



XIENCAC
ENCUENTRO NACIONAL DE CONFORTO
NO AMBIENTE CONSTRUIDO

VIIELACAC
ENCUENTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO
NO AMBIENTE CONSTRUIDO

Búzios - RJ - 2011

ANÁLISIS DE ELEMENTOS PARA OPTIMIZAR LA COLECCIÓN PASIVA DE LUZ NATURAL EN BARRAS DE ILUMINACIÓN SOLAR

Dr. Leandro Ferrón (1) , Dra. Andrea Pattini (2), Dr. M. Ángel Lara(3)

(1, 2) Instituto de Ciencias Humanas Sociales y Ambientales (INCIHUSA).

Unidad: Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda CONICET. C.P. 5500 – Mendoza.

Tel. 0261-4288797 – Fax 0261-4287370 e-mail: lferron@lab.cricyt.edu.ar

(3) IFIR-CONICET-UNR. 27 de febrero 210 bis 2000, Rosario.

RESUMEN:

Para dar respuesta a los requerimientos de ahorro y confort lumínico en recintos sin acceso a la luz solar directa a través de ventanas, es posible instalar Barras de Iluminación Solar. Sin embargo, para estos sistemas no se ha investigado aún cuales de las diferentes tipologías de elementos de colección existentes resultan más eficientes para la colección pasiva de luz solar. Se ensayaron dispositivos anexados a la zona de colección, para determinar la cantidad de luz factible de ser ingresada a un espacio interior situado bajo cielos despejados. Como resultado, se obtuvieron incrementos de rendimiento en diferentes franjas horarias de acuerdo al dispositivo ensayado.

Palabras Clave: sistemas de iluminación natural, colección, rendimiento lumínico.

ABSTRACT:

In order to satisfy the requirements of energy-saving and lighting comfort at places with no access to direct daylight through windows, it is possible to set up daylighting rods. Nevertheless, there is no investigation yet on which of the existing type of collection elements fits most efficiently these systems of passive daylight collection. A series of devices attached to the collection area were tested in order to determine the amount of light feasibly getting into an interior space located under clear skies. As a result of this, an increase of performance could be observed at certain time slots, according to the respective device.

Keywords: Daylighting rod system; Passive collection, Optical Devices

1. INTRODUCCIÓN:

La crisis ambiental a la que se enfrenta nuestro planeta ha generado un excepcional interés por el uso racional de las energías no renovables y una mayor difusión y aprovechamiento de las energías renovables. Actualmente, organismos internacionales como la ONU han establecido como prioridad la disminución del consumo de combustibles fósiles y la reducción de emisiones de gases asociados al efecto invernadero, ambas, acciones vitales para combatir el calentamiento global (ONU, 2006). Estos objetivos pueden ser logrados, en parte, mediante la utilización de la luz natural para la iluminación de espacios interiores. Durante las horas diurnas podría minimizarse y en algunos casos hasta prescindirse de la energía consumida por la luz artificial, calculándose gracias a esto un potencial de ahorro del 50% del consumo eléctrico (Efficient Lighting Initiative - ELI). Por otra parte, los usuarios de espacios de trabajo como fábricas u oficinas han mostrado una marcada preferencia por interiores iluminados por luz natural (Farley y Veithc, 2001).

Para dar respuesta a estos requerimientos de ahorro y confort lumínico en recintos sin acceso a la luz solar directa a través de ventanas, es válido proponer la instalación de Sistemas Tubulares

de Transporte de Luz. Dentro de ésta categoría de Sistemas de Iluminación Natural (Kischkoweit-Lopin, 2002) podemos encontrar las Barras de Iluminación Solar, cuyo estudio es de especial interés por ser consideradas por sus características de relación de aspecto y su alto rendimiento lumínico como un híbrido entre la versatilidad de instalación de los sistemas de Fibras Ópticas y el rendimiento lumínico de los Lumiductos Especulares (Callow, 2003)

Los Sistemas Tubulares de Transporte de Luz están compuestos generalmente por tres elementos diferenciados según su función: un colector, un transmisor y un emisor de luz. Entre los elementos de colección más utilizados se pueden encontrar concentradores parabólicos (Aizenberg, 1997), lentes de Fresnel (BominSolar, 2002), sistemas de redirección mediante espejos planos giratorios (Kuzelka, 1998), helióstatos (Pohl, 2000), o simplemente cúpulas protectoras transparentes (Solatube, 1991). Frecuentemente, cada uno de estos elementos puede estar, además, conectado a un sistema que permite automatizar el movimiento de la superficie de captación (mediante mecanismos electromecánicos controlados por software), a fin de acompañar la trayectoria del sol y optimizar de esta manera la potencia de la luz colectada durante el transcurso del día (Himawary, 1996). Para el caso particular de las Barras de iluminación Solar, sin embargo, no se ha investigado aún cuales de las diferentes tipologías de elementos de colección existentes resultan más eficientes para la colección pasiva de luz solar.

Como consecuencia de esto, encontramos que una de las principales barreras para difundir el uso de los sistemas de iluminación natural es la falta de datos fotométricos de los mismos, situación que dificulta la predicción de su rendimiento lumínico, al tiempo que genera incertidumbre e imprecisiones en el momento de proyectar la instalación de este tipo de tecnologías (Ferrón, 2005).

Tomando en consideración las capacidades tecnológicas endógenas para la fabricación de dispositivos de control de la iluminación natural (Ferrón, 2010), se determinó que la producción de elementos de colección automatizados no está al alcance de las posibilidades de la industria regional, tanto por el costo de fabricación de sus mecanismos, como por la programación y posterior mantenimiento del software de control necesario para su funcionamiento.

2. OBJETIVO

El objetivo del presente trabajo fue el de explorar las posibilidades de optimización de la captación pasiva de luz solar para barras de iluminación solar. Esto se realizó por medio del ensayo de distintos dispositivos anexados a la zona de colección, para determinar mediante experimentos la cantidad de luz factible de ser ingresada por cada uno de ellos a un espacio interior, situado bajo cielos despejados (CIE, 2003).

3. ENSAYOS SOBRE LA ZONA DE COLECCIÓN

Sobre el total de la longitud de una BIS de 1200mm por 25mm de diámetro, se definió la zona de colección como la porción de material PMMA ubicado por sobre la estructura de techo del recinto a iluminar, concretamente, la zona expuesta a la radiación directa y difusa de la bóveda (Figura 1)



Figura 1 - Zona expuesta a la radiación directa y difusa de la bóveda, distintas longitudes.

Las variantes que se analizaron fueron:

- La longitud de la zona de colección expuesta a la radiación directa,
- La utilización de ser recubrimientos aluminizados,
- La aplicación de lentes de Fresnel,
- La utilización de concentradores doble parabólicos -CPC, por sus siglas en ingles-,

En todos los casos se estudió el flujo lumínico (Lm) emitido desde la sección del área de la barra que definía la transición entre el espacio exterior y el espacio interior, ya que éste área sería entonces la superficie máxima de paso de luz desde la zona de colección hacia la zona de transporte de la barra, independientemente de las modificaciones que se propusieran sobre la zona exterior expuesta a la bóveda.

Se utilizó un dispositivo de medición basado en el diseño de un Goniómetro Bidireccional, consistente en un recinto de 600mm x 600mm x 600mm, cuyas superficies interiores se pintaron de color negro mate y dotado de una abertura cenital para la instalación de las diferentes barras a ensayar. Las dimensiones del recinto fueron proyectadas tomando en consideración el criterio del quintuplo de la distancia respecto del tamaño de la zona de emisión de las BIS, a fin de considerar está última como una fuente puntual (figura 2).

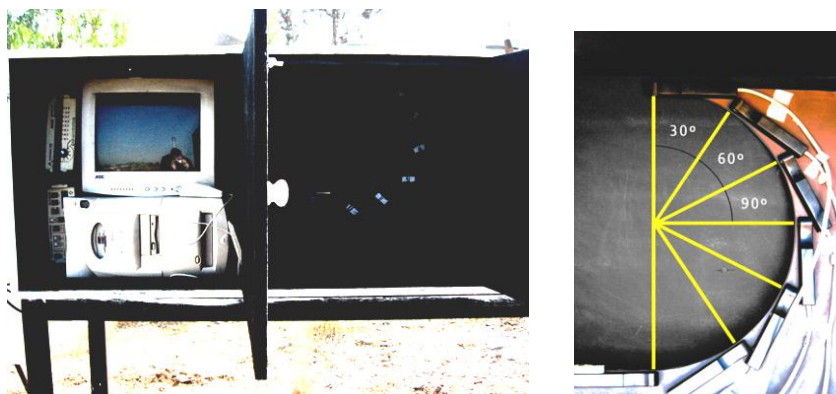


Figura 2 - Goniómetro Bidireccional. Equipo de adquisición de datos y arreglo de sensores.

Se realizaron mediciones de la cantidad de flujo lumínico que podía ingresar al recinto de medición a través del área de entrada, sin la intermediación de ninguna barra. Estos datos fueron tomados como parámetro de referencia (Llamados “hueco patrón”).

3.1 Longitud de la zona de colección

La primera variable estudiada fue la longitud de la zona de colección. A partir de la premisa de que una mayor superficie de colección expuesta a los rayos solares redundaría en un mayor rendimiento lumínico del sistema, uno de los supuestos sobre los que se trabajó postulaba que una mayor superficie longitudinal de la sección cilíndrica debía repercutir en un mayor nivel de colección que una superficie longitudinal más pequeña. Para comprobar esto se midió en primer lugar el flujo lumínico aportado por el hueco patrón. Seguidamente, se fabricaron para su análisis secciones de diferentes longitudes de barra, que se utilizarían como zonas de colección de luz solar. Estas eran cilindros de material PMMA cuyos extremos se encontraban sesgados de forma perpendicular al largo, ambos con acabado superficial pulido especular.

De esta manera, durante los meses de Junio y Noviembre fueron medidas cada 5 minutos, por periodos de 48 horas, barras de 25mm, 100mm, 200mm, 400mm, 600mm y 1200mm de longitud (Figura 3). En todos los casos hubo presencia de cielo despejado.



Figura 3 - Longitudes de las zonas de colección ensayadas

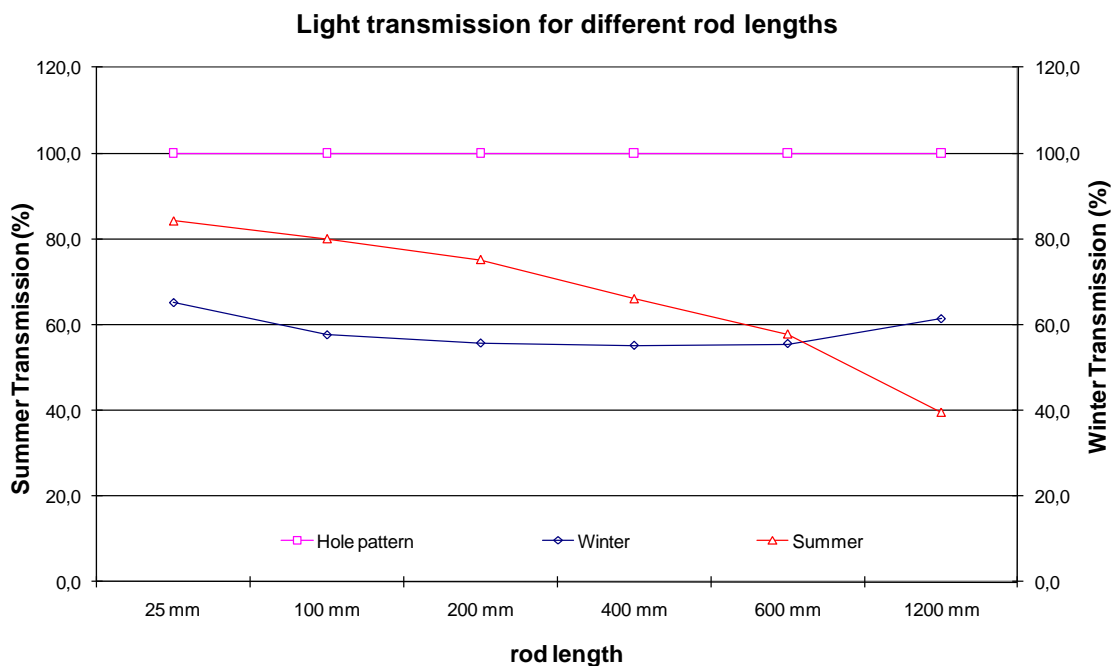


Gráfico 1: Rendimiento lumínico durante las estaciones de invierno (blue) y verano (red)

El gráfico 1 muestra el rendimiento lumínico de cada uno de los colectores analizados tomando como valor el promedio de los registros de la hora 13:30, coincidente con el mediodía solar. Los porcentajes de eficiencia en la colección para longitudes de 25mm y 1200mm fueron desde el 82% hasta el 64% respectivamente en la estación de verano, hasta el 40% y el 61% para las mismas longitudes en el invierno. Estos resultados demostraron que el incremento en la longitud de la zona de colección afecta de manera negativa el rendimiento de los sistemas.

3.2 Recubrimiento aluminizado

Sobre una zona de colección de 200mm de longitud se acopló una cubierta de film plástico aluminizado marca 3M, tipo VM2002 (www.3m.com), con un porcentaje de reflexión de 0,95%. Para evitar interferencias con las propiedades ópticas del material acrílico, se sostuvo la película de aluminio por medio de bandas elásticas sobre la zona superior e inferior de la zona de colección, sin uso de adhesivos (Figura 4).

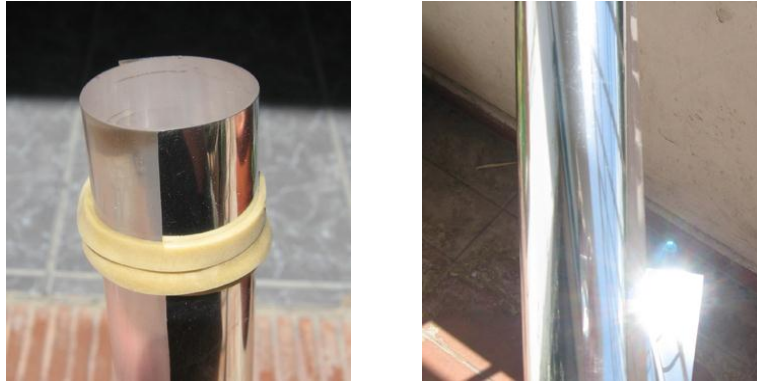


Figura 4 - Film aluminizado: sujeción con banda elástica e imagen del material en rollo

Una vez sujetado el film, se realizó una medición en dos etapas: una primera etapa durante 2 horas, con registros cada 5 minutos, sobre una zona de colección sin cubierta aluminizada, entre las 11:30am y 13:30pm y, a continuación, una segunda etapa durante un periodo similar sobre la barra con el film adosado (desde las 13:30pm hasta las 15:39pm) Las condiciones de cielo eran claras, y la iluminancia exterior de 42.500 lux.

Los resultados obtenidos mostraron un aumento de la luz colectada, medido en flujo, de aproximadamente un 4% para la zona de colección con la cubierta de aluminio respecto de la zona de colección descubierta (Gráfico 1)

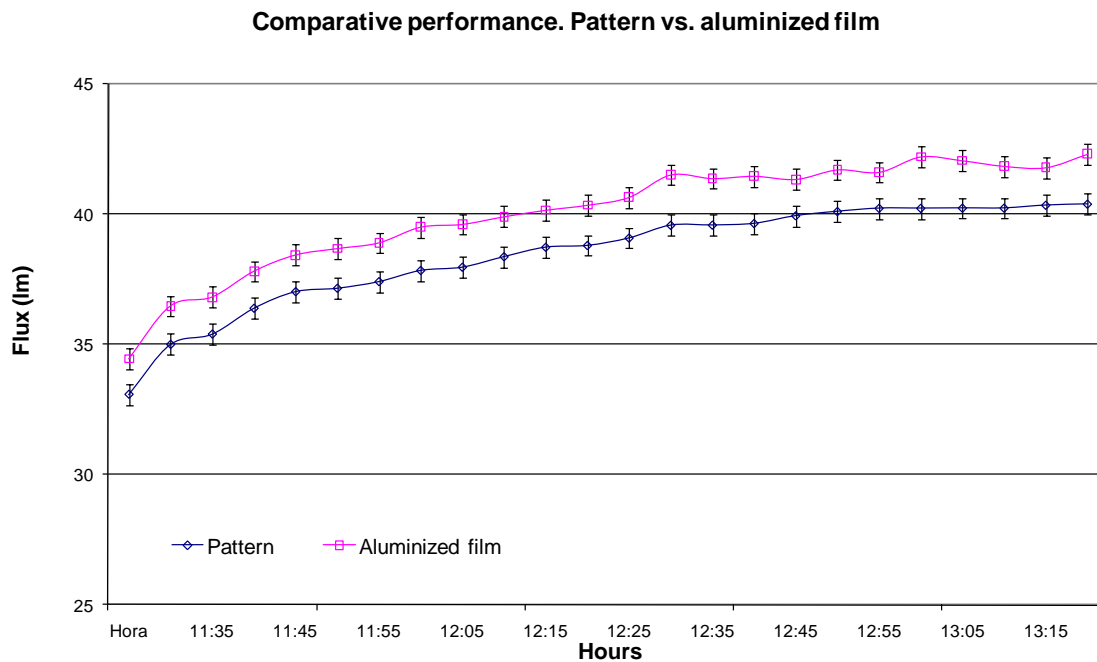


Gráfico 1 - Valores registrados mediante la aplicación de la cubierta 3M

La experiencia con cubiertas aluminizadas fue repetida bajo condiciones de cielo cubierto, obteniendo menores rendimientos que bajo cielo claro, cercanos al 2%.

3.3 Concentrador doble parabólico

La siguiente experiencia proyectada fue la implementación de un concentrador doble parabólico -Compound Parabolic Concentrador, CPC- sobre el total de la longitud de la zona de colección de las BIS. Este tipo de concentradores solares es utilizado casi con exclusividad en aplicaciones térmicas, que requieran mayor eficiencia o temperaturas más elevadas que las alcanzadas por los colectores planos. Sin embargo, fundamentándonos por una parte, en la cualidad de los CPCs de poder aproximarse a la relación de concentración geométrica ideal,

expresada en la Ecuación 1, y por otra, en la posibilidad de definir un ángulo de aceptación de gran amplitud, se decidió llevar adelante el ensayo con el objetivo de potenciar la capacidad de colección lumínica de las barras.

$$CR_{ideal} = 1 / \text{sen}\theta$$

Ecuación

1

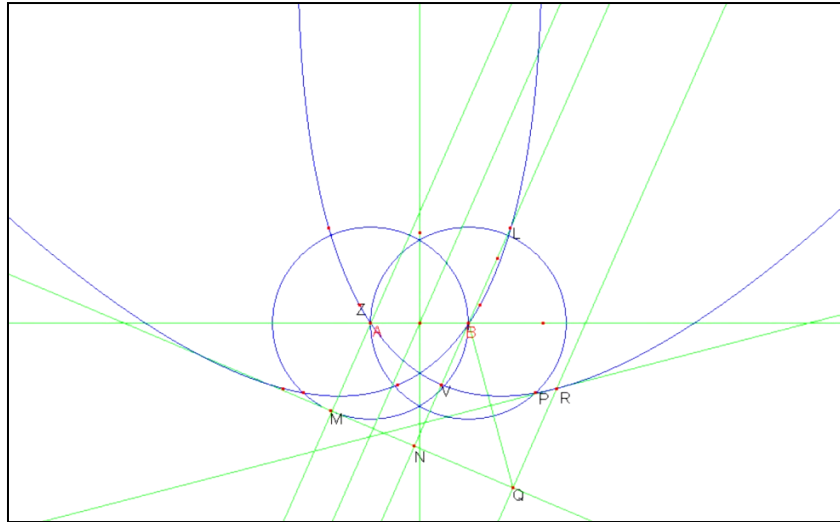


Figura 5 - Calculo geométrico para la construcción del concentrador CPC

Para el diseño del concentrador CPC se utilizó el programa CabriIIPlus (Saravia, 2004). Sobre una zona de colección de 200mm se montó de forma longitudinal un CPC proyectado con un ángulo de aceptación de 45° (Figura 5).

Se estimó que, orientando el colector hacia el ecuador durante el mediodía solar, éste debía actuar incrementando la colección de luz durante un periodo aproximado de 3 horas. De esta forma, se compararon los aportes lumínicos de la barra, con y sin CPC anexado, observándose un aumento de un 8% en la intensidad lumínica para el periodo registrado (Grafico 2)

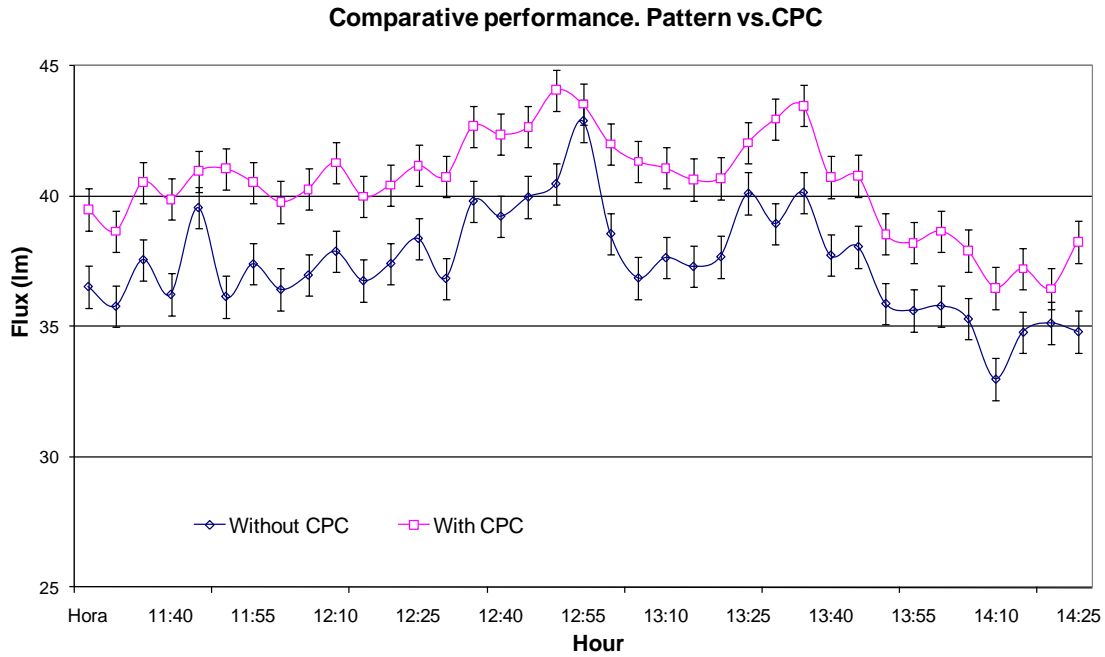


Gráfico 2 - Rendimiento lumínico tras la aplicación del CPC

Ensayos realizados con posterioridad permitieron comprobar el rendimiento de CPCs diseñados con ángulos de 50°, 55° y 60°, verificándose para cada uno de ellos un aumento porcentual de flujo transmitido similar al obtenido con el colector de 45°.

Seguidamente, se instalaron los sistemas CPCs de modo que maximizaran la capacidad de colección de las barras durante las horas en las que el sol no hubiera alcanzado los 45° de elevación, altura necesaria para que se produzca el fenómeno de reflexión total interna.



Figura 6 - Distinta orientaciones del CPC. Izquierda, hacia el ecuador; derecha, este-oeste

La configuración diseñada preveía una división virtual de la longitud de la barra en dos secciones de igual tamaño, sobre la que se montó dos dispositivos CPC, orientados uno hacia el Este y el otro hacia el Oeste, coincidiendo los límites externos uno con los 90° respecto del eje Norte de la barra. El objetivo de esta diagramación fue potenciar la colección de luz hacia el este y el oeste mediante la acción de los CPCs, dejando como zona de colección efectiva durante las horas cercanas al mediodía la sección circular plana del extremo superior (Figura 6) Se realizó una medición continua durante 24 horas, con registros cada 5 minutos en condiciones de cielo claro. Como resultado, se observó un aumento en la colección de luz durante las horas del amanecer y el ocaso, del orden de hasta un 80% en algunos casos puntuales. También disminuyó la dispersión de los valores de iluminancia diarios (Gráfico 3).

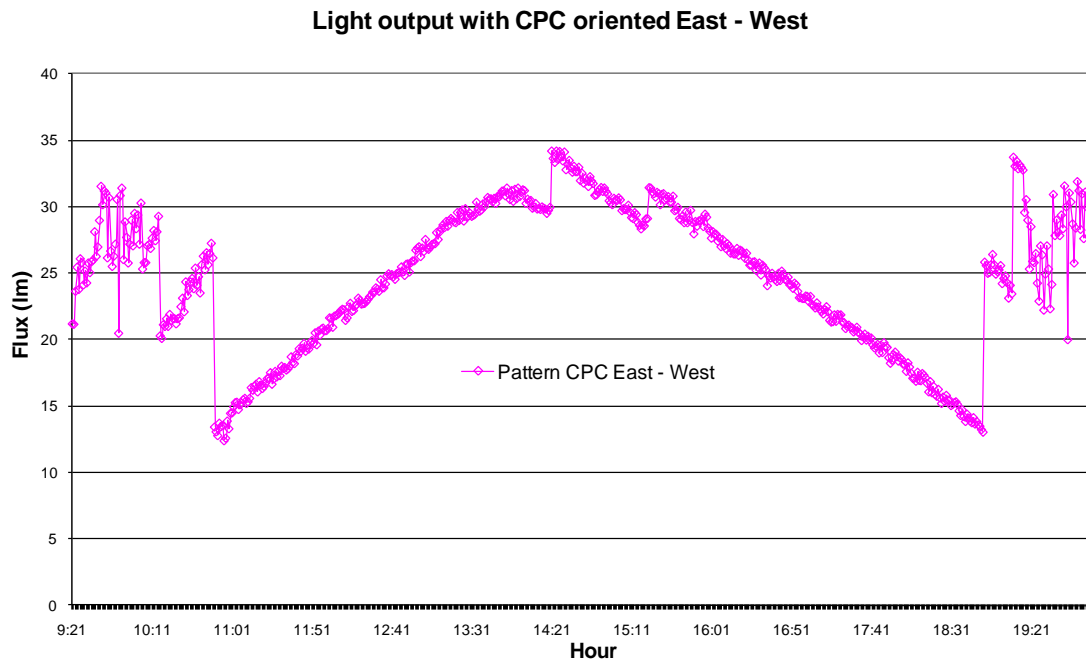


Gráfico 3 - Rendimiento lumínico obtenido mediante la aplicación de CPC's con orientación Este-Oeste

3.4 Lente de Fresnel

Se verificó la posibilidad de aumentar el rendimiento lumínico a través del uso de lentes de aumento planas. La lente utilizada durante los ensayos fue una lente de Fresnel flexible, fabricada en material plástico polipropileno (Pp) y producida en la Argentina (Figura 7). Las mediciones fueron realizadas bajo cielo despejado, durante un periodo de 24 horas con registros cada 5 minutos. Se evaluaron comparativamente: una zona de colección de 200mm con una lente de Fresnel anexada sobre el extremo de colección del material PMMA y una barra de 200mm sin ningún tipo de accesorio.



Figura 7 - Lente de Fresnel flexible. Izquierda, visualización del foco; derecha, aplicación sobre la zona de colección

El gráfico 4 muestra los resultados lumínicos para el día 23 de Abril.

Comparative performance. Pattern vs. Fresnel

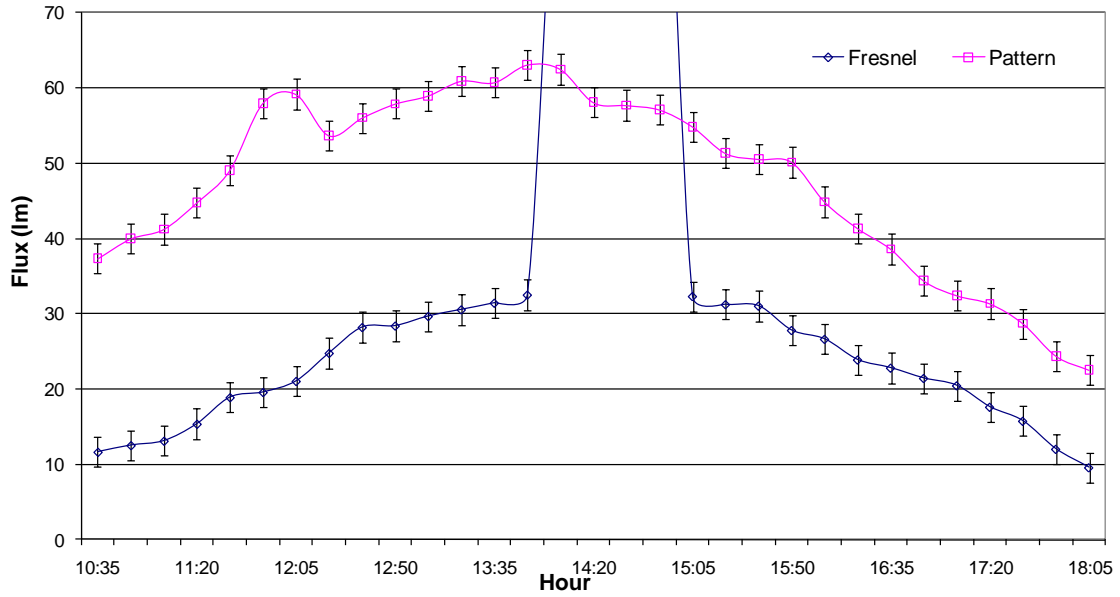


Gráfico 4 - Curvas de rendimiento con y sin lente de Fresnel. Detalle

La utilización de la lente de Fresnel produjo un incremento de la luz colectada en una estrecha banda horaria del día, coincidente en todos los casos con las horas de mayor altura solar. Visualmente se pudo comprobar que el aumento registrado podía asociarse con el momento en que el foco generado por la lente coincidía con la zona cercana a la interfaz entre el material acrílico y el aire, es decir, cuando los haces se concentraban sobre el límite interior del perímetro de la barra (Figura 8).



Figura 8 - Foco de la lente de Fresnel. Izquierda, foco contenido en la barra; derecha foco fuera del diámetro de la barra

En la franja horaria central, la lente generó un incremento lumínico de un 300% aproximadamente. Sin embargo, su aplicación resultó negativa en cuanto al promedio diario de rendimiento alcanzado por las BIS, ya que los valores de iluminancia correspondientes al resto de las horas diurnas se mostraron aproximadamente un 50% más bajos que los registrados por la zona de colección patrón.

4. CONCLUSIONES

Los experimentos realizados mostraron que, para la colección pasiva de luz natural, es posible modificar las características de rendimiento de barras de iluminación solar mediante la aplicación de elementos ópticos anexos sobre la zona de colección de luz de los sistemas.

En primer lugar se pudo observar que el simple aumento de la superficie vertical de colección genera efectos adversos en el rendimiento lumínico colectado. Las pérdidas de luz ocasionadas por las características ópticas del material son superiores al aprovechamiento de la luz que incide sobre las superficies verticales de la barra, este hecho, asociado directamente al principio de reflexión total interna y al ángulo de aceptación del sistema. Como consecuencia, es necesario contemplar que el diseño de una barra de iluminación solar, que no posea elementos anexos sobre su zona de colección, debe ajustar de la forma más precisa posible su longitud total a la longitud del espacio de instalación.

Seguidamente se comprobó que la utilización de dispositivos ópticos anexados resultó en todos los casos en un incremento de la eficiencia lumínica del sistema. Sin embargo, las curvas diarias de comportamiento de cada elemento fueron distintas, en función de características inherentes de cada sistema ópticas. De esta manera, se registraron valores en los que se vio un incremento de la colección durante las horas centrales del día con un elemento anexo, en tanto que al modificar ese elemento, la colección se incrementó en las horas del amanecer y el crepúsculo. Este hecho evidencia la necesidad de elaborar un análisis del factor de uso de los locales a iluminar, previo a la aplicación de cualquier dispositivo que aumente la capacidad pasiva de colección de luz de las barras de iluminación solar.

Finalmente, se espera continuar con los trabajos de investigación relacionados a la capacidad de colección pasiva de luz de las barras de iluminación solar, mediante la realización de ensayos aplicados directamente sobre la morfología del material acrílico, esperando encontrar una relación favorable entre el modelado del plástico y la modificación del rendimiento lumínico de los sistemas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AIZENBERG J.B. (1997) *Principal New Hollow Light Guide system "Heliobus" for Daylighting and Artificial Lighting of Central Zones of Multi Storey Buildings*, The Right Light 4, Conference, Vol.2
- ASAMBLEA GENERAL DE LAS NACIONES UNIDAS (2006) declaración del Año Internacional de la Diversidad Biológica, Guía de actuación: Catálogo de buenas prácticas ciudadanas para con la diversidad biológica, 61ª sesión, Resolución 61/203
- BSR, BOMIN SOLAR TECHNOLOGIES GMBH (2002), *SOLUX*, development by Colman-Freyberger, Lorrach, Germany
- CALLOW J M AND SHAO L (2003) Air-clad optical rod daylighting system, *Lighting Research and Technology*, 35-1
- CIE (2003) Spatial Distribution of Daylight, CIE Standard General Sky, ISO 15469:2004 (E) / CIE S 011/E:2003
- EFFICIENT LIGHTING INITIATIVE – ELI, <http://www.efficientlighting.net>, info@efficientlighting.net
- FARLEY, K. Y VEITHC, J.A (2001). A Room with a View: A Review of the Effects of Windows on Work and Well-Being. IRC-RR-136. NRC
- FERRÓN, L.; PATTINI, A. Y LARA, M.A., (2005) Disponibilidad comercial de sistemas de transporte de luz natural, *Revista AVERMA*, ISSN 0329-5184, Vol. 9, Nº 3
- FERRÓN, L. (2010) Barras de Iluminación Solar. Aplicabilidad y rendimiento en entornos urbanos, Tesis realizada para acceder al grado de doctor en medio ambiente visual e iluminación eficiente, U.N Tucumán, resolución Nº 245/08, expediente 61226/06 – Categorizado An por la CONEAU Res377-99
- KISCHKOWEIT-LOPIN M. (2002) An overview of daylighting systems, *Solar Energy*, 732
- KUZELKA A. (1998) Double mirror heliostat, Solartech, Austria
- POHL, W., ANSELM, C. (2000) Review of existing heliostats, Bartenbach LichtLabor GmbH, Rinner Straße 14, A-6071 Aldrans/Innsbruck, Austria
- SARAVIA L. (2004) Diseño gráfico de concentradores de tipo CPC, *AVERMA*, ISSN: 0329-5184, Vol. 8, Nº 1, Argentina
- SOLATUBE (1991) <http://www.solatube.com>, Corporate Office Solatube Global Marketing, Inc. 3216 Grey Hawk Court, Carlsbad, CA 92010, USA