

SISTEMA INNOVATIVO DE ILUMINACION NATURAL Y VENTILACION PASIVA DE BAJO COSTO. Caracterización lumínica.

Leandro Ferrón¹, Andrea Pattini², M. Ángel Lara³.

Instituto de Ciencias Humanas Sociales y Ambientales (INCIHUSA).

Unidad: Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda CONICET - C.C.131 C.P. 5500 – Mendoza.

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

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

RESUMEN: Se presenta el diseño de un sistema de acondicionamiento térmico-lumínico pasivo, desarrollado con el objetivo de transportar luz natural al interior de espacios profundos (hasta 5 metros), al tiempo que permite la ventilación de estos ambientes. El dispositivo consiste en un núcleo aluminizado contenido dentro de un cilindro de ventilación. El sistema se diseñó basado en el uso exclusivo de tecnologías y materiales disponibles en la provincia de Mendoza, previendo que el medio industrial pueda asimilar la transferencia sin inversión de capital extraordinario. Se analizaron comparativamente los costos de producción y el rendimiento lumínico respecto de otros productos disponibles en el mercado.

PALABRAS CLAVE: Sistemas de iluminación natural, tecnologías de bajo costo, análisis comparativo.

INTRODUCCION

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 sistemas pasivos de iluminación natural y ventilación de espacios interiores.

Un claro ejemplo de esto es que 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 destinado a iluminación (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 Veith, 2001).

Para dar respuesta a estos requerimientos de ahorro y confort en recintos sin acceso a ventilación y a luz solar directa a través de ventanas, es válido proponer la instalación de Sistemas Tubulares de Transporte de Luz (Kischkoweit-Lopin, 2002) combinados con mecanismos de ventilación pasiva. 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 (Ferrón, 2005).

En este caso, se desarrolló un sistema de acondicionamiento térmico-lumínico mixto, diseñado con el objetivo de transportar luz natural al interior de espacios profundos (hasta 5 metros), al tiempo que permite la ventilación de estos ambientes. El dispositivo consiste en un núcleo aluminizado contenido dentro de un cilindro de ventilación.

En relación a la iluminación, posee una zona de colección, protegida por una cúpula acrílica, que se ubica sobre el exterior de casas o edificios a iluminar, una zona de transporte de luz, que recorre la distancia necesaria a través de diferentes secciones arquitectónicas manteniendo los haces dentro del sistema, y una zona de emisión de luz, ubicada en el interior del recinto que se desea iluminar. En lo referido a la ventilación, un tubo estructural posee aberturas ambos extremos, generando la circulación de aire entre el interior y el exterior de los ambientes.

El sistema se diseñó basado en el uso exclusivo de tecnologías y materiales disponibles en la provincia de Mendoza, previendo que el medio industrial pueda asimilar la transferencia sin inversión de capital extraordinario.

Este trabajo presenta los costos de fabricación y los primeros resultados obtenidos de la medición del rendimiento lumínico del sistema innovativo presentado.

MODELO

El dispositivo presentado fue diseñado partiendo de la conformación básica de un lumiducto vertical y sus tres componentes principales: colector, transmisor y emisor de luz (Figura 1).

¹ Becario Posdoctoral CONICET

² Investigadora Adjunta CONICET

³ Investigador independiente CONICET

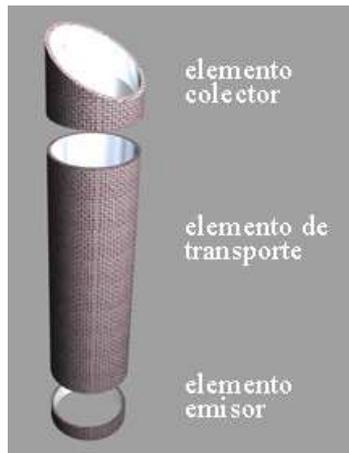


Figura 1: Elementos componentes de un lumiducto vertical

El cuerpo del lumiducto fue construido a partir de un tubo de PVC de 1mtr de longitud, 110mm de diámetro interior y 2mm de espesor de pared. Éste fue introducido dentro de un tubo cilíndrico de chapa galvanizada N°22 de 200mm diámetro interior, siendo el área generada por la diferencia de diámetros la que permitiría el flujo de aire sin comprometer la estanqueidad del cilindro de transporte de luz, necesaria para conservar limpia la superficie reflectante. La figura 2 muestra un corte longitudinal esquemático del dispositivo, en donde pueden visualizarse los dos cilindros componentes principales, las rendijas para ventilación y la cúpula de protección de material acrílico.



Figura 2: Corte longitudinal esquemático

El interior de lumiducto se revistió con una lámina de poliéster metalizado con un índice de reflexión de 0,93% (3M, 2005), unido al tubo plástico con adhesivo de contacto en aerosol. Para el emisor se colocó en el extremo plano final del caño un disco de acrílico con textura esmerilada. Las figuras 3 y 4 muestran la maqueta virtual, planos y detalles de la construcción del prototipo.



Figura 3: De izquierda a derecha; modelo virtual perspectiva; zona de emisión y vistas principales del dispositivo



Figura 4: De izquierda a derecha; tubo de ventilación; zona de colección y zona de emisión del dispositivo

La totalidad de la tecnología y los recursos necesarios para la construcción del dispositivo se encuentran disponibles en la región de Cuyo, y son accesibles para cualquier empresa vinculada a la fabricación de productos en chapa. Los costos de fabricación del sistema se presentan en la tabla 1.

| Componente | Detalle | Cantidad | Material (\$) | Mano de obra (\$) | Totales (\$) |
|---------------------------|--|----------|---------------|-------------------|--------------|
| Cuerpo Lumiducto | Tubo de PVC y 2mm de espesor de pared. Módulo de 1mt de longitud | 1 | 6,9 | - | 6,9 |
| Revestimiento reflectante | Lámina de poliéster metalizado, índice de reflexión 0,93%, 75micrones, 600mm de ancho, módulo de 1mt de longitud | 1 | 47 | - | 47 |
| Cuerpo Ventilación | Tubo de chapa galvanizada de 200mm de diametro. Módulo de 1mt de longitud | 1 | 80 | 100 | 180 |
| Cierres | Tapas de chapa galvanizada repujada, más alero, 200mm de diametro | 2 | 20 | 40 | 120 |
| Cubierta acrílica | Semiesfera de acrílico termoformado, 100mm diametro | 1 | 35 | - | 35 |
| Difusor | Disco acrílico de 120mm de diametro | 1 | 5 | - | 5 |
| Cubierta de goma | Aro de goma de 110mm diametro interno y 200mm diametro externo | 1 | 5 | - | 5 |
| Aplique | Discos de MDF cortados por LASER en diferentes diametros | 1 | 25 | 50 | 75 |
| Adhesivo | Pegamento elastomérico en aerosol | 1 | 45 | - | 45 |
| Varios | Elementos de sujeción, acabado, etc | 1 | 40 | - | 40 |
| Total | | | | | 558,9 |

Tabla 1: Costos de fabricación del sistema

El producto cumple con todas las normas legales vigentes, tanto en lo relativo a su fabricación, como en lo concerniente a la instalación en obra. Cabe mencionar que un sistema de iluminación natural comercializado en la región, de características similares en cuanto al aspecto lumínico pero de fabricación extranjera, está cotizado en el mercado en un valor de venta al público de \$3000 el metro lineal (ALUAOES, Solatube)

EVALUACION DE RENDIMIENTO

Para evaluar el flujo lumínico entregado por el dispositivo se construyó un recinto de planta cuadrada, cuyas superficies interiores se pintaron de color negro mate a fin de eliminar la componente interreflejada de luz. Ésta fue dotada de una abertura cenital que permitió la instalación del prototipo ensayado. Dentro del recinto se ubicó un serie de sensores de iluminancia caracterizados por distintos ángulos de elevación γ (figuras 5 y 6). Las dimensiones del recinto fueron proyectadas tomando en consideración respetar el criterio del quintuplo de la distancia respecto del tamaño de la zona de emisión, a fin de poder considerar está última como una fuente puntual, resultando en un cubo 600mm x 600mm x 600mm (figura 6).

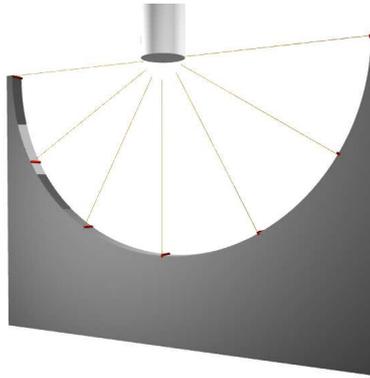


Figura 5: Semicírculo virtual donde los puntos rojos indican la ubicación de los sensores, definida por el ángulo de elevación γ .

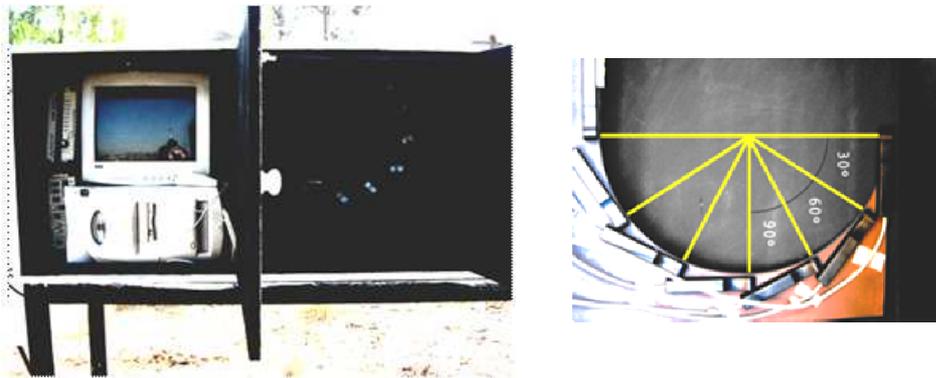


Figura 6: Cámara de medición fotométrica. Izq. Equipo de adquisición de datos. Der. Detalle del arreglo de sensores

A partir de los datos recolectados por cada sensor se aplica la ley de la inversa de los cuadrados (Murdoch, 1985) para calcular la intensidad luminosa en función del ángulo γ mediante la Ecuación:

$$I = \frac{E \cdot d^2}{\cos \gamma} \tag{Ecuación 1}$$

Donde:

- I : Intensidad en candelas (lm/sr).
- E : Iluminancia en lux (lm/m^2).
- d : Distancia desde la fuente al punto de medición (m).
- $\cos \gamma$: Coseno del ángulo de elevación.

La metodología descrita fue desarrollada en el 2004 por Raitelli y presentada en el trabajo “Fotometría de lumiductos”. Adicionalmente, para obtener el valor del flujo emitido por el dispositivo se realizó la construcción de un espacio virtual dentro del programa de cálculo luminotécnico RELUX. Mediante la inserción del archivo en formato *.ies correspondiente a la fotometría del dispositivo, se calculó la iluminancia producida por la fuente sobre las superficies de pared, piso y techo excluyendo de las mismas la porción interreflejada. Así, se calculó el flujo luminoso que llegaba a cada superficie del cubo, mediante el producto de la iluminancia media ($Lux = lm/m^2$) por el área (m^2) de cada pared. El flujo total del dispositivo se obtuvo entonces sumando los respectivos valores de flujos verificados en cada una de las seis paredes internas del espacio virtual, siendo la expresión utilizada:

$$\Phi_{lum} = E_1 \cdot A_1 + E_2 \cdot A_2 + \dots + E_6 \cdot A_6 = A \cdot \sum_1^6 E_i \tag{Ecuación 2}$$

Donde:

- A : área de cada pared virtual, en el experimento: $1m \times 1m$ (m^2).
- $E_i, i = 1 \dots 6$: luminancia media de cada una de las paredes del recinto (lx ó lm/m^2).

RESULTADOS

Se realizaron dos evaluaciones: una correspondiente al periodo de verano (22 de Febrero de 2010), y otra correspondiente a la época invernal (5 de Julio de 2010). En ambos casos la medición se realizó durante la hora del mediodía solar. La latitud de emplazamiento fue $32^\circ 53' 41''$, y longitud $68^\circ 52''$. Los resultados obtenidos para el modelo ensayado se presentan en forma

de gráfico polar en la figura 8. Allí se pueden observar las intensidades luminosas máxima y media en función del ángulo de elevación γ , alcanzando el valor superior los 29,7 cd/Klm.

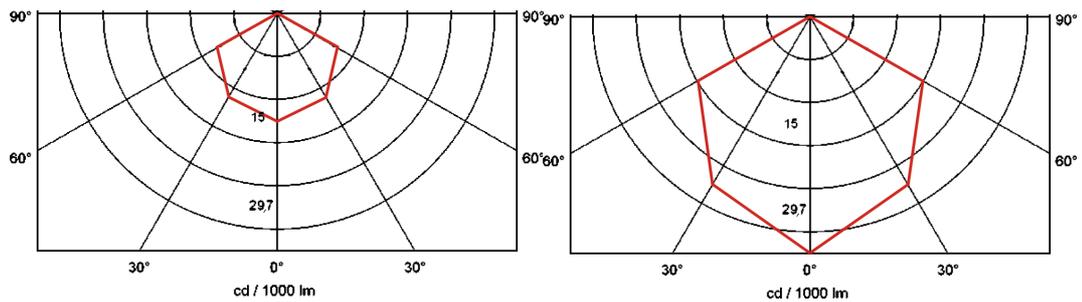


Figura 8: Valores de intensidad Luminosa en cd/Klm. Izq. Periodo invernal; der. Periodo de verano, 13hs.

El flujo emitido medido durante la estación invernal fue de 101lm, registrando una iluminancia global (E_{global}) exterior de 54140lx, en tanto que el flujo emitido en la estación de verano alcanzo los 550lm para una E_{global} exterior de 118260lx (Tabla 2)

| Estación | Eext. (lx) | Flujo (lm) |
|----------|------------|------------|
| Invierno | 54140 | 101 |
| Verano | 118260 | 550 |

Tabla 2: Flujo Emitido y valores de E_{global} exterior al momento de la medición.

Si consideramos que el rendimiento luminoso de una luminaria es el valor que expresa la relación entre el flujo emitido por el artefacto respecto del flujo de la lámpara, para el caso del dispositivo ensayado es posible definir este parámetro como el cociente entre el flujo emitido por el difusor y el flujo que ingresa al dispositivo (Raitelli et. al. 2004).

$$n = \frac{F_{salida}}{F_{entrada}} \times 100 \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

n : Rendimiento lumínico (%).

F_{salida} : Flujo luminoso de salida (lm).

$F_{entrada}$: Flujo luminoso de entrada (lm).

Para el flujo luminoso de entrada es posible aplicar el valor resultante de la formula:

$$F_{entrada} = E_{global} \times S$$

Donde:

$F_{entrada}$: Flujo luminoso de entrada (lm).

E_{global} : Iluminancia global exterior (lux ó lm/m²).

S : Superficie de entrada de la boca del dispositivo (m²)

A partir de estas operaciones, en la tabla 3 encontramos que el rendimiento lumínico n del dispositivo fue de:

| Estación | E_{global} (lx) | F_{salida} | Superficie | $F_{entrada}$ | n |
|----------|-------------------|--------------|------------|---------------|------|
| Invierno | 54140 | 101 | 0,007854 | 425,2 | 23,8 |
| Verano | 118260 | 550 | 0,007854 | 928,8 | 59,2 |

Tabla 3: Rendimiento lumínico n , para las estaciones de invierno y verano.

DISCUSIÓN

En base a los niveles de flujo alcanzados por el dispositivo, podemos establecer, por medio de una comparación de consumos energéticos, cuál es el ahorro de energía eléctrica destinada a iluminación que puede generar la utilización del dispositivo de iluminación natural pasiva presentado.

Una lámpara incandescente de 40 W, cuyo valor de mercado es de AR\$ 2.20 aproximadamente, posee un flujo lumínico de 415lm (OSRAM, 2007). Similar flujo es entregado también por una lámpara de bajo consumo (LBC) de 9W, comercializadas en un precio aproximado de AR \$16.

Manteniendo estas lámparas encendidas un promedio de 10 horas diarias, durante un período de un año, el consumo de cada una proporcionando la misma luz será:

$$40W \times 10hs /día \times 365 días= 146000 Wh$$

$$9W \times 10hs/día \times 365 días= 32850 Wh$$

Tomando como ejemplo un usuario tipo R2 sin incluir ni cargo fijo ni impuestos del cuadro tarifario de EDEMSA a Julio de 2010, encontramos que el kWh cuesta AR\$0,3007 (costo variable). Entonces:

$$146 kWh \times 0.3007 AR\$/kWh = AR\$ 43,90$$

$$32,85 kWh \times 0.3007 AR\$/kWh = AR\$ 9,87$$

Por otra parte, podemos también si considerar para cada lámpara el gasto que producirán durante una vida útil de 8.000 horas (vida útil estimada de la lámpara de bajo consumo):

$$40W \times 8000 hs \times 0.3007 AR\$/kWh = AR\$ 96,22$$

$$9W \times 8000 hs \times 0.3007 AR\$/kWh = AR\$ 21,65$$

Por último, podríamos sumar el valor de las lámparas utilizadas. La lámpara incandescente tiene una vida útil estimada de 1000 hs. por lo que son necesarias 8 lámparas para alcanzar la vida útil de la LBC. El costo de las 8 lámparas incandescentes sería de AR\$16.6 y el de la LBC AR\$16.

$$AR\$ 96,22 + AR\$ 16,6 = AR\$ 112,82$$

$$AR\$ 21,65 + AR\$ 16 = AR\$ 37,65$$

El sistema de iluminación natural pasiva desarrollado tendría entonces la capacidad de ahorrar, en comparación al uso de iluminación artificial, consumos de 146kWh y 32,85kWh anuales para lámparas incandescentes y LBC respectivamente, produciendo a valor actual, un ahorro de AR\$ 112,82 o AR\$ 37,65 cada 8000 horas de uso.

La tabla 4 presenta ordenados según el porcentaje de eficiencia los tipos de lámparas artificiales más utilizadas para iluminación residencial, y el posicionamiento dentro de esa clasificación de la eficiencia alcanzada por el dispositivo analizado durante las horas correspondientes al mediodía solar de las estaciones de invierno y verano.

| Rendimiento Lumínico | | | | |
|--------------------------------|--------------|------------|----------------|----------------|
| TIPO | POTENCIA (W) | FLUJO (lm) | CONSUMO (lm/W) | EFICIENCIA (%) |
| Incandescente clara | 40 | 415 | 14 | 10,4 |
| Halógena | 300 | 5000 | 17 | 16,7 |
| Lumiducto estacion de invierno | 425 Fentrada | 101 | 0 | 23,8 |
| Vapor de mercurio | 125 | 6300 | 50 | 50,4 |
| Fluorescente compacta | 9 | 530 | 75 | 58,9 |
| Lumiducto estacion de verano | 928 Fentrada | 550 | 0 | 59,2 |
| Fluorescente tubular | 36 | 3350 | 93 | 93,1 |

Tabla 4: Clasificación de fuentes de iluminación residenciales según su porcentaje de eficiencia energética.

La continuidad de los estudios propuestos permitirá realizar una comparación de la eficiencia de las fuentes artificiales versus el rendimiento porcentual del lumiducto como un promedio diario de eficiencia energética.

CONCLUSIONES

Se comprobó en primera instancia que es posible fabricar sistemas innovativos de iluminación natural pasiva en base a la utilización de materiales estándar y tecnologías regionales.

Se presentaron conjuntamente el análisis de costos de fabricación y el rendimiento lumínico de un sistema innovativo de iluminación natural y ventilación pasiva. Los costos de fabricación del dispositivo fueron de AR\$ 558, valor que fue seis veces menos que el precio de venta de un artefacto importado de similares características (AR\$ 3000).

En cuanto a su eficiencia, el dispositivo alcanzó rendimientos de entre el 23% y el 59%, en función de las condiciones lumínicas estacionales de la bóveda celeste. Estos rendimientos se traducen en flujos lumínicos de 101lm durante el invierno y 550lm durante el verano, ambos, valores registrados durante la hora del mediodía solar.

El dispositivo posibilita ahorros energéticos de 32,85kWh y 146kWh anuales (comparado con una lámpara incandescente de 40W y una LBC de 9W respectivamente), que se traducen en un ahorro monetario de AR\$ 112,82 o AR\$ 37,65 cada 8000 horas de uso. Esto indica que

Finalmente, se debe destacar el impacto ambiental positivo de la producción, comercialización y uso de estos sistemas, ya que promueven la utilización de materiales reciclables, la reactivación de distintos sectores de la producción y el ahorro de energía eléctrica destinada a iluminación. Debido a los bajos costos de fabricación del sistema (carga tecnológica originada en el uso de materiales de producción nacional) se trata de un producto capaz que generar importantes márgenes de ganancia tanto a fabricantes como a distribuidores y comerciantes.

En adelante, se trabajará sobre la evaluación de los aspectos relacionados a la eficiencia lumínica del dispositivo como un promedio diario y en su función de ventilación pasiva de ambientes.

REFERENCIAS

3M, (2008) Reflexive film VM2002, [www.3m.com], fecha de consulta 03/02/2010 disponible en línea

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 Colzman-Freyberger, Lorrach, Germany

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, N° 3

Ferrón, L. (2010) Barras de Iluminacion 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 N° 245/08, expediente 61226/06 – Categorizado An por la CONEAU Res377-99

Kischkoweit-Lopin M. (2002) An overview of daylighting systems, Solar Energy, 732

Murdoch J.S. (1985) Illumination Engineering. Cap. 9, pag. 300. Edit. Mc Millan Publishers. 666 Third Avenue, Nueva York, NY 10022, USA. ISBN 0-02-948580-0.

Pohl, W., Anselm, C. (2000) Review of existing heliostats, Bartenbach LichtLabor GmbH, Rinner Straße 14, A-6071 Aldrans/Innsbruck, Austria

Raitelli, M, Costilla, M.A., Soria, A., (2004) Fotometría de lumiductos, Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, ISSN 0329-5184, Vol. 8, N° 2, Argentina.

Solatube (1991) <http://www.solatube.com>, Corporate Office Solatube Global Marketing, Inc., 3216 Grey Hawk Court, Carlsbad, CA 92010, USA

ABSTRACT

We present the design of a thermal-lighting conditioning system, developed with the objective of transporting natural light into deep spaces (up to 5 meters), while allowing the ventilation of these environments. The device consists in a aluminized core contained into a ventilation cylinder. The system was designed based on the exclusive use of technologies and materials available in the province of Mendoza, with the idea that the industrial environment can assimilate the transfer without a extraordinary capital investment. We analyzed the production costs (AR\$) and the light output (lm) compared to other similar products on the market.