

DEPÓSITO LEGAL ppi 201502ZU4666

Esta publicación científica en formato digital  
es continuidad de la revista impresa

ISSN 0041-8811

DEPÓSITO LEGAL pp 76-654

# Revista de la Universidad del Zulia



Fundada en 1947  
por el Dr. Jesús Enrique Lossada

**Ciencias**  
**del Agro,**  
**Ingeniería y**  
**Tecnología**

**Año 6 N° 14**

Enero - Abril 2015

Tercera Época

Maracaibo - Venezuela

# Componente de conducción de luz natural y botella solar. Análisis comparativo utilizando modelos a escala en clima cálido – húmedo\*

*Rosalinda González Gómez\**

---

## RESUMEN

El objetivo del trabajo es presentar un análisis comparativo del comportamiento lumínico y térmico de modelos con: Componente de Conducción de Luz Natural (CCLN) y con Botella Solar (BS), en clima cálido - húmedo. En el monitoreo, se obtuvieron registros de temperatura interior y exterior, humedad relativa y nivel lumínico. Para el análisis lumínico, se estableció comparación de los niveles de iluminación interior y factor de luz diurna con normativa existente; así mismo, a partir de los datos de mediciones de iluminancia directa se aplicaron procedimientos de cálculo para determinar la intensidad luminosa aplicando la Ley de la Inversa del cuadrado (Raitelli, 2004), y realizar el modelado de la fotometría. Para el análisis térmico, se estableció la comparación entre temperaturas en el interior de los modelos con las del ambiente exterior. Se observa un mejor desempeño lumínico y térmico en el modelo con Componente de Conducción de Luz Natural (CCLN).

**PALABRAS CLAVE:** Componente de conducción de luz natural, botella solar, modelos a escala, iluminación natural.

\* Facultad de Arquitectura y Diseño de la Universidad del Zulia, [rosalindag2002@yahoo.es](mailto:rosalindag2002@yahoo.es)

## *Conduction component of natural light and solar bottle. Comparative analysis using a scale model in hot – warm climate*

---

### ABSTRACT

The main goal of this work is to present a comparative analysis of thermal and light behavior of models with conduction component of natural light (CCLN in Spanish) and with solar bottle (BS in Spanish) in hot - warm climate. While monitoring, records of inside and outside temperature, relative humidity and light level were obtained. For light analysis, comparing of inside light levels and daylight factor with existing standards was established. Similarly, procedures of calculation to determine light intensity according to Inverse-square Law (Raitelli, 2004), as well as to do photometry modeling were applied. For thermal analysis, comparing temperatures between inside models and outside environment was established. It is observed a better light and thermal performance in the model of conduction component of natural light (CCLN).

**KEYWORDS:** conduction component of natural light, solar bottle, scale model, natural light.

## Introducción

La principal fuente de luz natural es el sol; por esta razón, en el diseño de iluminación de las edificaciones se debe considerar tanto la componente lumínica como la componente térmica de la radiación solar. Un buen diseño de iluminación no necesariamente implica el uso de grandes aberturas (laterales o cenitales); lo importante, es el conocimiento de las características, propiedades y diferencias de las mismas como fuentes lumínicas, para lograr un manejo equilibrado de la luz tanto cuantitativa (niveles de iluminación) como cualitativamente (distribución de luminancias, deslumbramiento) en función de las actividades a realizar en los espacios.

A nivel de los usuarios de las edificaciones, el asociar la entrada de luz natural con la ganancia de calor al interior de las mismas, es algo inevitable; lo que los lleva a utilizar elementos de control solar que disminuyen el nivel

lumínico necesario para el desarrollo de las actividades (toldos, cortinas, persianas, protecciones solares, etc.). Hasta ahora, la fuente de luz natural más utilizada son las ventanas; sin embargo, en algunos países como: España, Alemania, Italia, Argentina, Colombia, Cuba, se han realizado estudios, así como también promovido y comercializado el uso de Componentes de Conducción de Luz Natural (lumiducto) como alternativa para transportar iluminación natural a espacios donde por razones de diseño no es posible utilizar aberturas laterales. Es por ello que la búsqueda de este trabajo se dirige hacia la utilización de estos componentes para garantizar la iluminación necesaria para el desarrollo de las actividades, con una menor ganancia de calor hacia el interior de los espacios (menor área de abertura expuesta a la radiación solar); sin que esto signifique, sacrificar la utilización de aberturas laterales en el diseño, con sus respectivas funciones de ventilación, visuales y relación con el exterior.

Los resultados de esta experiencia forman 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. En el trabajo se plantea un análisis comparativo del comportamiento lumínico y térmico de modelos con dispositivos de conducción de luz natural, con base en los registros de iluminación y temperatura, obtenidos de mediciones bajo condiciones de cielo real. Para el comportamiento lumínico se establece la comparación de los niveles de iluminancia interior obtenidos y los valores del Factor de Luz Diurna (FLD) calculados, con respecto a lo expresado en normativa según actividad y/o espacio; al tiempo que se realiza un estudio fotométrico de los dispositivos analizados, basado en la Ley de la Inversa de los Cuadrados, siguiendo la metodología propuesta por Raitelli (2004), lo que permitirá el manejo de la información como si fueran luminarias convencionales. Para el análisis térmico se establece la comparación entre temperaturas en el interior de los modelos con respecto a las obtenidas en el ambiente exterior.

El trabajo se encuentra basado en estudios relacionados con los sistemas de transporte de luz natural, específicamente el caso de los lumiductos y su estudio en modelos a escala (Ferrón et al (2005, 2007 y 2010); Pattini et al (2003); y por otra parte, lo relacionado con el estudio fotométrico aplicado a este tipo de dispositivo (Raitelli, 2004 y 2006). Mediante este trabajo se espera evidenciar aspectos a nivel del comportamiento lumínico y térmico en modelos con dispositivos de conducción de luz natural, que permitan a posteriori sentar las bases para el planteamiento y/o adecuación de los mismos y su utilización en edificaciones con criterios de sustentabilidad en climas cálido - húmedo.

## 1. Metodología

### 1.1 Condiciones climáticas de referencia

La ciudad de Maracaibo, estado Zulia - Venezuela ( $10^{\circ}40.5'$  latitud norte y  $71^{\circ}37.3'$  longitud oeste), está clasificada como clima cálido - húmedo; caracterizándose por temperaturas y humedades relativas que varían muy poco durante el año, siendo sus valores medios entre  $27.9^{\circ}\text{C}$  a  $31.2^{\circ}\text{C}$  (Temperatura media:  $29.6^{\circ}\text{C}$ ) y de 71% a 83% (Humedad relativa media: 78%) respectivamente; con amplitudes de  $5.2^{\circ}\text{C}$  a  $7^{\circ}\text{C}$ . Durante el año, se observan dos períodos 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. La precipitación anual promedio varía entre 450 y 550 mm y la radiación global media diaria es de  $4.2 \text{ kWh/ m}^2$  (González, E., González, S. 2013).

### 1.2 Descripción de la metodología

La experiencia se llevó a cabo en el sector 18 de octubre de la ciudad de Maracaibo, estado Zulia, el día 22 de septiembre de 2014. Para el monitoreo, se utilizaron en el interior de los modelos a escala, unos registradores de datos (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: 0 a 35.000 lux), 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. El período horario establecido es el indicado en tabla 1.

TABLA 1. Relación hora solar y hora legal

FECHA	HORA SOLAR								
	08:00 a.m.	09:00 a.m.	10:00 a.m.	11:00 a.m.	12:00 m.	01:00 p.m.	02:00 p.m.	03:00 p.m.	04:00 p.m.
	HORA LEGAL								
22 septiembre 2014	08:09 a.m.	09:09 a.m.	10:09 a.m.	11:09 a.m.	12:09 m.	01:09 p.m.	02:09 p.m.	03:09 p.m.	04:09 p.m.

Para garantizar la altura del sensor a la altura del plano de trabajo (0.90 m), se diseñó una base para insertar los dataloggers (Figura 1).



FIGURA 1. Base para dataloggers a la altura del plano de trabajo en el modelo a escala.

Fuente: R. González, septiembre, 2014.

### 1.3 Modelos

Los modelos se realizaron a escala 1:10, en material MDF de 9 mm de espesor, de dimensiones 3 m x 3 m x 3 m. Para evitar las infiltraciones de luz en el interior de los modelos, cinco de las caras están selladas y la cara superior, se trabajó para acoplar perfectamente.

#### 1.3.1 Modelo con Componente de Conducción de Luz Natural (CCLN)

Este modelo tiene el dispositivo ubicado en el centro de la cubierta superior; color de las superficies internas: negro mate (Figura 2).

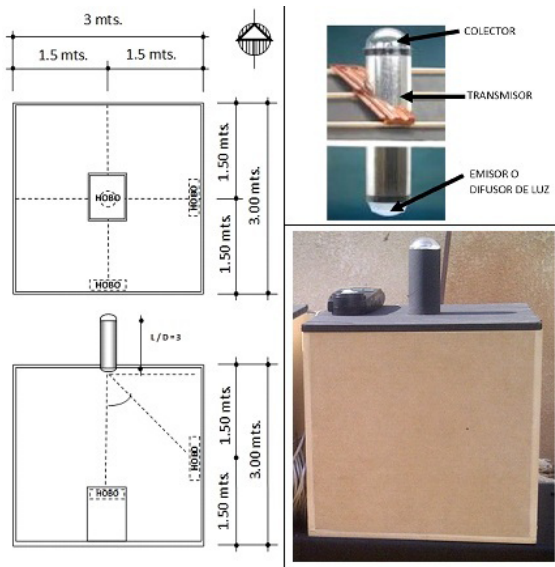


FIGURA 2. Modelo con Componente de Conducción de Luz Natural (CCLN).

Fuente: R. González, 2014.

Los Componentes de Conducción de Luz Natural constan 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) según la relación [1]:

$$L / D = 3 \quad [1]$$

Donde:

L: longitud

D: diámetro

Dicha relación provee el 70% de la iluminancia que ingresa por un lucernario de la misma sección o boca de entrada de luz (Oakley, 2000 citado por Pattini et al, 2003). Para simular la superficie interna reflectante del tubo, se utilizó papel vinil cromado autoadhesivo. El colector se realizó en acrílico transparente de 3 mm de espesor; y el difusor, se realizó en acrílico transparente punta de diamante, de 3 mm de espesor (Figura 3).

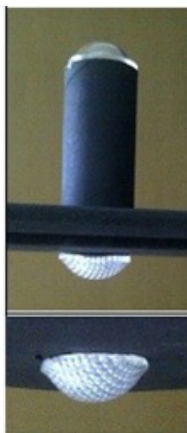


FIGURA 3. Componente de Conducción de Luz Natural (CCLN).

Fuente: R. González, Agosto, 2014.

### 1.3.2 Modelo con Botella Solar o Botella de Luz

Este modelo tiene el dispositivo ubicado en el centro de la cubierta superior; el color de las superficies internas del modelo es negro mate. Este dispositivo está basado en la experiencia llevada a cabo por el Movimiento “Un litro de luz”; para ello, se seleccionó un frasco plástico transparente de alto 0.90 m y diámetro 0.24 m (según las escala de trabajo); el cual, se llenó de agua (Figura 4).

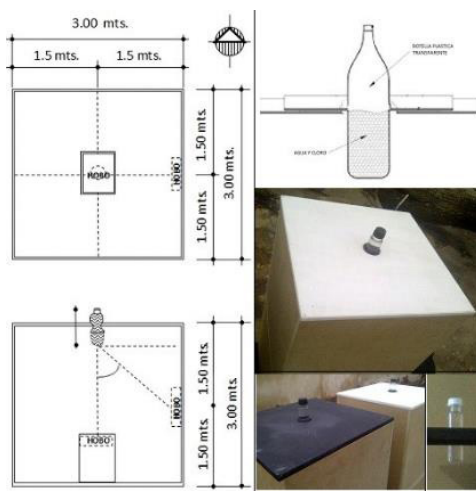


FIGURA 4. Modelo con botella solar en cubierta superior.

Fuente: R. González, Agosto, 2014.



Una vez obtenido el registro de iluminación, se procedió a determinar el Factor de Luz Diurna (F.L.D.); para ello, se estableció la relación entre la iluminancia interior (lux) y la iluminancia horizontal exterior (lux) sin obstáculos, expresado en porcentaje [2]:

$$\text{F.L.D} = \text{lint} / \text{lext} * 100 \quad [2]$$

Donde:

lint: iluminancia natural interior

lext: iluminancia horizontal exterior

Para establecer la comparación se utilizó la tabla 2 con valores recomendados en norma IRAM-AADL j20-02 (para el Factor de Luz Diurna promedio según la dificultad de la tarea (citado por Raitelli, 2006).

**TABLA 2. Valores recomendados en norma IRAM-AADL j20-02 para el Factor de Luz Diurna promedio según la dificultad de la tarea (citado por 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, etc.
Mediana	2	Inspección general, trabajo común de oficina
Alta	5	Trabajos de costura, dibujo. etc.
Muy alta	10	Montaje e inspección de mecanismos delicados

Para establecer la comparación con niveles de iluminación según normativa, se utilizó lo indicado en la Norma Venezolana COVENIN 2249-93, 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 3).

**TABLA 3. Tipos Generales de Actividad en Áreas Interiores (Norma Venezolana**

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	Local en el área de la tarea (L)
4. Realización de tareas visuales con objetos de tamaño grande o contraste elevado	200	300	500	
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	

COVENIN 2249 - 93 (Iluminancias en tareas y áreas de trabajo), pág. 5

Para el análisis fotométrico se utilizó la metodología desarrollada por Raitelli (2004), donde se maneja este tipo de dispositivo como luminaria convencional (fuente puntual), pudiéndose aplicar la Ley de la Inversa de los Cuadrados para determinar la iluminancia directa ( $E_p$ ) que produce una luminaria en un punto. Dicha Ley establece que la iluminancia directa es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia desde la luminaria hasta el punto de cálculo (Raitelli, 2006); utilizándose la expresión [3] para determinar la iluminancia en la dirección normal a la incidencia de  $I_\gamma$ :

$$E_p = I_\gamma / d^2 \quad [3]$$

Donde:

$I_\gamma$  : Intensidad luminosa en la dirección del punto P (candelas)

$d^2$ : Distancia luminaria - punto de cálculo en metros

Para determinar la iluminancia horizontal ( $E_{ph}$ ) y/o la iluminancia vertical ( $E_{pv}$ ) (Figura 5), se utilizan las siguientes expresiones:

$$E_{ph} = l\gamma * \cos^3(\gamma) / h^2 \quad [4]$$

$$E_{pv} = l\gamma * \cos^2(\gamma) * \text{sen}(\gamma) / h^2 \quad [5]$$

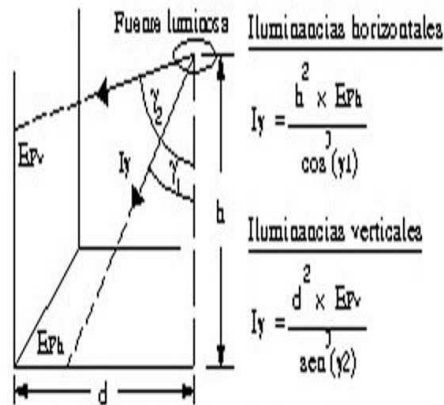


FIGURA 5. Iluminancia según Ley de la inversa de los cuadrados (Ferrón et al, 2007)

Para el flujo luminoso de entrada se aplicó el valor resultante de la expresión (Ferrón et al, 2010):

$$\phi_e = \text{lext} * S \quad [6]$$

Donde:

$\phi_e$ : Flujo luminoso de entrada (lm)

lext: Iluminancia horizontal exterior (lux ó lm/m<sup>2</sup>)

S: Superficie de entrada de la boca del dispositivo (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 [7].

$$\eta = \phi_s / \phi_e * 100 \quad [7]$$

Donde:

$\eta$ : Rendimiento lumínico (%).

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

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

Para el modelado de la fotometría, los valores de intensidad luminosa de los dispositivos, se determinaron con funciones de la forma (Raitelli, 2004):

$$I_\gamma = I_0 * \cos^2 (\gamma) \quad [8]$$

Donde:

$I_0$ : valor de intensidad luminosa en la dirección del nadir ( $\gamma = 0$ ).

## 2. Resultados

### 2.1 Comportamiento lumínico

Para la fecha de estudio, el tipo de cielo presente en la localidad al momento de las mediciones, corresponde en un 67 %, a cielo nublado (5 - 7 octas de nubosidad), siendo los valores de iluminancia exterior los observados en figura 6.

HORA	08:09 a.m.	09:09 a.m.	10:09 a.m.	11:09 a.m.	12:09 p.m.	01:09 p.m.	02:09 p.m.	03:09 p.m.	04:09 p.m.
lext (Lux)	66100	92600	84300	91400	47200	111900	42800	55400	13520
Condiciones del cielo (Observación directa)									

FIGURA 6. Condiciones del cielo para el 22 de Septiembre, 2014

Fuente: R. González, 2014.

En esta experiencia, donde no se consideró la componente de interreflexión interna para ambos modelos (superficies internas negro mate), se observaron las menores diferencias de iluminación interior durante las dos horas correspondientes al comienzo y al final de las mediciones; en el período intermedio, los valores de iluminación obtenidos con el CCLN difusor acrílico punta diamante superaron entre 3 y 9 veces los valores obtenidos en el interior del espacio a través de la Botella Solar (Figura 7)

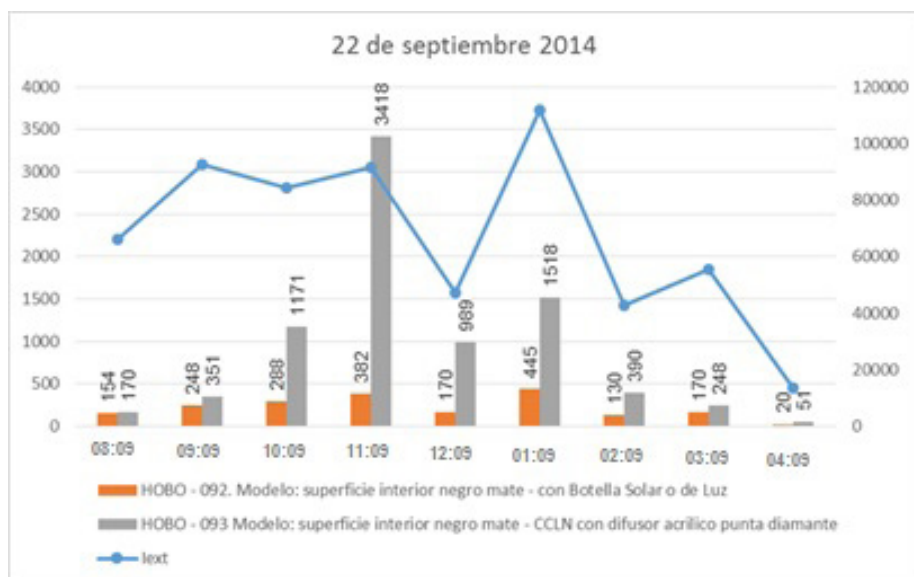


FIGURA 7. Resultados para el 22 de Septiembre, 2014.

Fuente: R. González, 2014.

En el modelo con el dispositivo Botella Solar, los valores obtenidos del Factor de Luz Diurna (F.L.D.) son inferiores a 0,5 %; no cumpliendo con los valores mínimos y promedios establecidos en normativa según la dificultad de la tarea y el tipo de edificaciones. En relación a los niveles de iluminación obtenidos sobre el plano de trabajo, en el período de 08:00 a.m. a 03:00 p.m., los valores se encuentran entre 130 lux y 445 lux (promedio: 223 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), 3 (A,B); también se obtuvo el nivel lumínico para tareas y áreas de trabajo con mayor exigencia a nivel visual: 3 (C) y 4 (A, B), con los rangos de iluminancia horizontal exterior entre 84300 lux - 111900 lux.

En el modelo con el dispositivo CCLN difusor acrílico punta diamante, se obtuvieron valores de 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 (F.L.D. = 1% y 2 % respectivamente). En 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 encuentran entre 50 lux y 3418 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).

En relación al estudio fotométrico, se determinó el flujo de entrada de cada uno de los dispositivos en las distintas horas y se procedió a calcular la intensidad luminosa con el valor de la medición directa de iluminancia en el plano normal al dispositivo; dicho valor se utilizó para realizar el modelado de las intensidades luminosas según los distintos ángulos de incidencia en uno de los planos (tablas 4 y 5).

**TABLA 4. Intensidad luminosa del modelo con botella solar, en función del ángulo de elevación ( $\gamma$ ), determinada en distintos horarios.**

RESULTADOS MODELO CON BOTELLA SOLAR									
Hora solar	08:00 a.m.	09:00 a.m.	10:00 a.m.	11:00 a.m.	12:00 m.	01:00 p.m.	02:00 p.m.	03:00 p.m.	04:00 p.m.
lext (Lux)	66100	92600	84300	91400	47200	111900	42800	55400	13520
lint (Lux)	154	248	288	382	170	445	130	170	20
MODELADO DE LA FOTOMETRIA									
FLUJO DE ENTRADA									
Lumen (lm)	2990	4189	3814	4135	2135	5062	1936	2506	612
FLUJO DE LLEGADA SOBRE PLANO DE TRABAJO									
Lumen (lm)	74,6	120,5	139,6	185,5	82,2	216,1	63,1	82,2	9,6
Angulo de elevación $\gamma$ (grados)	INTENSIDAD LUMINOSA (cd)								
0	470,71	760,42	881,39	1171,10	519,09	1364,04	398,43	519,09	60,33
10	456,51	737,5	854,8	1135,8	503,4	1322,9	386,4	503,4	58,5
20	415,64	671,5	778,3	1034,1	458,4	1204,5	351,8	458,4	53,3
30	353,03	570,3	661,0	878,3	389,3	1023,0	298,8	389,3	45,2
40	276,22	446,2	517,2	687,2	304,6	800,5	233,8	304,6	35,4
50	194,48	314,2	364,2	483,9	214,5	563,6	164,6	214,5	24,9
60	117,68	190,1	220,3	292,8	129,8	341,0	99,6	129,8	15,1
70	55,06	89,0	103,1	137,0	60,7	159,6	46,6	60,7	7,1
80	14,19	22,9	26,6	35,3	15,7	41,1	12,0	15,7	1,8
90	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

**TABLA 5. Intensidad luminosa del modelo con CCLN difusor acrílico punta diamante, en función del ángulo de elevación ( $\gamma$ ), determinada en distintos horarios.**

RESULTADOS MODELO CON CCLN DIFUSOR ACRÍLICO PUNTA DIAMANTE									
Hora solar	08:00 a.m.	09:00 a.m.	10:00 a.m.	11:00 a.m.	12:00 m.	01:00 p.m.	02:00 p.m.	03:00 p.m.	04:00 p.m.
Iext (Lux)	66100	92600	84300	91400	47200	111900	42800	55400	13520
Iint (Lux)	170	351	1171	3418	989	1518	390	248	51
MODELADO DE LA FOTOMETRIA									
FLUJO DE ENTRADA									
Lumen (lm)	7496	10502	9561	10366	5353	12691	4854	6283	1533
FLUJO DE LLEGADA SOBRE PLANO DE TRABAJO									
Lumen (lm)	82,2	170,2	567,9	1657,9	480,0	736,2	189,3	120,5	24,8
Angulo de elevación $\gamma$ (grados)	INTENSIDAD LUMINOSA (cd)								
0	644,52	1333,91	4451,58	12995,42	3762,19	5770,67	1483,73	944,16	194,68
10	625,1	1293,7	4317,3	12603,6	3648,7	5596,7	1439,0	915,7	188,8
20	569,1	1177,9	3930,8	11475,2	3322,1	5095,6	1310,2	833,7	171,9
30	483,4	1000,4	3338,7	9746,6	2821,6	4328,0	1112,8	708,1	146,0
40	378,2	782,8	2612,3	7626,0	2207,7	3386,4	870,7	554,1	114,2
50	266,3	551,1	1839,3	5369,4	1554,4	2384,3	613,0	390,1	80,4
60	161,1	333,5	1112,9	3248,9	940,5	1442,7	370,9	236,0	48,7
70	75,4	156,0	520,7	1520,2	440,1	675,0	173,6	110,4	22,8
80	19,4	40,2	134,2	391,9	113,4	174,0	44,7	28,5	5,9
90	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Fuente: R. González, 2014.

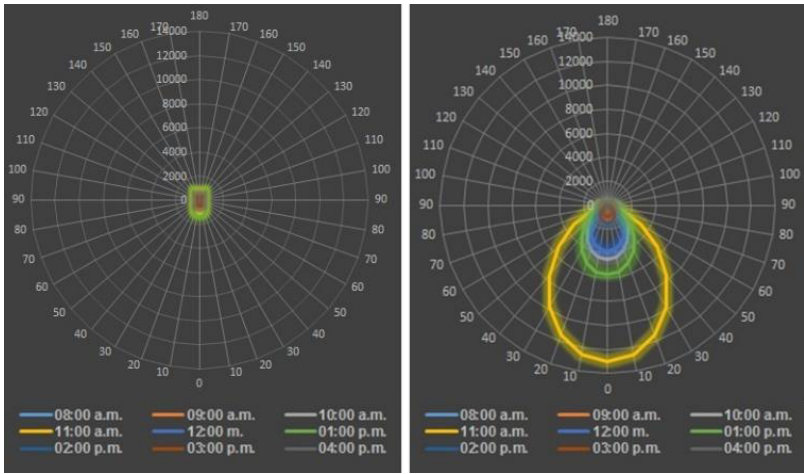


FIGURA 8. Distribución de la Intensidad luminosa en un plano para el modelo con Botella Solar y para el modelo con CCLN difusor acrílico punta diamante, en las diferentes horas.

Fuente: R. González, 2014.

Para interpretar gráficamente la distribución de la luz en el espacio, a partir de las curvas de intensidad luminosa representadas en el diagrama polar (figura 8), se consideró el ángulo definido por el límite de 50% de la intensidad luminosa máxima (Harper, 2010); al respecto, Galante (2014) realiza una aproximación del haz principal de la luminaria, con el ángulo definido por las secantes que se forman de la unión del origen, con los puntos en que la curva de intensidad alcanza el valor  $I_{MAX} / 2$  (Figura 9).

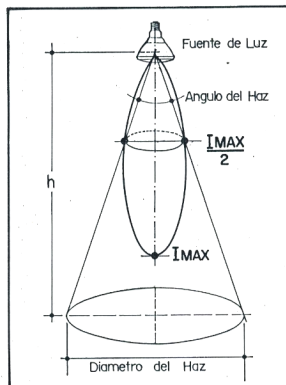


FIGURA 9. Apertura del haz principal de una luminaria

Fuente: <http://www.google.co.ve/ur?url=http://www.tallerberio.com.uy/>



El autor refiere que se considera el sector de la curva de intensidad polar comprendido entre el punto de corte con la secante y el origen. Si existe una coincidencia de ese sector de la curva con la secante, indica que la emisión de la luminaria por encima de este ángulo no es significativa y se traduciría en una mayor definición del punto de corte en la intersección del haz con los planos a iluminar (mayor contraste luz - sombra); si en cambio los valores de intensidad por encima de la secante disminuyen gradualmente, no existirá visualmente un límite preciso para la intersección de la emisión con los planos a iluminar (transición gradual entre luz - sombra).

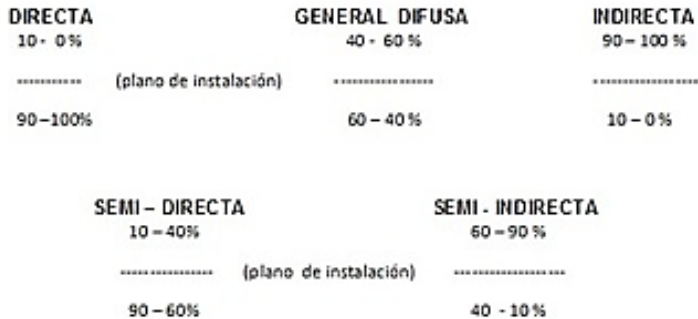
En el caso de estudio, el valor del ángulo del haz principal en ambos dispositivos coincide (aprox.  $40^\circ$  hacia la derecha y hacia la izquierda en referencia al eje); existiendo en la botella solar, una mayor emisión luminosa por encima del **ángulo definido por las secantes**; esto debido, a su forma y a la penetración de la superficie de la misma hacia el interior del modelo (0.35 m); con el otro dispositivo existe una menor emisión luminosa sobre el ángulo, lo que se traduce en una transición gradual entre la zona más iluminada y la parte superior del plano (figura 10).



FIGURA 10. Emisión lumínica de los dispositivos.

Fuente: R. González, 2014.

Por otra parte, Galante (2014) refiere que la luz emitida por las luminarias puede tomar distintos patrones de distribución espacial de acuerdo al porcentaje de luz emitido por encima o por debajo del plano horizontal que pasa por el punto de aplicación de la luminaria (figura 11); a la que debe agregarse, la forma que específicamente toma la emisión de luz: abierta o concentrada simétrica o asimétrica.



**FIGURA 11.** Patrones de distribución espacial de acuerdo al porcentaje de luz emitido

Fuente: <http://www.google.co.ve/url?url=http://www.tallerberio.com.uy/>

La forma que toma la emisión de luz en ambos dispositivos es: concentrada simétrica; y en cuanto a la distribución del porcentaje de emisión, se considera de emisión “semi - directa” el caso de la botella solar y “directa” en el caso del CCLN. El primero posee una superficie refractora (medio de refracción de la luz: el agua); y el segundo, posee una superficie reflectora y difusora (superficie interna del dispositivo: vinil cromado, y difusor: punta de diamante), los cuales, modifican la distribución del flujo luminoso.

## 2.2 Comportamiento térmico

La temperatura media del ambiente exterior ( $T_m(e)$ ) y su amplitud ( $\Delta T_e$ ) resultaron en esta experiencia de 36,3 °C y 9,2 °C respectivamente; observándose una temperatura media y una amplitud que superan el valor estadístico de referencia en la ciudad. Con estos valores, el modelo 1, presenta una diferencia sobre la temperatura media exterior de 3,1 °C y una diferencia en la amplitud de 1,1 °C; el modelo 2, presenta una diferencia sobre la temperatura media exterior de 2,9 °C y una diferencia en la amplitud de 3,6 °C (tabla 6).

TABLA 6. Temperaturas características ( $^{\circ}\text{C}$ ), factor decremental y retraso térmico de cada modelo (22 de septiembre, 2014)

22 septiembre	Temperatura Ambiente Exterior ( $^{\circ}\text{C}$ )	Modelo 1	Modelo 2
		Botella solar (superficie interior negro mate)	CCLN difusor acrílico punta diamante (superficie interior negro mate).
$T_{\text{max}}$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	41,5	41,8	43
$T_{\text{min}}$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	32,3	31,5	30,2
$T_{\text{m}}$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	36,3	39,4	39,2
$\Delta T$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	9,2	10,3	12,8
$T_{\text{max}} - T_{\text{a}}$ (e) max		0,3	1,5
$T_{\text{min}} - T_{\text{a}}$ (e) min		-0,8	-2,1
$T_{\text{m}} - T_{\text{a}}$ (e) m		3,1	2,9
$\Delta T - \Delta T_{\text{e}}$		1,10	3,60
Factor Dtal. ( $\mu$ )		1,12	1,39
Retraso térmico ( $\Phi$ )		05:45	05:45

Fuente: R. González, 2014.

En relación a las temperaturas máximas y mínimas, los valores máximos en los modelos 1 y 2 superan el valor máximo exterior en  $0,3^{\circ}\text{C}$  y  $1,5^{\circ}\text{C}$ , respectivamente; y en relación a los valores mínimos, estos se encuentran  $0,8^{\circ}\text{C}$  y  $2,1^{\circ}\text{C}$  por debajo del valor mínimo exterior.

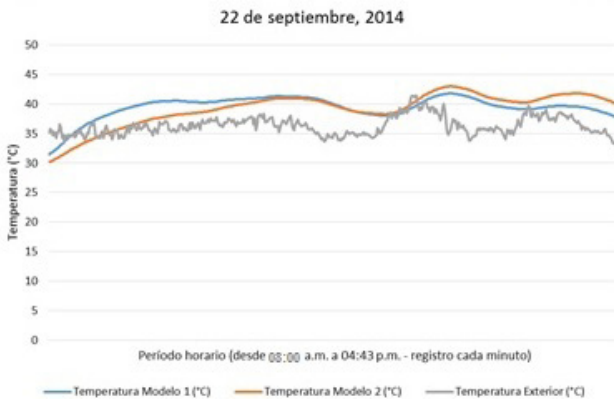


FIGURA 12. Evolución de la temperatura exterior y de los modelos (1era alternativa), durante el día 22 de septiembre, 2014.

Fuente: R. González, 2014.

El comportamiento de la temperatura en ambos modelos resultó ser muy similar. En la figura 12 se observa que los valores obtenidos en el interior de los mismos superan los valores de temperatura exterior con muy poca diferencia entre sí (0,20 °C). Es importante señalar, que los valores del modelo 1 superan los valores del modelo 2 en horas de la mañana, invirtiéndose esta relación en horas de la tarde; esto se explica por la ubicación de los modelos de acuerdo a la orientación; es decir, el modelo 1 con mayor exposición de las caras hacia el Este y el modelo 2 hacia el Oeste, separados aproximadamente 10 cms. uno con respecto al otro.

Se observa una diferencia de 0,27 entre el factor decremental del modelo 1 con respecto al modelo 2 y un retraso térmico en ambos modelos alrededor de 5h 45min.

A continuación se presenta un cuadro resumen con los distintos aspectos considerados para el análisis comparativo (tabla 7)

**TABLA 7. Cuadro - resumen**

CUADRO RESUMEN		
ASPECTO	MODELO 1: Botella Solar	MODELO 2: CCLN difusor acrílico punta diamante
Factor de Luz diurna (F.L.D.) %	No cumple	Cumple para dificultad de tarea reducida y mediana
Nivel de iluminancia interior (Lux)	Nivel para desarrollo de actividades según normativa entre 20 y 300 lux	Nivel para desarrollo de actividades según normativa entre 20 y 1500 lux
% del Flujo de entrada (Lumen) según Ø del dispositivo	4,52 %	11,34 %
Apertura del haz principal	40° hacia la derecha y hacia la izquierda	40° hacia la derecha y hacia la izquierda
Distribución luminosa	Semi - directa	Directa
Forma de la emisión de la luz	Concentrada simétrica	Concentrada simétrica
Diferencia de temperatura interior - exterior y amplitud (°C)	Supera la temperatura media exterior en 3,1 °C, amplitud 1,1 °C	Supera la temperatura media exterior en 2,9 °C, amplitud 3,6 °C

Fuente: R. González, 2014.

## Conclusiones

Bajo las condiciones de cielo presentes en la localidad al momento de las mediciones, se observa un mejor desempeño lumínico y térmico en

el modelo con Componente de Conducción de Luz Natural (CCLN); es decir, se obtuvo mayor nivel lumínico con una pequeña diferencia en la ganancia de calor en el interior del espacio con respecto al modelo con Botella Solar. Es importante señalar, que en este último, se obtuvo un nivel lumínico que permite la realización de actividades de poco requerimiento visual. En este trabajo, cabe también destacar, la importancia que tiene para el diseño lumínico natural, la aplicación de la metodología desarrollada por Raitelli (2004), que permite considerar estos dispositivos como luminarias convencionales; generando información que puede ser utilizada para predecir el desempeño del sistema de iluminación en el diseño lumínico en edificaciones.

## Referencias

- Ferrón, L.; Pattini, A.; Lara, M. A. (2007). Características fotométricas de sistemas de iluminación natural. Elementos componentes de transporte de luz. <http://www.asades.org.ar/modulos/averma/trabajos/2007/2007-t008-a020.pdf>. Consultado: febrero 2014.
- Comisión Venezolana de normas industriales Ministerio de Fomento. Norma COVENIN 2249-93 (1993). ISBN: 980-6019-34-2. CDU: 628.976.28.977. Publicación de FONDONORMA. Caracas - Venezuela. [http://www.inpsasel.gob.ve/moo\\_docCOVENIN\\_2249\\_1993.pdf.pdf](http://www.inpsasel.gob.ve/moo_docCOVENIN_2249_1993.pdf.pdf). Consultado: oct. 2014
- Ferrón, L.; Pattini, A.; Lara, M.A. (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. ISSN 0329-5184
- Ferrón, L.; Pattini, A.; Lara, M.A. (2005). *Disponibilidad comercial de sistemas de transporte De luz natural. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, Vol. 9. Impreso en la Argentina. ISSN 0329-5184 <http://www.asades.org.ar/modulos/averma/trabajos/2005/2005-t008-a019.pdf>. Consultado: febrero 2014.
- Galante, C. (2014). Selección de la luminaria. <http://www.google.co.ve/url?url=http://www.tallerberio.com.uy/> Consultado: Nov. 2014.
- González, E.; Rojas, A.; Bravo, G.; Gallardo, M.; González, R.; Pérez, L.; Tsoi, E.; Falcón, R. (2006). Desempeño térmico de la vbp-1: temperaturas características, factor decremental y retraso térmico. Memorias de la 30 Semana Nacional de Energía Solar - ANES, Veracruz, pp. 251-256.
- 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*, on-line versión ISSN 1678-8621. Ambient. constr. Vol.13, No. 4. Porto Alegre, Oct. / Dec. <http://dx.doi.org/10.1590/S1678-86212013000400011>. Consultado: octubre, 2014.
- Harper, E. (2010). *Manual práctico del alumbrado*. LIMUSA. ISBN: 978-968-18-6428-6. México.

- Pattini, A.; Mitchell, J., Ferrón, L. (2003); Diseño de lumiductos de bajo costo para vivienda bioclimática unifamiliar. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, Vol. 7, N° 1. Impreso en la Argentina. ISSN 0329-5184. <http://www.mendoza-conicet.gob.ar/lahv/atm/documentos/asades07.pdf>. Consultado: febrero 2014.
- Raitelli, M.; Costilla, M.; Soria, A. (2004). Fotometría de lumiductos. *Avances en Energías renovables y medio ambiente*. ISSN 0329 - 5184, vol. 8, No. 2. Argentina. <http://www.asades.org.ar/modulos/averma/trabajos/> Consultado: julio 2014.
- Raitelli, M. (2006). Diseño de la iluminación de interiores (en línea) - edUtecNe. Capítulo 8. [www.edutecne.utn.edu.ar/eli-iluminacion/cap08.pdf](http://www.edutecne.utn.edu.ar/eli-iluminacion/cap08.pdf) Consultado: julio 2014