

## EFICIENCIA ENERGÉTICA POR LA UTILIZACIÓN DE COMPONENTES DE CONDUCCIÓN DE LUZ NATURAL EN CLIMA CÁLIDO-HÚMEDO

### ENERGETIC EFFICIENCY DERIVED FROM THE USE OF CONDUCTION COMPONENTS OF DAYLIGHT IN WARM-HUMID CLIMATE

ROSALINDA GONZÁLEZ GÓMEZ

*Universidad del Zulia, Facultad de Arquitectura y Diseño, Departamento de Comunicación del Diseño e Informática Aplicada, Maracaibo, Venezuela. E-mail: rosaling2002@yahoo.es.*

#### RESUMEN

Se estimó el ahorro de energía eléctrica, por la utilización de Componentes de Conducción de Luz Natural (CCLN) en clima cálido-húmedo. Para ello, se determinó el rendimiento lumínico del componente, considerando valores de iluminación horizontal exterior e iluminación interior obtenidos mediante la evaluación bajo condiciones de cielo real en modelos a escala, y se estableció la comparación con bombillos incandescentes y fluorescentes ahorradores de energía. El aprovechamiento de la luz natural a través del uso de CCLN permite obtener un ahorro en el gasto por energía, con respecto al uso de Bombillos Incandescentes y/o Fluorescentes Ahorradores de Energía (iluminación artificial). En este sentido, el uso de los mismos, correspondería a 219 KWh y 54,75 KWh, respectivamente, si se mantienen encendidos un promedio de 10 h diarias, durante un periodo de un año. Se estima que sería posible lograr una reducción del consumo eléctrico, manteniendo el confort y calidad de vida de los usuarios en las edificaciones (alto rendimiento lumínico sin uso de energía del proveedor comercial), contribuyendo así a la "eficiencia energética" en las mismas.

**PALABRAS CLAVE:** Ahorro de energía, iluminación natural, consumo energético, rendimiento lumínico.

#### ABSTRACT

The electric energy saving was estimated by the utilization of Conduction Components of Daylight (CCD) in warm-humid climate. For this, the luminic performance of the component was determined, considering values of horizontal exterior lighting and interior lighting obtained by monitoring under real sky conditions in scale models, and the comparison with incandescent bulbs and Compact Fluorescent Lamps (CFL). The utilization of the natural light through CCLN allows to obtain a saving in the expense for energy, with respect to the use of Incandescent Bulb and/or Compact Fluorescent Lamp (artificial lighting). In this sense, their use would correspond to 219 KWh and to 54.75 KWh, respectively, if they are used for an average of 10 daily hours, during a period of one year. It was estimated that a possible reduction could be achieved in the electricity consumption, maintaining the comfort and quality of life of the users in buildings (high luminic performance without use of energy from commercial supplier), contributing this way to the "energy efficiency" in them.

**KEY WORDS:** Energy saving, daylight, energy consumption, luminic performance.

#### INTRODUCCIÓN

La ciudad de Maracaibo, por su ubicación: 10°40.5', latitud Norte, en los límites entre la zona ecuatorial y tropical, es la ciudad de Venezuela con mayor consumo de energía eléctrica; esto debido, entre otros aspectos, a la utilización de sistemas de acondicionamiento artificial como es el caso de los aires acondicionados e iluminación durante el período diurno, para lograr el confort en las edificaciones.

El sol, constituye la fuente principal de iluminación natural; al respecto, resulta relevante señalar que en la ciudad de Maracaibo, se cuenta con una gran disponibilidad de horas de sol durante los 365 días del año, lo que ha llegado a representar hasta 98,77% de las horas al año (entre 2.000 y 3.000 horas promedio

anuales); esto, según estudios realizados considerando los datos registrados en la Estación Meteorológica de la Base Aérea General Rafael Urdaneta, Aeropuerto de Caujarito, por un periodo de 10 años (Quirós 1989); y lo cual, sigue evidenciándose en registros más recientes, donde se ha alcanzado hasta un promedio anual aproximado de 3.284 horas de sol, según cifras del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH 2011).

La luz natural, entra a los espacios por medio de las aberturas; ya sean estas, verticales (laterales) u horizontales (cenitales). Según Peinado (2006), para cualquier abertura, cuanto mayor sea la ganancia de luz natural menor será el consumo de energía eléctrica por sistema de iluminación artificial; por otro lado, cuanto mayor es la abertura, mayor será el consumo de energía eléctrica para acondicionamiento artificial del ambiente.

Es por ello, que para lograr las condiciones adecuadas para la realización de actividades, el diseñador deberá considerar, tanto la componente lumínica, como la componente térmica de la radiación solar; ya que, al estar asociada la luz natural, con la ganancia de calor al interior de los espacios, se hace poco probable el aprovechamiento de la iluminación natural por parte de los usuarios; puesto que, estos implementan la utilización de medios de protección, como toldos, persianas, cortinas, quebrasoles, que disminuyen el nivel lumínico necesario para desarrollar las actividades, incrementándose de igual manera el consumo de energía por el uso de la iluminación artificial durante el periodo diurno.

En el 2003, el Estado Venezolano evaluó el grado de inversiones que debía realizar a nivel de generación de energía para la demanda en el 2015 (de acuerdo a la proyección del requerimiento adicional de electricidad); resultando en la realidad, una mayor demanda, que unida, a problemas de inversión y a la disminución del potencial hidroeléctrico producto del fenómeno de El Niño, llevó en el año 2009 a la crisis eléctrica nacional. Situación, que dio inicio, a las resoluciones publicadas en el Decreto 6.992 de la Gaceta Oficial 39.298 de fecha 03/11/2009; con que el Estado impuso a los diferentes tipos de usuarios, tanto públicos como privados, medidas necesarias para la reducción del consumo, entre las que aplican, regulaciones en iluminación, transporte, aire acondicionado y refrigeración (González 2013). En el caso de la iluminación, en el artículo 4, aparte H, de la resolución n° 77. 201° y 152 (de junio 2011); se expresa que: se deben “*Ajustar los niveles de iluminación o apagarlas en aquellas oficinas, instalaciones o áreas con suficiente iluminación natural, de acuerdo a las tareas realizadas en cada área, según la Norma COVENIN 2249:93 (1993)*”, “*Iluminación en Tareas y áreas de Trabajo*” (MPPEE 2011).

Con respecto a esta medida, se puede decir, que lleva implícito dos aspectos: el primero, la utilización de la iluminación artificial solo como complemento de la natural; y el segundo, cuando los niveles de iluminación resulten suficientes, la utilización de la luz natural como fuente única de iluminación a través de las aberturas. Esto conlleva, a promover la realización de investigaciones que permitan conocer la disponibilidad de este recurso en las distintas localidades (registro de iluminación horizontal exterior); así como, evaluar y/o plantear alternativas de diseño de tipo pasivas que garanticen su uso; desde un punto de vista sustentable en las edificaciones, hacia la búsqueda de la “Eficiencia energética”; donde, aparte de conseguir un ahorro de energía no se disminuyan las

condiciones de confort y calidad de vida de los usuarios.

Es por ello, que en aras de contribuir al área de investigación de la iluminación natural, se planteó la evaluación de Componentes de Conducción de Luz Natural como una alternativa que permita garantizar la iluminación necesaria para el desarrollo de las actividades con una menor ganancia de calor hacia el interior de los espacios; esto, al contar con una menor área de abertura expuesta a la radiación solar, durante el periodo diurno. Es importante señalar, que la información presentada en este trabajo, forma parte de una investigación titulada “*La iluminación natural como recurso sustentable en clima cálido-húmedo*”, cuyo objetivo es evaluar el rendimiento lumínico de componentes de conducción de luz natural con el propósito de determinar si la iluminación natural obtenida a través de los mismos, es suficiente para su utilización como fuente única de luz durante el periodo diurno o solo puede ser utilizada como complemento; sin que esto involucre la eliminación de las aberturas laterales con sus correspondientes funciones de ventilación y relación con el exterior, como es el caso de las visuales.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Condiciones climáticas de referencia

La ciudad de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela, que se ubica a los 10°40,5' latitud norte y 71°37,3' longitud oeste, posee clima cálido-húmedo; caracterizándose por temperaturas y humedades relativas que varían muy poco durante el año, siendo sus valores medios entre 27,9°C a 31,2°C (temperatura media: 29,6°C) y de 71% a 83% (humedad relativa media: 78%) respectivamente; con amplitudes de 5,2°C a 7°C. Durante el año, se observan dos periodos de viento bien definidos; el primero, con régimen de vientos alisios, en los meses de diciembre a abril, con velocidades medias de 3 a 5 m/s y el segundo, de mayo a noviembre, con vientos muy débiles, variables en dirección y velocidad, con predominio de tiempo de calma, especialmente entre 08:00 a.m. y 03:00 p.m.; siendo la precipitación anual promedio variable entre 450 y 550 mm y la radiación global media diaria de 4,2 KWh/m<sup>2</sup> (González y González 2013).

### Evaluación bajo condiciones de cielo real

La evaluación se llevó a cabo en el Sector 18 de Octubre, de la ciudad de Maracaibo, estado Zulia, entre el 22 y el 29 de septiembre de 2014. Para el mismo, se utilizaron en el interior de los modelos a escala, registradores de datos del tipo HOBO datalogger, que

permitieron el registro simultáneo de temperatura interior (rango:  $-20^{\circ}\text{C}$  a  $70^{\circ}\text{C}$ ), humedad relativa (rango: 0 a 95%) y nivel lumínico (rango: 1 a 3000 lumen/ft<sup>2</sup>), así como también, el registro de la temperatura exterior con la utilización de un sensor adicional externo; para el registro de la iluminancia horizontal exterior, se utilizó un luxómetro digital T-10 Minolta (rango: 0,01 - 299.000 lux), el cual se ubicó a 1,60 m sobre el nivel del piso para evitar las eventuales sombras.

Se utilizaron cuatro modelos, elaborados a escala 1:10, en material MDF de 9 mm, de dimensiones 3 m x 3 m; superficies internas: negro mate y blanco mate; cuyas caras inferiores se sellaron para evitar filtraciones de luz por las juntas, diseñándose la tapa para acoplar perfectamente sobre la misma. Los cuatro modelos corresponden:

a. **Modelo de referencia**, sin aberturas.

b. **Modelo con abertura lateral**, de 1m x 1m, con vidrio claro de 2 mm de espesor, centrada en fachada y con orientación este u oeste; por ser estas, las que reciben mayor asoleamiento en clima cálido-húmedo (González *et al.* 1986) (Fig. 1).

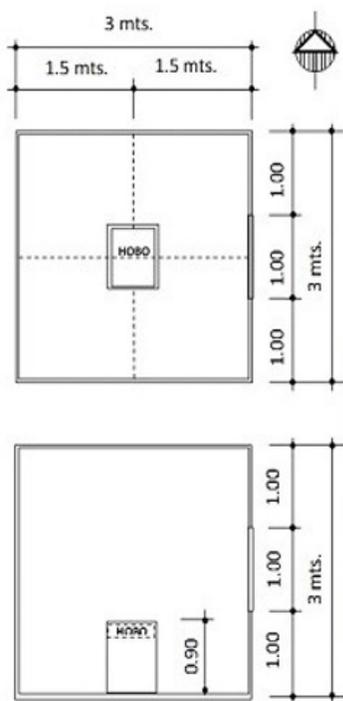


Figura 1. Modelo a escala con abertura lateral (Elaboración propia, 2014).

c. **Modelo con botella solar**, ubicado en el centro de la cubierta superior. Este dispositivo está basado en la experiencia llevada a cabo por el Movimiento “Un Litro de Luz” <http://sculptthefuturefoundation.org/portfolio/my-shelter-foundation-global-lighting-project>; para ello, se seleccionó un frasco plástico transparente lleno de agua; de alto 0,90 m y diámetro 0,24 m (Fig. 2).

d. **Modelo con CCLN difusor acrílico punta diamante**, ubicado en el centro de la cubierta superior; y el cual consta de tres partes: el colector, el transmisor y el emisor o difusor de luz. Para el cuerpo del CCLN se utilizó un tubo de cartón de 4 mm de espesor, diámetro 0,38 m. y longitud 1,14 m. (a la escala seleccionada). El recolector, se realizó en acrílico transparente de 3 mm de espesor; y para el difusor se utilizó acrílico transparente punta de diamante, de 3 mm de espesor y vidrio claro (Fig. 3).

#### Comparación con normativa existente

Para establecer la comparación del Factor de Luz Diurna (F.L.D.), se utilizó la Tabla 1, con valores recomendados en norma IRAM-AADL j20-02 para el F.L.D. promedio según la dificultad de la tarea (Raitelli 2006).

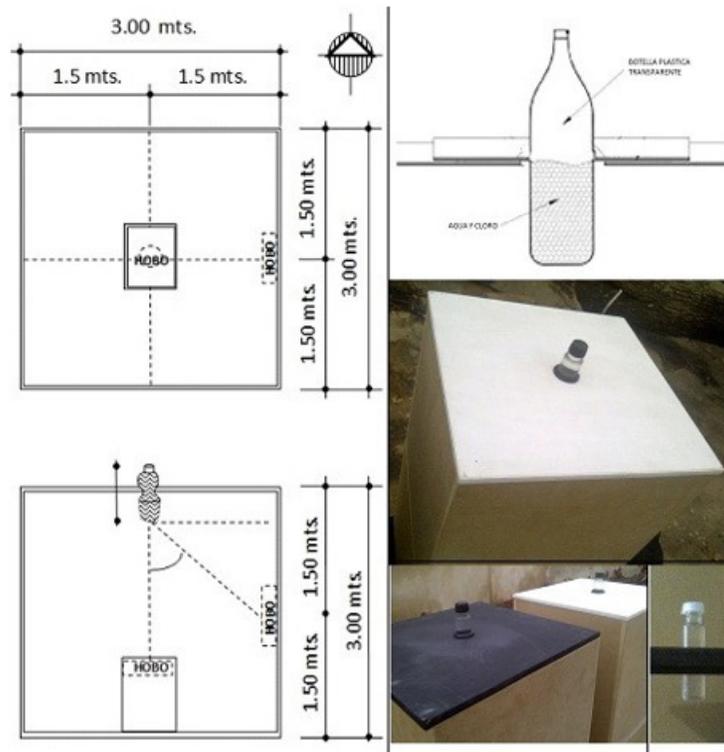


Figura 2. Modelo a escala con botella solar (Elaboración propia, 2014).

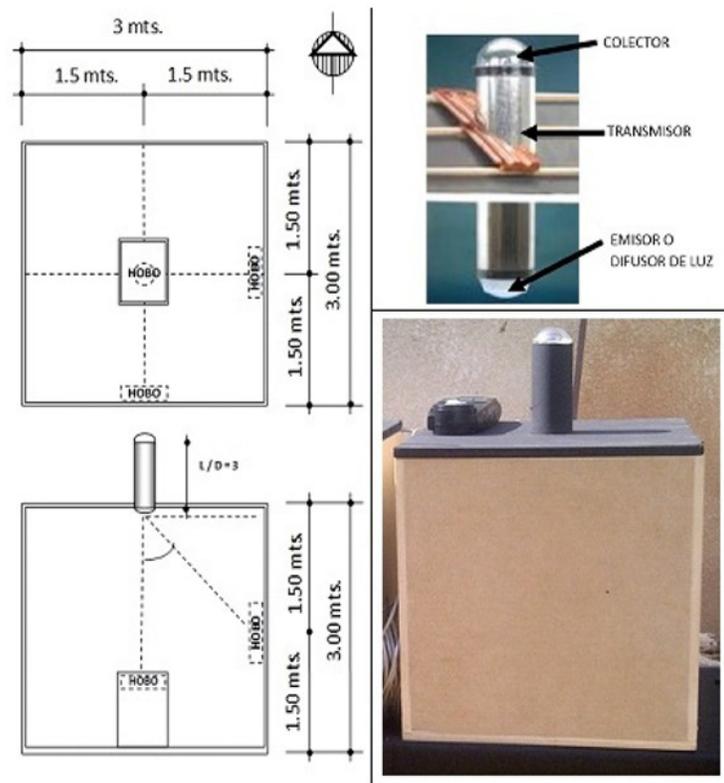


Figura 3. Modelo a escala con Componente de Conducción de Luz Natural (Elaboración propia, 2014).

Para establecer la comparación con niveles de iluminación según normativa, se utilizó lo indicado en la Norma Venezolana COVENIN 2249-93 (1993), en su artículo 4.1; el cual establece, tres niveles de iluminancia media en servicio para actividades y tareas visuales específicas y áreas de trabajo en condiciones normales (A, B y C). Los valores por encima del indicado como

valor superior “C”, suponen un derroche de energía y niveles por debajo del valor inferior “A”, significan un desempeño visual menos eficiente. Los valores medios de la gama “B” corresponden a la iluminancia media en servicio recomendada de acuerdo a los requisitos visuales de la tarea, la experiencia práctica y la necesidad de una utilización eficaz de la energía (Tabla 2).

Tabla 1. Valores recomendados en norma IRAM-AADL j20-02 para el Factor de Luz Diurna (F.L.D.) promedio según la dificultad de la tarea (elaborada con datos de Raitelli 2006).

Clasificación de la tarea según su dificultad	F.L.D. promedio (%)	Ejemplos típicos de la norma IRAM-AADL j20-05
Reducida	1	Circulación, depósitos de materiales toscos, entre otros
Mediana	2	Inspección general, trabajo común de oficina
Alta	5	Trabajos de costura, dibujo, entre otros
Muy alta	10	Montaje e inspección de mecanismos delicados

Tabla 2. Tipos Generales de Actividad en Áreas Interiores (Norma Venezolana COVENIN 2249-93(1993) (Iluminancias en tareas y áreas de trabajo).

Área o tipo de actividad	Iluminancia (LUX)			Tipo de Iluminancia
	A	B	C	
1.Áreas públicas con alrededores	20	30	50	General en toda el área (G)
2.Simple orientación para visitas cortas periódicas	50	75	100	
3.Áreas de trabajo donde las tareas visuales se realizan solo ocasionalmente	100	150	200	
4.Realización de tareas visuales con objetos de tamaño grande o contraste elevado	200	300	500	Local en el área de la tarea (L)
5.Realización de tareas visuales con objetos de tamaño pequeño o contraste medio	500	750	1000	
6.Realización de tareas visuales con objetos de tamaño muy pequeño o contraste bajo	1000	1500	2000	
7.Realización de tareas visuales con objetos de tamaño muy pequeño y bajo contraste, por periodos prolongados	2000	3000	5000	Combinación de general y localizada sobre la tarea (G+L)
8.Realización de tareas visuales que requieren exactitud por periodos prolongados	5000	7500	10000	
9.Realización de tareas visuales muy especiales, con objetos de tamaño muy pequeño y contraste extremadamente bajo.	10000	15000	20000	

Para la evaluación de los Componentes de Conducción de Luz Natural en relación al nivel de iluminación; se consideraron tres situaciones:

1. Contribución lumínica a través del dispositivo, sin considerar la componente de reflexión interna en el espacio (superficies internas negro mate).

2. Contribución de la Componente de Reflexión Interna (C.R.I.) a través de los modelos con superficies internas blanco mate.

3. Desempeño lumínico - térmico de los modelos con dispositivos de conducción de luz natural con respecto al modelo con abertura lateral.

### Estimación del ahorro de energía

Para estimar el ahorro de energía por la utilización de Componentes de Conducción de Luz Natural, se estableció una comparación, entre el rendimiento lumínico obtenido a través del mismo, y el rendimiento lumínico de componentes de iluminación artificial

(bombillos incandescentes y fluorescentes), con similar flujo lumínico (equivalentes entre sí); es decir, se utilizó como referencia el bombillo incandescente común de 60 vatios, con flujo lumínico promedio de 820 lúmenes y el bombillo fluorescente ahorrador de energía de 15 vatios, con flujo lumínico promedio de 810 lúmenes (Philips Lighting 2010-2011).

La metodología empleada, se basa en lo expresado por Ferrón *et al.* (2010). En la misma, se presentan tres partes: A) Determinación del rendimiento lumínico del Componente de Conducción de Luz Natural; B) Determinación de la cantidad de energía eléctrica ahorrada y C) Comparación del rendimiento lumínico de los componentes (Fig. 4).

#### A) Determinación del Rendimiento Lumínico del CCLN

Para estimar el ahorro producto de la utilización del Componente de Conducción de Luz Natural, fue necesario determinar el flujo lumínico de entrada a través del mismo; mediante la expresión:

$$\phi_e = I_{\text{ext}} \times S \quad [1]$$

Donde:

$\phi_e$  = Flujo lumínico de entrada (lm)

$I_{\text{ext}}$  = Iluminación horizontal exterior (Lux)

S = superficie de la boca de salida del componente (m<sup>2</sup>)

Una vez determinado el flujo de entrada se procedió a determinar el rendimiento lumínico; el cual, se expresa como la relación entre el flujo emitido por el artefacto respecto del flujo de la lámpara. Según Raitelli *et al.* (2004), este parámetro se define para el caso de los dispositivos en estudio, como el cociente entre el flujo luminoso emitido por el difusor y el flujo luminoso que ingresa al dispositivo [2].

$$\eta = \phi_e / \phi_s \times 100 \quad [2]$$

Donde:

$\eta$ : Rendimiento lumínico (%).

$\phi_s$ : Flujo lumínico de salida (lm).

$\phi_e$ : Flujo lumínico de entrada (lm).

#### B) Determinación de la cantidad de energía eléctrica ahorrada

Para determinar la cantidad de energía eléctrica ahorrada, se realizó:

a) Determinación del consumo (KWh) de cada bombillo (incandescente y fluorescente) para un promedio de 10 horas diarias encendidos, durante el período de un año, partiendo de la expresión:

$$W \times \text{hrs/día} \times 365 \text{ días} = W_h \quad [3]$$

\* Realizar conversión de Wh a KWh

b) Determinación del costo de los KWh según tarifa establecida por la compañía eléctrica.

Para el caso de estudio, se consideró la tarifa 02 para el Servicio Residencial General, aplicada por la Empresa CORPOELEC (Corporación Eléctrica Nacional, S.A. - Maracaibo, estado Zulia) al 06/12/2014; la cual, corresponde a tres rangos de costo - KWh.: Tarifa "A" correspondiente a los primeros 100 KWh. a Bs. 0,05913000; la Tarifa "B" correspondiente a los siguientes 500 KWh. a Bs. 0,11684400; y la Tarifa "C" correspondiente al exceso de KWh. Cuyo costo es de 0,31735868 Bs.

$$\text{KWh} \times \text{costo KWh} = \text{costo} \quad [4]$$

c) Determinación del gasto de cada bombillo durante su vida útil.

Para determinar el gasto que produciría cada bombillo durante una vida útil de 8000 horas (vida útil del bombillo ahorrador de energía), se estableció la relación entre la potencia (vatios), la vida útil y el costo de cada tarifa.

$$W \times \text{horas} \times \text{costo KWh} = \text{gasto lámpara} \quad [5]$$

d) Determinación del gasto total (ahorro).

Para determinar el gasto total (ahorro) por la utilización de cada bombillo, se suma el costo de los bombillos, a su respectivo gasto durante su vida útil.

$$\text{Ahorro total} = \text{Gasto durante su vida útil} + \text{costo de cada bombillo} \quad [6]$$

#### C) Comparación del rendimiento lumínico de los componentes

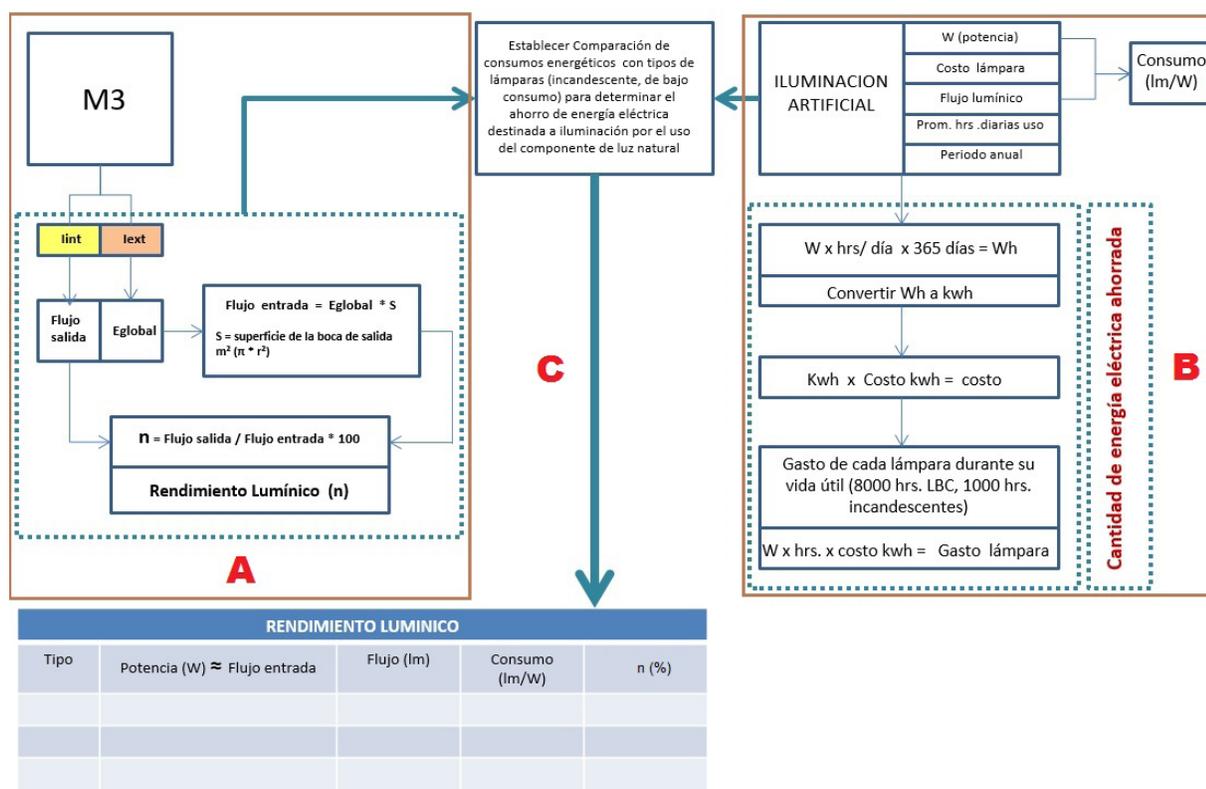


Figura 4. Diagrama para el cálculo del ahorro de energía eléctrica por utilización de Componentes de Conducción de Luz Natural, basado en lo expresado por Ferrón et al. 2010 (Elaboración propia, 2014).

## RESULTADOS

### Contribución lumínica a través del dispositivo, sin considerar la componente de reflexión interna en el espacio (superficies internas negro mate)

Para el **22 de septiembre**, el tipo de cielo presente en la localidad al momento de las mediciones, correspondió en un 67%, a cielo nublado (5 - 7 octas de nubosidad). A través del dispositivo, se obtuvieron valores del Factor de Luz Diurna (F.L.D.) entre 1,36% y 3,74%, en el período horario comprendido entre 10:00 a.m. y 01:00 p.m. lo que posibilita, tareas de reducida y mediana dificultad. Con relación a los niveles de iluminación obtenidos sobre el plano de trabajo, en el período de 08:00 a.m. a 04:00 p.m., los valores se encontraron entre 50 lux y 3.418 lux (promedio: 923 lux), siendo posible las tareas y áreas de trabajo establecidas en la Norma COVENIN, en los puntos y de acuerdo a los niveles lumínicos indicados: 1(A,B,C), 2(A,B,C) y 3(A,B); entre las 09:00 a.m. y las 03:00 p.m. los niveles lumínicos se adecuan a las tareas y áreas de trabajo con una mayor exigencia a nivel visual: 3(C) y 4(A,B); los valores más altos se obtuvieron entre

10:00 a.m. y 01:00 p.m. posibilitando las tareas y áreas de trabajo indicadas en 4(C), 5(A,B,C) y 6(A,B).

Para el **24 de septiembre**, el tipo de cielo presente en la localidad al momento de las mediciones, correspondió en un 89%, a cielo con nubosidad parcial (3 - 4 octas de nubosidad). Los valores obtenidos del Factor de Luz Diurna (F.L.D.) en el período de 09:00 a.m. y 01:00 p.m. se encontraron entre 0,65% y 3,62%, pudiéndose desarrollar tareas de reducida y mediana dificultad entre las 11:00 a.m. y la 01:00 p.m. donde el Factor supera el 1%. Con relación a los niveles de iluminación obtenidos sobre el plano de trabajo, en el período de 08:00 a.m. a 04:00 p.m., los valores se ubicaron entre 36 lux y 4.127 lux (promedio: 1.053 lux), siendo posible en el período de 08:00 a.m. a 03:00 p.m. las tareas y áreas de trabajo establecidas en la Norma COVENIN, en los puntos y de acuerdo a los niveles de iluminación indicados en: 1(A,B,C), 2(A,B,C), 3(A,B,C); de 09:00 a.m. a 02:00 p.m. las tareas y áreas de trabajo establecidas en: 4(A,B,C); 5(A,B,C) y entre 11:00 a.m. y 01:00 p.m. lo indicado en 6(A,B,C) y 7(A,B).

Para el **26 septiembre**, el tipo de cielo presente en la localidad al momento de las mediciones, correspondió en un 75%, a cielo nublado (5 - 7 octas de nubosidad). Los valores obtenidos del Factor de Luz Diurna (F.L.D.) en el período de estudio se ubicaron entre 1,66% y 3,21%, pudiéndose desarrollar tareas de reducida dificultad, siendo posible en un 75% del periodo, la realización de tareas de mediana dificultad. Con relación a los niveles de iluminación obtenidos sobre el plano de trabajo, en el período estudiado, los valores se situaron entre 863 lux y 3.583 lux (promedio: 2.274 lux), siendo posible las tareas y áreas de trabajo establecidas en la Norma COVENIN, en los puntos y de acuerdo a los niveles de iluminación indicados en: 1(A,B,C), 2(A,B,C), 3(A,B,C), 4(A,B,C); 5(A,B); alcanzándose los niveles para lo indicado en 5(C), 6(A,B,C) y 7(A,B), cuando la iluminación horizontal exterior se encontró entre 65.000 lux y 111.700 lux.

Para el **27 septiembre**, el tipo de cielo presente en la localidad al momento de las mediciones, correspondió en un 80%, a un cielo con nubosidad parcial (3 - 4 octas de nubosidad). Los valores obtenidos del Factor de Luz Diurna (F.L.D.) en el período de estudio se ubicaron entre 0,50% y 8,27%, pudiéndose desarrollar tareas de reducida y alta dificultad. Con relación a los niveles de iluminación obtenidos sobre el plano de trabajo, en el período estudiado, los valores se hallaron entre 509 lux y 10.079 lux (promedio: 4.025 lux), siendo posible las tareas y áreas de trabajo establecidas en la Norma COVENIN, en los puntos y de acuerdo a los niveles de iluminación indicados en: 1(A,B,C), 2(A,B,C), 3(A,B,C), 4(A,B,C); 5(A,B,C); 6(A,B,C) y 7(A,B,C); 8(A,B,C), cuando la iluminación horizontal exterior se encontró entre 116.700 lux y 121.900 lux.

### **Contribución de la Componente de Reflexión Interna (C.R.I.) a través de los modelos con superficies internas blanco mate**

La experiencia se llevó a cabo el 24 de septiembre. Para determinar la contribución de la Componente de Reflexión Interna (C.R.I.) a la iluminación en el interior del espacio, se procedió a establecer la diferencia entre los valores obtenidos en el modelo con superficies negro mate (C.R.I. = 0) con respecto a los valores obtenidos en el modelo con superficies blanco mate (reflectancia = 85%); observándose una contribución entre un 14% y 80% (Tabla 3).

Con respecto a los valores del Factor de Luz Diurna y nivel lumínico según normativa; se observó, que en el modelo con superficies blanco mate, los valores obtenidos

de F.L.D. se ubicaron entre 0,6% y 4,36%, alcanzándose el nivel promedio para tareas de dificultad reducida y mediana en el período de 09:00 a.m. a 01:00 p.m.; con relación a los niveles de iluminación obtenidos sobre el plano de trabajo, en el período de 08:00 a.m. a 04:00 p.m., los valores se encontraron entre 99 lux y 4.971 lux (promedio: 1.573 lux); siendo posible las tareas y áreas de trabajo establecidas en la Norma COVENIN, en los puntos y de acuerdo a los niveles lumínicos indicados en: 1(A,B,C), 2(A,B,C), 3(A,B,C), 4(A,B); entre 08:00 a.m. y 02:00 p.m. 4(C), 5(A,B); entre 09:00 a.m. y 01:00 p.m. 5(C), 6(A) y entre 10:00 a.m. y 12:00 m. 6(B,C), y 7(A,B).

### **Desempeño lumínico - térmico de Componentes de Conducción de Luz Natural con respecto a la abertura lateral**

El período de medición estuvo comprendido entre las 12:00 m. y la 01:37 p.m.; observándose, una diferencia entre 1 y 3 veces, los valores de iluminación (Lux) obtenidos en el interior del espacio con abertura lateral, con respecto al modelo con Componente de Conducción de Luz Natural (Fig. 5).

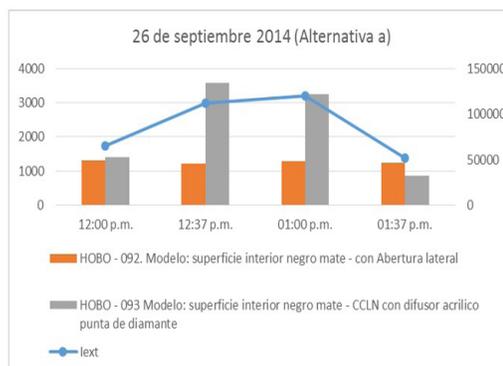


Figura 5. Comparación Modelo con Abertura Lateral y con Componente de Conducción de Luz Natural.

En el modelo con la abertura lateral, los valores obtenidos del Factor de Luz Diurna (F.L.D.) en el período de estudio se ubicaron entre 1,07% y 2,37%, pudiéndose desarrollar tareas de reducida dificultad, el nivel para la realización de tareas de mediana dificultad se obtuvo con los valores más bajos de iluminación horizontal exterior: 52.100 lux y 65.000 lux. Con relación a los niveles de iluminación obtenidos sobre el plano de trabajo, en el período estudiado, los valores se localizaron entre 1.210 lux y 1.321 lux (promedio: 1.264 lux), siendo posible las tareas y áreas de trabajo establecidas en la Norma COVENIN, en los puntos y de acuerdo a los niveles de iluminación indicados en: 1(A,B,C); 2(A,B,C); 3(A,B,C); 4(A,B,C); 5(A,B,C) y 6(A).

Tabla 3. Contribución de la Componente de Reflexión Interna (C.R.I.) a través de los modelos con superficies internas blanco mate.

**Modelo con CCLN difusor acrílico punta diamante**

HORA	I <sub>ext</sub> (Lux)	I <sub>int</sub> (Lux)		Diferencia (Lux)	% C.R.I.
		Superficie interior negro mate	Superficie interior blanco mate		
08:00 a.m.	64.400	114	572	458	80
09:00 a.m.	76.900	501	1.171	670	57
10:00 a.m.	103.900	792	2.054	1.262	61
11:00 a.m.	113.900	4.127	4.971	844	17
12:00 m.	68.000	2.156	2.558	402	16
01:00 p.m.	83.400	1.258	1.470	212	14
02:00 p.m.	82.600	343	816	473	58
03:00 p.m.	60.500	154	445	291	65
04:00 p.m.	16.500	36	99	63	64

Los valores obtenidos en el modelo con Componente de Conducción de Luz Natural, fueron referidos en el aparte correspondiente a la fecha: 26 de septiembre.

En lo que corresponde al desempeño térmico, en esta experiencia, la temperatura media del ambiente exterior ( $T_m(e)$ ) y su amplitud ( $\Delta T_e$ ) resultaron de  $35,7^\circ\text{C}$  y  $7,4^\circ\text{C}$  respectivamente; observándose una temperatura media que supera el valor estadístico de referencia en la ciudad y una amplitud dentro del rango de referencia. Con estos valores, el modelo con abertura lateral, presenta una diferencia sobre la temperatura media exterior de  $1,9^\circ\text{C}$  y una diferencia en la amplitud de  $2,20^\circ\text{C}$ ; el modelo con CCLN, presenta una diferencia sobre la temperatura media exterior de  $0,5^\circ\text{C}$ , y con respecto a la amplitud  $1,00^\circ\text{C}$ . Con relación a las temperaturas máximas y mínimas, el valor máximo en el modelo con abertura lateral superó el valor máximo exterior en  $3,1^\circ\text{C}$  y el modelo con CCLN, lo superó en  $0,9^\circ\text{C}$ . Con relación a los valores mínimos, el primer modelo se encuentra por encima del valor mínimo exterior  $0,9^\circ\text{C}$  y el segundo modelo  $0,2^\circ\text{C}$  por debajo del valor mínimo exterior (Fig. 6).

En la Tabla 4, se presenta un resumen de las experiencias llevadas a cabo con dispositivos de conducción de luz natural.

**Estimación del ahorro de energía**

Con base en los niveles de flujo alcanzados por el dispositivo (CCLN), se puede establecer, a través de una comparación de consumos energéticos, cuál fue el ahorro

de energía eléctrica destinada a iluminación que puede generar la utilización del dispositivo (Ferrón *et al.* 2010). En este caso, en la Tabla 5, se presentan los valores de flujo luminoso de entrada obtenidos, para las distintas fechas de medición (22, 24, 26 y 27 de septiembre), de acuerdo con los periodos horarios establecidos; y los cuales, fueron determinados a partir de los valores de Iluminación horizontal exterior (lux).

En la Tabla 6, se presentan valores de rendimiento lumínico obtenidos por la utilización de CCLN para dos de las fechas de estudio en un momento determinado; los cuales se tomaron como referencia para establecer a posterior la comparación con los componentes de iluminación artificial.

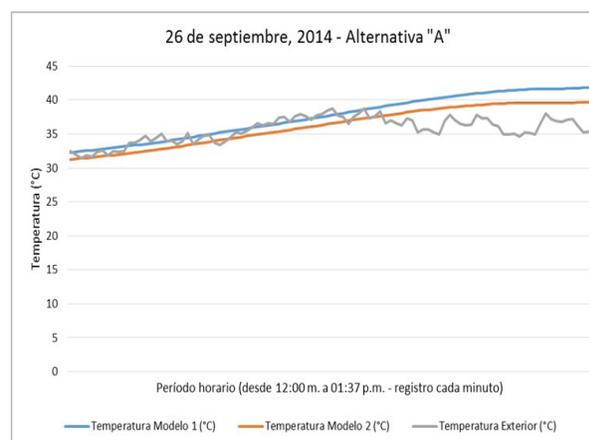


Figura 6. Evolución de la temperatura exterior y de los modelos con Abertura Lateral (Modelo 1) y con CCLN (Modelo 2).

Tabla 4. Resumen de las experiencias llevadas a cabo con dispositivos de conducción de luz natural.

Desempeño de los dispositivos evaluados							
Experiencia	Descripción	F.L.D. %	Nivel luminico que abarca en normativa (lux)	% flujo de entrada	Distribución luminosa	Uniformidad (min/prom)	Componente Reflejada Interna (C.R.I.)
1	BS (sup.int. negro mate)	No alcanzó el nivel mínimo según normativa	20-300	4,52	Semi directa	0,7	-
	CCLN-DAPD (sup.int. negro mate)	Reducida - Mediana	20-1500	11,34	Directa	0,7	-
2	2A BS (sup.int. negro mate)	No alcanzó el nivel mínimo según normativa	20-200	4,52	Semi directa	0,6	-
	2B BS sup.int. blanco mate)	No alcanzó el nivel mínimo según normativa	20-300	4,52	Semi directa	0,7	72%
3	3A CCLN-DAPD (sup.int. negro mate)	Reducida - Mediana	20-3000	11,34	Directa	0,7	-
	3B CCLN-DAPD (sup.int. blanco mate)	Reducida - Mediana	20-3000	11,34	Directa	0,7	48%
3	3C AL (sup.int. negro mate)	Reducida - Mediana	20-1000	-	-	0,9	-
	3C CCLN-DAPD (sup.int. negro mate)	Reducida - Mediana	20-3000	11,34	Directa	0,6	-
	3C AL (sup.int. negro mate)	Reducida - Mediana	20-1000	-	-	0,6	-
	3C BS (sup.int. negro mate)	No alcanzó el nivel mínimo según normativa	20-200	4,52	Semi directa	0,6	-
4	3C AL (sup.int. negro mate)	Reducida - Alta	20-20000	-	-	0,4	-
	SA	-	-	-	-	-	-
4	CCLN-DVC (sup.int. blanco mate)	Reducida - Alta	20-3000	11,34	Directa	0,7	49%
	CCLN-DVC (sup.int. negro mate)	Reducida - Alta	20-10000	11,34	Directa	0,4	-
5	CCLN-DVC (sup.int. blanco mate)	Reducida - muy alta	20-10000	11,34	Directa	0,7	-
BS		Botella Solar					
CCLN-DAPD		Componente de Conducción de Luz Natural Difusor Acrílico Punta Diamante					
AL		Abertura lateral					
CCLN-DVC		Componente de Conducción de Luz Natural Difusor Vidrio Claro					

Tabla 5. Flujo de entrada (lm), para las distintas fechas - Modelo: superficies internas negro mate

Flujo de entrada (Lm) – Modelo: superficies internas negro mate								
Hora	22 Sept (CCLN-DAPD)		24 Sept (CCLN-DAPD)		26 Sept (CCLN-DAPD)		27 Sept (CCLN-DVC)	
	Iext (Lux)	Flujo de entrada (lm)	Iext (Lux)	Flujo de entrada (lm)	Iext (Lux)	Flujo de entrada (lm)	Iext (Lux)	Flujo de entrada (lm)
08:00 a.m.	66.100	7.496	64.400	7.304				
09:00 a.m.	92.600	10.502	76.900	8.721				
10:00 a.m.	84.300	9.561	103.900	11.783				
11:00 a.m.	91.400	10.366	113.900	12.918				
11:23 a.m.					65.000	7.372	81.000	9.186
12:00 m.	47.200	5.353	68.000	7.712	111.700	12.668	121.900	13.825
12:23 p.m.					120.400	13.655	116.700	13.235
01:00 p.m.	111.900	12.691	83.400	9.459	52.100	5.909	106.700	12.101
01:23 p.m.							102.700	11.647
02:00 p.m.	42.800	4.854	82.600	9.368				
03:00 p.m.	55.400	6.283	60.500	6.861				
04:00 p.m.	13.520	1.533	16.500	1.871				

Tabla 6. Rendimiento lumínico para distintas fechas – Modelo: superficies internas negro mate

Rendimiento lumínico						
Fecha	Hora	Iext (Lux)	Flujo de salida (lm)	Superficie (m2)	Flujo de entrada(lm)	N (%)
22 septiembre	04:00 p.m.	13.520	461	0,1134	1.533	30
24 septiembre	08:00 a.m.	64.400	1.026	0,1134	7.304	14

En cuanto a la determinación del consumo (KWh) de cada bombillo tanto incandescente como fluorescente, tomando en cuenta un promedio de 10 horas diarias encendidos, durante un periodo de un año; estos corresponden, a 219 KWh y a 54,75 KWh respectivamente; resultando el costo por ese consumo al aplicar la tarifa eléctrica según los rangos establecidos por la empresa de electricidad, los presentados en la Tabla 7. En la misma se observa, que de encontrarse el consumo por iluminación repartido dentro del consumo de los 100 KWh (tarifa “A”), el costo anual equivaldría a 12,95 Bs. por cada bombillo incandescente y de 3,24 Bs. por cada bombillo fluorescente o de bajo consumo.

Considerando la vida útil estimada para las lámparas de bajo consumo (8.000 horas), se procedió a determinar también, el gasto producido tanto por el bombillo incandescente, como por el fluorescente (Tabla 8); observándose por ejemplo, que según la

tarifa “A”, se obtiene un gasto de 28,38 Bs. y de 7,09 Bs. respectivamente. Es importante señalar, que adicionalmente, a partir de estos costos puede obtenerse el cálculo del ahorro total; al sumar el costo en el mercado de cada bombillo; siendo necesario tomar en cuenta, que se requieren 8 bombillos incandescentes, para completar las 8.000 horas ya que, la vida útil estimada de los mismos corresponde a 1.000 horas.

La utilización del Componente de Conducción de Luz Natural permite obtener un ahorro en el gasto por energía, con respecto al uso de iluminación artificial, de 219 KWh (bombillos incandescentes) y de 54,75 KWh (bombillos fluorescentes ahorradores de energía).

A continuación se presenta en la Tabla 9, la comparación establecida en función del rendimiento lumínico, entre valores obtenidos a través del CCLN y distintas fuentes de iluminación artificial.

Tabla 7. Costo por consumo según tarifa eléctrica.

Tipo de Bombillo	Tarifa A (100 KWh)	Tarifa B (500 KWh)	Tarifa C (Exceso)
Incandescente	12,95	25,59	69,50
Fluorescente	3,24	6,40	17,38

Tabla 8. Gasto por el uso de cada bombillo durante su vida útil.

Tipo de Bombillo	Tarifa A (100 KWh)	Tarifa B (500 KWh)	Tarifa C (Exceso)
Incandescente	28,38	56,09	152,33
Fluorescente	7,09	14,02	38,08

Tabla 9. Comparación del Componente de Luz Natural con otras fuentes artificiales de iluminación, considerando el rendimiento lumínico.

Comparación CCLN - Fuentes				
Tipo	Potencia (W)	Flujo (lm)	Consumo (lm/W)	Rendimiento (%)
Incandescente claro (Philips)	60	820	13,67	13,67
CCLN (24 sept.)	7.304 (flujo de entrada)	1026	0	14
Halógena	300	5000	17	16,7
CCLN (22 sept.)	1.533 (flujo de entrada)	460	0	30
Vapor de mercurio	125	6300	50	50,4
Fluorescente compacta (Philips)	15	810	54	54
Fluorescente tubular	36	2610	90	72,5

## CONCLUSIONES

Con base en los resultados obtenidos en las distintas experiencias, se puede decir, que en un clima cálido-húmedo como Maracaibo, es posible la utilización de la luz natural a través de Componentes de Conducción de Luz Natural para obtener un ahorro de energía por concepto de iluminación en las edificaciones, durante el periodo diurno; al respecto, se observó:

a) Los niveles lumínicos obtenidos en los modelos con Componente de Conducción de Luz Natural, permiten la realización de actividades y tareas visuales en condiciones normales de iluminación (valores de iluminancia media en servicio), según lo establecido en la Norma COVENIN 2249-93 (1993).

b) A través de la contribución del componente de reflexión interna (superficies internas blanco mate), se logró un incremento promedio de la iluminación de un 48%, lo que puede utilizarse para favorecer el desempeño visual.

c) Comparado con la abertura lateral, el CCLN presentó un mejor desempeño lumínico-térmico; ya que, a través del mismo, se obtuvieron niveles de iluminación

más altos con una menor ganancia térmica en el interior del espacio. Igualmente, se obtuvieron valores de Factor de Luz Diurna (F.L.D.), dentro de los parámetros para la realización de actividades de acuerdo al requerimiento visual indicado en normativa.

Considerando el principio de “eficiencia energética”; en cuanto al ahorro que puede obtenerse a partir de la reducción del consumo energético sin disminuir el confort y la calidad de vida; se observó, que los dispositivos brindaron un rendimiento lumínico alto sin consumo de energía, lo que ubica esta estrategia como factible para la obtención de las condiciones lumínicas adecuadas para el desarrollo de las actividades; para lo cual, se recomienda la realización de investigaciones que permitan la obtención de registros de iluminación exterior e interior por periodos mayores de tiempo; así como también la evaluación del aspecto cualitativo (control del deslumbramiento, distribución de las luminancias y distribución de iluminación); ya que, si bien es un recurso que puede ser aprovechado en las edificaciones, se debe adecuar la cantidad de luz a través de las aberturas, para lograr un equilibrio lumínico-térmico, cuando la misma sea utilizada como fuente única de luz, o con la iluminación artificial como complemento, manteniendo las condiciones de confort de los usuarios.

## REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS

- COVENIN (COMISIÓN VENEZOLANA DE NORMAS INDUSTRIALES, MINISTERIO DE FOMENTO). 1993. Norma COVENIN 2249-93. ISBN: 980-6019-34-2. CDU: 628.976.28.977. Publicación de FONDONORMA, Caracas. Disponible en línea en: [http://www.inpsasel.gob.ve/moo\\_doc/COVENIN\\_2249\\_1993.pdf](http://www.inpsasel.gob.ve/moo_doc/COVENIN_2249_1993.pdf) (Acceso 09.10.2014).
- FERRÓN L, PATTINI A, LARA MA. 2010. Sistema innovativo de iluminación natural y ventilación pasiva de bajo costo. Caracterización lumínica. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. Vol. 14, Impreso en la Argentina.
- GONZÁLEZ R. 2013. El ahorro de energía en Venezuela. Revista CONTACTOS de la Cámara de Comercio Venezolano-Alemán (CAVENAL), Edición IV, pp. 4-5. Disponible en línea en: <http://www.rga-ip.com/?q=publicaciones/el-ahorro-de-energia-en-venezuelauña>. (Acceso 10.11.2014).
- GONZÁLEZ E, GONZÁLEZ S. 2013. Estudio experimental sobre el comportamiento térmico de un nuevo tipo de techo - estanque para el enfriamiento pasivo en clima húmedo. Revista Ambiente Construido. 13(4). Disponible en línea en: <http://dx.doi.org/10.1590/S1678-86212013000400011>. (Acceso 09.10.2014).
- GONZÁLEZ E, HINZ E, DE OTEIZA P, QUIROS C. 1986, Proyecto Clima y Arquitectura. Volumen 2. Ediciones Gustavo Gili S.A., México DF, México, pp. 215.
- INAMEH (INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA). 2011. Reporte de Estación Climatológica Zulia. Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. Disponible en línea en: <http://www.inameh.gob.ve>. (Acceso 09.10.2014).
- MPPEE (MINISTERIO DEL PODER POPULAR PARA LA ENERGÍA ELÉCTRICA). 2011. Despacho del Ministro. Medidas para el ahorro energético. República Bolivariana de Venezuela. Caracas, Venezuela, N° 77. 201° y 152. Disponible en línea en: [http://www.minpi.gob.ve/minpi/images/stories/medidas\\_para\\_el\\_ahorro\\_energet.pdf](http://www.minpi.gob.ve/minpi/images/stories/medidas_para_el_ahorro_energet.pdf). (Acceso 09.11.2014).
- PEINADO M. 2006. Manual para dimensionamento de aberturas e otimização da iluminação natural na arquitetura. São Paulo: FAUUSP, pp. 84
- PHILIPS LIGHTING. 2010-2011. Catálogo General de Lámparas Philips Ver.23082010. México. Disponible en línea en: [http://www.lighting.philips.com/pwc\\_li/mx\\_es/connect/tools\\_literature/assets/pdfs/Catalogo\\_Philips\\_2010%20%284%29.pdf](http://www.lighting.philips.com/pwc_li/mx_es/connect/tools_literature/assets/pdfs/Catalogo_Philips_2010%20%284%29.pdf). (Acceso 09.11.2014).
- QUIRÓS C. 1989. La insolación en Maracaibo. Maracaibo: La Universidad del Zulia, Facultad de Arquitectura y Diseño [Ascenso Profesor Titular], pp. 173.
- RAITELLI M. 2006. Diseño de la iluminación de interiores - edUtecNe. Capítulo 8. Disponible en línea en: <http://www.edutecne.utn.edu.ar/eli-iluminacion/cap08.pdf> (Acceso 14.07.2014).
- RAITELLI M, COSTILLA M, SORIA A. 2004. Fotometría de lumiductos. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. AVERNA Argentina. 8(2). Disponible en línea en: <http://www.asades.org.ar/modulos/averma/trabajos/2007/2007-t008-a020.pdf> (Acceso: 14.07.2014).
- SCULPTTHEFUTUREFOUNDATION.S/F.Disponible en línea en: <http://sculptthefuturefoundation.org/portfolio/my-shelter-foundation-global-lighting-project/> (Acceso: 20.01.2014).