquí los parámetros a tener en cuenta en el proceso de su diseño.

b- Decisiones de diseño: proyecto del dispositivo.

En función de los parámetros considerados, se toman las decisiones de diseño y se lleva a cabo un predimensionado del dispositivo. De acuerdo a esos parámetros, ciertas configuraciones resultan más apropiadas que otras según las características de la iluminación resultante y las condiciones de protección solar.

c- Ejecución del modelo a escala

Los modelos a escala son útiles para validar las decisiones de diseño y prever posibles problemas constructivos (7). Se indican aquí los puntos a tener en cuenta para realizar las maquetas de estudio, que permitan además realizar los cambios necesarios y verificarlos rápidamente.

d- Verificación de su comportamiento

Se indican aquí los distintos métodos para verificar y/o evaluar el comportamiento de un sistema para iluminación natural: ensayos, simulaciones, etc.

e- Evaluación

La aptitud final del diseño de dispositivo adoptado debe ser evaluada considerando parámetros que se indican como guía de evaluación. Estos parámetros son confort visual, distribución de la iluminación, iluminancia, luminosidad, aspectos visuales y estéticos, vistas al exterior, problemas de brillo y contrastes, brillo aparente, reflejos molestos, privacidad, confort térmico, aporte de energía por iluminación (% del total), protección solar y ganancia de radiación solar en invierno.

CONCLUSIONES

Con respecto a los ensayos realizados, entre las conclusiones obtenidas se puede mencionar, sintéticamente:

- Ensayos en el cielo artificial: permiten medir la intensidad y analizar la distribución de la iluminación natural en la maqueta. Con respecto a las terminaciones superficiales, el estante espejado permite obtener mejores niveles de iluminación, sobre todo en el tercio del local más próximo a la ventana y las diferencias a lo largo del local son menos pronunciadas. El estante ubicado a mayor altura, dentro de los límites menores de 2.40, presenta una mejor respuesta respecto al nivel de iluminación resultante. La iluminación también mejora sensiblemente al agregar un antepecho reflejante que actúa como un estante adicional.

El estante inclinado al interior resulta mejor que el inclinado al exterior. En el primer caso, el FLD supera al 2 % en el fondo del local, mientras que en el caso correspondiente al inclinado al exterior el FLD es menor al 2 % en el mismo sector. El estante exterior resulta más favorable. En el caso del doble estante, los resultados son semejantes a los obtenidos en el caso de un sólo estante. El FLD es menor del 2 % en una quinta parte del local.

- Ensayos en el heliodón. Uno de los pasos realizados durante el estudio fue medir el nivel de iluminación en relación con la componente directa en distintas orientaciones en invierno, equinoccios y verano. Las mediciones se realizaron a lo largo de una línea central de la maqueta (en correspondencia con el centro de la ventana). En estos ensayos se pudo visualizar la importancia de la componente directa en el nivel de iluminación y los casos de reflejos que deben ser tomados en cuenta en el diseño del estante para evitar focos de brillo o destellos que pudieran causar discomfort visual. Además se pueden visualizar las diferencias en el nivel de iluminación en las distintas orientaciones. En invierno y equinoccios aparecen notables diferencias en las distintas orientaciones debido a la penetración solar y ángulos de incidencia, correspondientes a la menor altitud solar. En verano el estante actúa como sistema de protección solar respecto a los rayos de mayor ángulo de incidencia; la componente difusa de la bóveda celeste es entonces la fuente principal de iluminación natural.

Los ensayos realizados en el Laboratorio de Estudios Bioambientales, tanto en el Cielo Artificial como en el Heliodón posibilitaron:

- medir la intensidad de la iluminación, analizar su distribución y condiciones de incidencia de la radiación solar utilizando maquetas de estudio con relativamente pocos requerimientos en cuanto a sus características de realización.
- facilitar la comprensión del funcionamiento del dispositivo en sí mismo y la influencia de las distintas variantes en las características de la iluminación natural del espacio analizado.
- analizar las condiciones de reflexión sobre el cielorraso, uno de los principales componentes del dispositivo. Esto permite estudiar y optimizar su función desde la etapa de diseño, ya que se pueden introducir variantes de inclinación, terminación superficial, etc. y verificar su aptitud durante el proceso de diseño.

En otros países se han realizado innumerables ensayos de estantes de luz destinados a optimizar el desarrollo tecnológico del dispositivo en sí mismo y su respuesta a fuertes condicionantes de reducción del consumo energético, que implica menores gastos de funcionamiento de edificios (8). En la mayoría de las investigaciones desarrolladas se da vital importancia a la reducción de costos y la sostenibilidad del edificio a largo plazo.

El enfoque desarrollado en este trabajo tiende a la aplicación más didáctica de comprensión del funcionamiento del dispositivo con el fin de optimizar su aptitud valiéndose del diseño mismo más que de la incorporación de elementos de alta tecnología, poco factibles de implementar en el contexto económico actual de nuestro país.

El desarrollo del trabajo demuestra además la factibilidad de utilizar las maquetas y el trabajo en el laboratorio como una importante herramienta de apoyo en el proceso de diseño, no sólo desde el punto de vista del objeto arquitectónico sino en el desarrollo de dispositivos de características más tecnológicas.

REFERENCIAS

- 1 - Littlefair, P. (1996) Design with innovative daylighting. Building Research Establishment Report. Garston, Watford. Construction Research Communications Ltd., London, G. B.
- 2 - O'Connor J., Lee E., Rubinstein F., Selkowitz S. (1997) Tips for daylighting with windows. The integrated approach LBNL - 399445 Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, University of California, Berkeley, CA, USA.
- 3 - Baker N., Fanchiotti A., Steemers K., Ed. (1993) Daylighting in architecture. A european reference book_ Commision of the European Communities. Directorate General XII for Science Research and Development. James & James (Science Publishers) Ltd. Londres, Gran Bretaña.
- 4 - Fontoyonnt M., Ed. (1999) Daylight performance of buildings._James & James / European Commision Directorate General XII for Science. Research and Development
- 5 - Rennie D. y Parand F. (1998) Environmental Design Guide for naturally ventilated and daylit offices. BRE- Building Research Establishment, Watford, G.B.
- 6 - Evans, J. M. et al (1998). *Iluminación en maquetas y espacios con iluminación natural*. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol. 2, N° 2, 5.37-5.40.
- 7 - Pattini A., (2000). *Evaluación de la iluminación natural en edificios. Modelos a escala*. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol. 4, N° 1, 5.19-5.24.
- 8 -Beltrán L., Lee E., Selkowitz S. (1996) *Advanced Optical Daylighting Systems: light shelves and light pipes*. Proceedings of the 1996 IESNA Annual Conference, Cleveland OH, USA.

ABSTRACT: The objective of the study is to develop simply methods to evaluate the performance of light shelves using models of different designs in the Artificial Sky and the Heliodon of the Laboratory of Bioclimatic Studies. The variables considered are basically the characteristics of natural lighting and its relation with solar gains in winter and solar protection in summer. The next stages includes the evaluation of the general energy efficiency of the system considering the energy behavior of the building. Finally, was developed a design guide that can be used to incorporate this innovative systems in the design process and to verify its performance using scale models in the Laboratory. The results shows that the Laboratory can be used successfully in the design process.

Keywords: light shelves, natural lighting, scale models.