

ISSN: 2244-8764 Depósito legal:  
ppi201202ZU4095  
Año 3 N° 6, Julio-Diciembre 2014, pp.  
118-141

Recibido: 20.06.2014  
Aceptado: 15.09.2014

**Propuesta metodológica para la evaluación  
de componentes de conducción de luz natural  
utilizando modelos a escala**

**Methodological proposal to evaluate conduction components of natural light  
using scale models**

**Proposta metodologica per la valutazione di componenti di conduzione della  
luce naturale usando modelli a scala**

**ROSALINDA DEL V. GONZÁLEZ G.\***

Facultad de Arquitectura y Diseño - La Universidad del Zulia  
[rosalindag2002@yahoo.es](mailto:rosalindag2002@yahoo.es)

\* Arquitecta, egresada de la Universidad del Zulia.  
Magister Scientiarum en Informática aplicada a la  
Arquitectura y Doctora en Arquitectura, títulos  
obtenidos en la Universidad del Zulia. Postdoctora en  
Arquitectura (2015). Docente Titular e Investigadora  
adscrita al Departamento de Comunicación del Diseño e  
Informática aplicada de la Facultad de Arquitectura y  
Diseño de LUZ, Maracaibo – Venezuela. Investigadora  
nivel A-1, en el Programa de Estimulo a la Innovación e  
Investigación, convocatoria 2013 (PEII).



## Resumen

El objetivo de este trabajo es presentar una propuesta metodológica para la evaluación térmica-lumínica de Componentes de Conducción de Luz Natural (CCLN) bajo condiciones de cielo real, utilizando modelos a escala; esto con el propósito, de estudiar la iluminación natural como recurso sustentable durante el periodo diurno en las edificaciones. La propuesta considera tres etapas: ANTES DEL MONITOREO (fase de decisión y fase preparatoria); DURANTE EL MONITOREO (programa de monitoreo y fase de verificación) y DESPUÉS DEL MONITOREO (fase de análisis de resultados). La metodología permitirá determinar: a) Si la iluminación natural obtenida a través de los CCLN, en clima cálido – húmedo, es suficiente para su utilización como fuente única de luz durante el periodo diurno o solo como complemento; b) Si la ganancia térmica al interior de los espacios es menor utilizando los CCLN en comparación con las aberturas laterales y c) De ser utilizados como fuente única de luz, cuál sería el ahorro de energía obtenido por su uso en comparación con la iluminación artificial. A través de este trabajo se establecen las bases para la evaluación de los CCLN utilizando modelos a escala, hacia la búsqueda del planteamiento y/o adecuación de componentes que conlleven al uso de la iluminación natural como recurso sustentable en las edificaciones.

**PALABRAS CLAVES:** Iluminación natural, modelos a escala, componentes de conducción de luz natural, propuesta metodológica, recurso sustentable.

## Abstract

The main purpose of this work was to present a methodological proposal for the thermal and light evaluation of Conduction Components of Natural Light (CCNL) under real sky conditions using scale models in order to study natural lighting as a sustainable resource during daytime in buildings. The proposal considered three phases: BEFORE MONITORING (decision phase and preparing phase); DURING MONITORING (monitoring program and verifying phase); and AFTER MONITORING (result analysis phase). Methodology allowed determining: (a) if natural lighting obtained through CCNL, in warm-humid climate, is enough to use it as the only source of light during daytime or just as a complement; (b) if thermal gain inside spaces is less using CCNL compared to side openings, and (c) if they are used as the only source of light, ¿what would be the energy saving obtained by using it compared to artificial lighting? Basis to evaluate CCNL using scale models is established in this work. Besides, to look for planning and/or component adaptation that leads to use natural lighting as sustainable resources in buildings.

**Key words:** natural lighting, scale models, conduction components of natural light, methodological proposal, sustainable resource.

## RIASSUNTO

La finalità di questo studio è stato presentare una proposta metodologica per la valutazione termico-luminica dei Componenti di Conduzione della Luce Naturale (CCLN) sotto condizioni di cielo reale e usando modelli a scala, per studiare l'illuminazione naturale come risorsa sostenibile durante il periodo diurno degli edifici. La proposta considera tre fasi: PRIMA DEL MONITORAGGIO (fase di decisione e fase preparatoria); DURANTE IL MONITORAGGIO (programma di monitoraggio e fase di verifica), e DOPO IL MONITORAGGIO (fase di analisi di risultati). La metodologia ha permesso di determinare: (a) se l'illuminazione naturale ottenuta tramite i CCLN, in clima caldo-umido, è sufficiente per il suo utilizzo come unica fonte di luce durante il periodo diurno o solo come complemento; (b) se il risparmio termico all'interno degli edifici, è minore usando i CCLN paragonandoli con le aperture laterali, e (c) se vengono usati come unica fonte di luce, quale sarebbe il risparmio di energia ottenuto dal suo uso in comparazione con l'illuminazione artificiale? Con questo lavoro, vengono stabilite le basi per la valutazione dei CCLN usando modelli a scala, verso la ricerca della pianificazione e/o adattamento di componenti che portino all'uso dell'illuminazione naturale come risorsa sostenibile degli edifici.

**Parole chiave:** illuminazione naturale, modelli a scala, componenti di conduzione di luce naturale, proposta metodologica, risorsa sostenibile.

## INTRODUCCION

En la actualidad, la reducción del consumo energético sin disminuir el confort y la calidad de vida es un objetivo prioritario para cualquier economía, aunado con la protección del medio ambiente. La gran mayoría de la energía que se consume es proveniente de los combustibles fósiles, los cuales alcanzan altos precios y producen efectos ambientales negativos; razón por la cual, cada día alcanza mayor fuerza la idea de utilización de energías renovables que garanticen un

desarrollo sustentable. Entre las energías renovables, se encuentra la energía solar, basada en el aprovechamiento de la radiación solar que llega a la superficie terrestre; en este caso, es de interés lo referente a la iluminación natural, que constituye el uso de la fracción visible de esa radiación solar (longitudes de onda entre 380 y 760 nm).

La utilización de la iluminación natural en el diseño de edificaciones conlleva a evaluar y/o formular estrategias pasivas en las mismas, lo que involucra diversos aspectos: las condiciones geográficas del lugar, las condiciones físicas de los espacios, las condiciones físicas a nivel visual del usuario y la toma de conciencia del uso de este recurso por parte del mismo, lo que en cierta forma garantizaría su uso eficiente.

En clima cálido – húmedo, es inevitable asociar la entrada de luz natural con la ganancia de calor al interior de los espacios, lo que conlleva al usuario de las edificaciones 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 (aberturas laterales); 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. En este caso, la búsqueda 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. Es por ello, que se plantea una propuesta metodológica que permita evaluar estos componentes y determinar: a) Si la iluminación natural obtenida a través de los CCLN, en clima cálido húmedo, es suficiente para su utilización como fuente única de luz durante el periodo diurno o solo como complemento; b) Si la ganancia térmica al interior de los espacios es menor utilizando los CCLN en comparación con las aberturas

laterales y c) De ser utilizados los CCLN como fuente única de luz, cuál sería el ahorro de energía obtenido por su uso en comparación con la iluminación artificial.

## **1. PROPUESTA METODOLOGICA**

La propuesta metodológica considera tres etapas: ANTES DEL MONITOREO, que comprende la fase de decisión y la fase preparatoria; DURANTE EL MONITOREO, que comprende el programa de monitoreo y la fase de verificación y DESPUÉS DEL MONITOREO, con la fase de análisis de resultados (Figura 1).

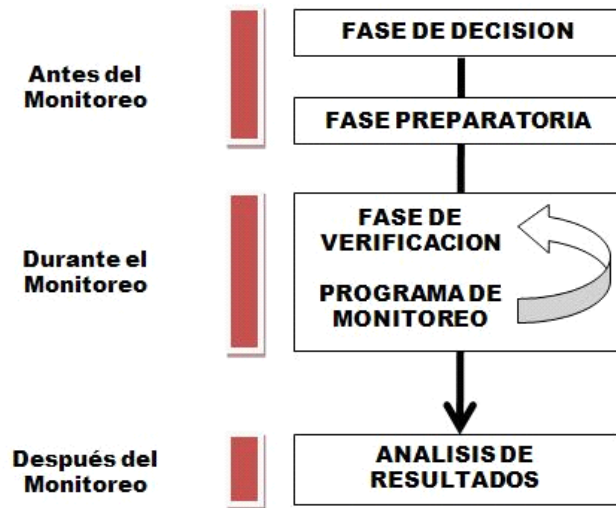


Figura 1. Estructura de la metodología basada en el "Monitoring Procedures for The Assessment of Daylighting Performance of Buildings".  
 Fuente: International Energy Agency (I.E.A.) 2001

## ANTES DEL MONITOREO

**Fase de decisión:** está referida a la toma de decisiones acerca de la evaluación y el tipo de mediciones a realizar; se parte de las interrogantes: ¿Qué se quiere evaluar? y ¿Cómo? o ¿Qué se debe estudiar? (Tabla 1).

¿QUÉ SE QUIERE EVALUAR?	¿CÓMO? O ¿QUÉ SE DEBE ESTUDIAR?
a) Si la iluminación natural obtenida a través de los CCLN, en clima cálido-húmedo, es suficiente para su utilización como fuente única de luz durante el período diurno o solo como complemento.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Contribución de la iluminación natural en un espacio determinado utilizando CCLN, con o sin la componente de interreflexión interna (Niveles de Iluminación natural).</li> <li>Distribución de los niveles de iluminación natural en el espacio (Factor de uniformidad)</li> </ul>
b) Si la ganancia térmica en el interior de los espacios es menor utilizando los CCLN en comparación con las aberturas laterales.	Comparación de los valores de temperatura obtenidos en el interior de los modelos seleccionados.
c) De ser utilizados como fuente única de luz, cuál sería el ahorro de energía obtenido por su uso, en comparación con la iluminación artificial.	Determinación del Rendimiento lumínico y comparación con fuente de luz artificial (los CCLN considerados como una fuente puntual)

Tabla 1. Fase de decisión - Evaluación de Componentes de Conducción de Luz Natural Utilizando modelos a escala. Fuente: R. González, Agosto 2014.

**Fase preparatoria:** se constituye en un documento descriptivo que contiene información sobre los equipos y las condiciones de evaluación, involucra:

a) Selección del lugar: para la realización de las mediciones se debe seleccionar un lugar libre de obstrucciones, con el propósito de evitar: 1) La influencia de la componente de reflexión externa proveniente de superficies cercanas; 2) La generación de sombras sobre el área de ubicación de los modelos o equipos de medición.

b) Orientación del modelo a escala: es imprescindible verificar la orientación del modelo a escala por medio de una brújula.

c) Establecer los períodos de medición de la iluminación natural: los períodos pueden estar en función de fechas características de la trayectoria solar (perihelio y afelio, equinoccios y solsticios, sol en el cenit) o la selección de días, en período lluvioso o seco, todo dependerá de las necesidades de evaluación del investigador y su disponibilidad de tiempo y recursos.

d) Establecer la frecuencia horaria de medición de la iluminación natural: en este caso, resulta ventajoso contar con equipos de registro automático (dataloggers), los cuales permiten la obtención de una mayor cantidad de registros de forma continua y con intervalos de tiempo muy cortos; lo que garantiza cierta precisión

en cuanto al procesamiento y manejo de la data. Cabe destacar, la necesidad de registro de manera simultánea de la iluminancia horizontal exterior con la iluminación natural interior lo que permitirá a posterior el cálculo del Factor de Luz Diurna (F.L.D.).

e) Calcular el tiempo oficial local o solar a partir del tiempo civil: dicha conversión se realiza para conocer la hora real presente en la localidad donde se lleva a cabo el monitoreo (<http://www.horamundial.com/>. Consultado 22 de agosto, 2014). La ecuación del tiempo permite calcular la diferencia entre estos dos tiempos solares.

El tiempo oficial local (LCT), se mide respecto a la longitud del observador y se calcula mediante la expresión:

$$LCT = TR - 12 + (LM - LH) / 15 - Ao \quad [1]$$

TR: tiempo que marca un reloj.

LCT: medida del tiempo de reloj referida al ángulo solar de esa hora de TR.

LH: longitud del meridiano origen del huso horario (negativa hacia el O).

LM: longitud del meridiano del lugar para el que se calcula el tiempo oficial local.

Ao: adelanto oficial sobre el uso horario.

Para calcular el tiempo solar verdadero:

$$LST = LCT + \text{ecuación del tiempo} \quad [2]$$

\* Los valores para la Ecuación del tiempo se obtuvieron de la tabla para el año 2014 ([www.juntadeandalucia.es/averroes/~04000134/fisiqui/relojsol/horas.htm#graf-egt](http://www.juntadeandalucia.es/averroes/~04000134/fisiqui/relojsol/horas.htm#graf-egt),

Consultado: 21 de agosto, 2014)



f) Elaborar instrumentos de recolección de datos: se deberán diseñar las planillas necesarias para la recolección de datos en sitio; entre ellas, las planillas de iluminancia horizontal exterior y condiciones del cielo (Figuras 2 y 3).

PLANILLA – REGISTRO DE ILUMINACION HORIZONTAL EXTERIOR 1

EQUIPO DE MEDICION			
Marca	Modelo	Escala de medición	Altura de medición
KONICA - MINOLTA	TA-10	0 – 299.000 LUX	

REGISTRO DE ILUMINACION HORIZONTAL EXTERIOR									
Responsable:					Fecha:				
HORAS									
NIVEL (LUX)									

REGISTRO DE ILUMINACION HORIZONTAL EXTERIOR									
Responsable:					Fecha:				
HORAS									
NIVEL (LUX)									

REGISTRO DE ILUMINACION HORIZONTAL EXTERIOR									
Responsable:					Fecha:				
HORAS									
NIVEL (LUX)									

Figura 2. Planilla para el registro de iluminancia horizontal exterior. Fuente: R. González, agosto2014

1	OCTAS															
	Referencia: <a href="http://sigos.com/estado-cielo">http://sigos.com/estado-cielo</a> Consultado: 21.07.14															
<table border="1"> <thead> <tr> <th>CONDICIÓN DEL CIELO</th> <th>CONDICIÓN DEL CIELO</th> <th>CONDICIÓN DEL CIELO</th> <th>CONDICIÓN DEL CIELO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>5</td> <td>6</td> <td>7</td> </tr> </tbody> </table>	CONDICIÓN DEL CIELO	CONDICIÓN DEL CIELO	CONDICIÓN DEL CIELO	CONDICIÓN DEL CIELO	0	1	2	3	4	5	6	7				
CONDICIÓN DEL CIELO	CONDICIÓN DEL CIELO	CONDICIÓN DEL CIELO	CONDICIÓN DEL CIELO													
0	1	2	3													
4	5	6	7													
<table border="1"> <thead> <tr> <th>CONDICIÓN DEL CIELO</th> <th>CONDICIÓN DEL CIELO</th> <th>CONDICIÓN DEL CIELO</th> <th>CONDICIÓN DEL CIELO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>8</td> <td>9</td> <td>10</td> <td>11</td> </tr> <tr> <td>12</td> <td>13</td> <td>14</td> <td>15</td> </tr> </tbody> </table>	CONDICIÓN DEL CIELO	CONDICIÓN DEL CIELO	CONDICIÓN DEL CIELO	CONDICIÓN DEL CIELO	8	9	10	11	12	13	14	15				
CONDICIÓN DEL CIELO	CONDICIÓN DEL CIELO	CONDICIÓN DEL CIELO	CONDICIÓN DEL CIELO													
8	9	10	11													
12	13	14	15													
<table border="1"> <thead> <tr> <th>CONDICIÓN DEL CIELO</th> <th>CONDICIÓN DEL CIELO</th> <th>CONDICIÓN DEL CIELO</th> <th>CONDICIÓN DEL CIELO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>16</td> <td>17</td> <td>18</td> <td>19</td> </tr> <tr> <td>20</td> <td>21</td> <td>22</td> <td>23</td> </tr> </tbody> </table>	CONDICIÓN DEL CIELO	CONDICIÓN DEL CIELO	CONDICIÓN DEL CIELO	CONDICIÓN DEL CIELO	16	17	18	19	20	21	22	23				
CONDICIÓN DEL CIELO	CONDICIÓN DEL CIELO	CONDICIÓN DEL CIELO	CONDICIÓN DEL CIELO													
16	17	18	19													
20	21	22	23													
<table border="1"> <thead> <tr> <th>CONDICIÓN DEL CIELO</th> <th>CONDICIÓN DEL CIELO</th> <th>CONDICIÓN DEL CIELO</th> <th>CONDICIÓN DEL CIELO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>24</td> <td>25</td> <td>26</td> <td>27</td> </tr> <tr> <td>28</td> <td>29</td> <td>30</td> <td>31</td> </tr> </tbody> </table>	CONDICIÓN DEL CIELO	CONDICIÓN DEL CIELO	CONDICIÓN DEL CIELO	CONDICIÓN DEL CIELO	24	25	26	27	28	29	30	31				
CONDICIÓN DEL CIELO	CONDICIÓN DEL CIELO	CONDICIÓN DEL CIELO	CONDICIÓN DEL CIELO													
24	25	26	27													
28	29	30	31													

2	CATEGORIZACIÓN (Referencia: Dato en Tiempo Observación Nubes Consultado: 21.07.14)																																							
	Nubes altas			Nubes medias			Nubes bajas			Nubes con crecimiento vertical																														
	No ocupan la luz solar			A menudo bloquean la luz solar, pero no siempre.			Ocupan la luz solar			Las nubes crecen al que tardan a tener una base que se congela más allá de 5000 pies y/o más allá de 10000 pies.																														
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>CONDICIÓN DEL CIELO</th> <th>CONDICIÓN DEL CIELO</th> <th>CONDICIÓN DEL CIELO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>5</td> <td>6</td> </tr> </tbody> </table>	CONDICIÓN DEL CIELO	CONDICIÓN DEL CIELO	CONDICIÓN DEL CIELO	1	2	3	4	5	6	<table border="1"> <thead> <tr> <th>CONDICIÓN DEL CIELO</th> <th>CONDICIÓN DEL CIELO</th> <th>CONDICIÓN DEL CIELO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>7</td> <td>8</td> <td>9</td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>11</td> <td>12</td> </tr> </tbody> </table>	CONDICIÓN DEL CIELO	CONDICIÓN DEL CIELO	CONDICIÓN DEL CIELO	7	8	9	10	11	12	<table border="1"> <thead> <tr> <th>CONDICIÓN DEL CIELO</th> <th>CONDICIÓN DEL CIELO</th> <th>CONDICIÓN DEL CIELO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>13</td> <td>14</td> <td>15</td> </tr> <tr> <td>16</td> <td>17</td> <td>18</td> </tr> </tbody> </table>	CONDICIÓN DEL CIELO	CONDICIÓN DEL CIELO	CONDICIÓN DEL CIELO	13	14	15	16	17	18	<table border="1"> <thead> <tr> <th>CONDICIÓN DEL CIELO</th> <th>CONDICIÓN DEL CIELO</th> <th>CONDICIÓN DEL CIELO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>19</td> <td>20</td> <td>21</td> </tr> <tr> <td>22</td> <td>23</td> <td>24</td> </tr> </tbody> </table>	CONDICIÓN DEL CIELO	CONDICIÓN DEL CIELO	CONDICIÓN DEL CIELO	19	20	21	22	23	24
CONDICIÓN DEL CIELO	CONDICIÓN DEL CIELO	CONDICIÓN DEL CIELO																																						
1	2	3																																						
4	5	6																																						
CONDICIÓN DEL CIELO	CONDICIÓN DEL CIELO	CONDICIÓN DEL CIELO																																						
7	8	9																																						
10	11	12																																						
CONDICIÓN DEL CIELO	CONDICIÓN DEL CIELO	CONDICIÓN DEL CIELO																																						
13	14	15																																						
16	17	18																																						
CONDICIÓN DEL CIELO	CONDICIÓN DEL CIELO	CONDICIÓN DEL CIELO																																						
19	20	21																																						
22	23	24																																						
HORA																																								
ORIENTACIONES	N	NE	E	SE	S	SO	O	NO	NO	NO	NO	NO																												

Figura 3. Planilla para el registro de las condiciones del cielo. Fuente: R. González, agosto 2014

g) Equipos de medición: se requiere un luxómetro y registradores de datos automáticos (dataloggers) para el registro de la iluminancia horizontal exterior y el registro de la iluminación natural en el interior de los modelos, respectivamente (Figura 4); así como también, una cámara fotográfica para el relevamiento visual de la información (fotografías y/o videos).

EQUIPOS		CARACTERÍSTICAS	OBSERVACIONES
DATA LOGGERS "HOBOS"		Registrador de datos (data logger), es un dispositivo electrónico que registra datos en tiempo real o en relación a la ubicación por medio de instrumentos y sensores propios o externos (utilizan batería de larga duración) Temperatura: -20°C to 70°C Humedad: 0 to 95% Iluminación: 1 to 3000 lumens/ft2	Se utilizará para el registro de temperatura, humedad relativa, temperatura exterior y nivel de iluminación interior (equipos existentes se debe verificar su disponibilidad en cantidad y fecha)
LUXÓMETRO DIGITAL T-10 MINOLTA		Luxómetro digital, utilizado para medir la iluminancia interior y exterior. Rango 0.01 – 299.000 lx	Se utilizará para el registro de niveles de iluminancia horizontal exterior (Equipo existente)

Figura 4. Equipos de medición utilizados en la evaluación de Componentes de Conducción de Luz Natural utilizando modelos a escala.  
 Fuente: R. Gonzalez, Agosto 2014

En el caso particular de este trabajo, se utilizará para el relevamiento fotográfico: una cámara digital, Hewlett Packard Photosmart M417- 5,2 megapíxeles, 3X optical, 7X digital y una cámara Webcam Genius, iSlim 300x, VGA instant Video.

h) Sistema de adquisición de datos: está referido a los software de los equipos utilizados en el monitoreo de iluminación; los cuales permiten la programación, obtención y graficación de los datos (Tabla 2).

SOFTWARE	UTILIDAD
Software HOBOWARE – versión para Windows (version 3.7.1 – 2002-2014)	Permite programar, obtener y graficar los datos registrados desde los HOBOWARE U-series loggers.
Data Management Software T-A30	Permite el manejo de datos registrados desde el luxómetro T-10 series

Tabla 2. Sistema de adquisición de datos utilizados en la evaluación de Componentes de Conducción de Luz Natural utilizando modelos a escala.

Fuente: R. Gonzalez, Agosto 2014

i) Construcción del modelo a escala: el éxito de la evaluación dependerá de la construcción del modelo a escala; es por ello, que se debe definir previamente el número y características de los mismos (escala, material de superficies (opacas y/o plásticas o vidriadas), color y dimensiones). En relación a la escala, es importante señalar que las ondas electromagnéticas debido a su tamaño (rango: 380 - 750 nanómetros), inciden y se reflejan en el modelo a escala, tal cual como ocurre en el espacio real (Pattini, 2000); es decir, que si el modelo está correctamente construido, los niveles de luz medidos en él y su distribución serán exactamente igual a lo que se obtendrá en el espacio a escala 1:1. Un aspecto que debe evitarse en la construcción de los modelos a escala, son las infiltraciones de luz hacia el interior, por lo que se recomienda sellar las uniones con cinta negra u opaca o trabajar el ensamble de las caras del modelo de manera que encajen perfectamente y eviten la entrada de luz.

Otro aspecto a considerar, es la influencia del tamaño del sensor en la escala del modelo a evaluar y su posición relativa al plano de trabajo (0.85 – 0.90 m. sobre el nivel del piso); ya que, puede ocasionar errores en la lectura (Figura 5).

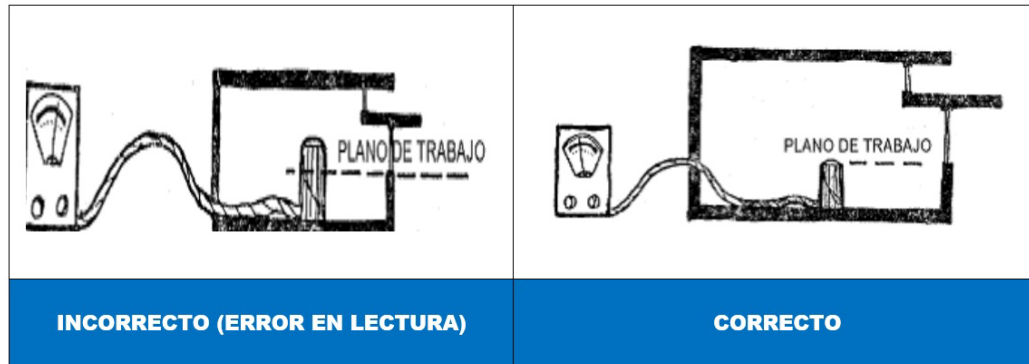


Figura 5. Influencia del tamaño del sensor en la escala del modelo. Fuente: Pattini, 2000.

Para la evaluación de la iluminación natural a través de CCLN en modelos a escala, se diseñó una base para insertar el dataloggers y garantizar la altura del sensor a la altura del plano de trabajo (0.90 m.), (Figura 6).



Figura 6. Base para dataloggers a la altura del plano de trabajo en el modelo a escala. Fuente: R. González, septiembre, 2014.

En el caso de estudio, se realizaron seis (06) modelos a escala 1:10, en material MDF de 9 mm de espesor, de dimensiones 3 m x 3 m x 3 m; y según lo especificado en Figura 7.

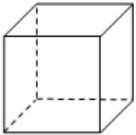
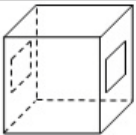
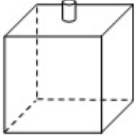
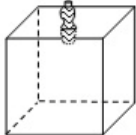
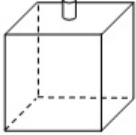
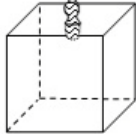
MODELO	ABERTURA	PARÁMETRO	CARACTERÍSTICAS
<b>1</b>	 Sin abertura (modelo referencia)	Temperatura Humedad relativa	S/color
<b>2</b>	 Aberturas laterales Orientación más desfavorable (modelo referencia)	Temperatura Humedad relativa Nivel de Iluminación interior	Color Superficies internas: negro mate
<b>3</b>	 Abertura techo Conducto de sol	Temperatura Humedad relativa Nivel de Iluminación interior	Color Superficies internas: negro mate
<b>4</b>	 Abertura techo: Botella transparente con agua (propuesta movimiento litro de luz)	Temperatura Humedad relativa Nivel de Iluminación interior	Color Superficies internas: negro mate
<b>5</b>	 Abertura techo Conducto de sol	Temperatura Humedad relativa Nivel de Iluminación interior	Color Superficies internas: blanco mate
<b>6</b>	 Abertura techo: Botella transparente con agua (propuesta movimiento litro de luz)	Temperatura Humedad relativa Nivel de Iluminación interior	Color Superficies internas: blanco mate

Figura 7. Características de los modelos a escala para la evaluación de los Componentes de Conducción de Luz Natural. Fuente: R. González, Julio, 2014.

Modelo 1: modelo sin aberturas, se constituye en una referencia para valores de temperatura y humedad en el interior del mismo.

Modelo 2: 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 considerarse las orientaciones más desfavorables), superficies internas de color negro mate (Figura 8).



Figura 8. Modelo 2: con abertura lateral. Fuente: R. González, 2014

Modelo 3 y 5: Modelos con dispositivo: Componente de Conducción de Luz Natural (CCLN), ubicado en el centro de la cubierta superior; color de superficies internas: negro mate (modelo 3) y blanco mate (modelo 5) (Figura 9)

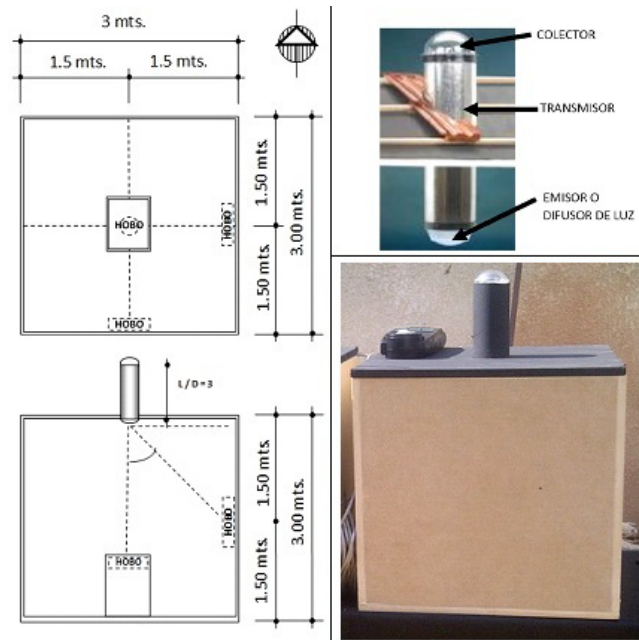


Figura 9. Modelo 3 y 5: con componentes de conducción de luz natural (CCLN). Fuente: R. González, 2014

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:

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

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 para el difusor se utilizaron dos (02) alternativas diferentes, entre ellas:

1) acrílico transparente punta de diamante, de 3 mm de espesor; 2) “vidrio de reloj” transparente de 1.5 mm de espesor (Figura 10).



Figura 10. Componentes de Conducción de Luz Natural (CCLN) y las diferentes alternativas de difusor: Acrílico transparente punta de diamante; 2. Vidrio de reloj transparente.

Fuente: R. González. Agosto, 2014.

Modelo 4 y 6: Modelos con dispositivo “botella solar” o “botella de luz”, ubicado en el centro de la cubierta superior; color de superficies internas: negro mate (modelo 4) y blanco mate (modelo 6). 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 lleno de agua; de alto 0.90 m y diámetro 0.24 m (a la escala seleccionada) (Figura 11).



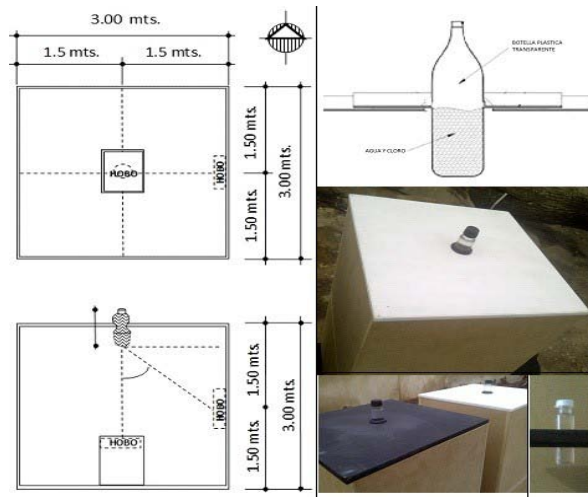


Figura 11. Modelo 4 y 6: con botella solar en cubierta superior. Fuente: R. González. Agosto, 2014.

### Propuesta combinada

Cuerpo del CCLN de tubo de Cartón de 4 mm de espesor, diámetro 0.38 m. y longitud 1.14 m (a la escala seleccionada) según la relación  $L / D = 3$ , con superficie interna reflectante (papel vinil cromado autoadhesivo); colector, de acrílico transparente de 3 mm de espesor; y como difusor un contenedor de vidrio transparente, de forma esférica, diámetro 0.45 m (a escala seleccionada) lleno de agua (Figura 12).



Figura 12. Componentes de Conducción de Luz Natural: contenedor de vidrio transparente de forma esférica con agua. Fuente; R. González. Agosto, 2014.

## DURANTE EL MONITOREO

**Programa de monitoreo:** referido a la descripción de los procedimientos necesarios para la evaluación de los sistemas de iluminación. En la figura 13, se muestra de forma general los distintos procedimientos que intervienen en el proceso de monitoreo de la iluminación natural (aspecto cuantitativo y cualitativo), especificándose los parámetros a evaluar y la información que se obtiene; en el caso particular

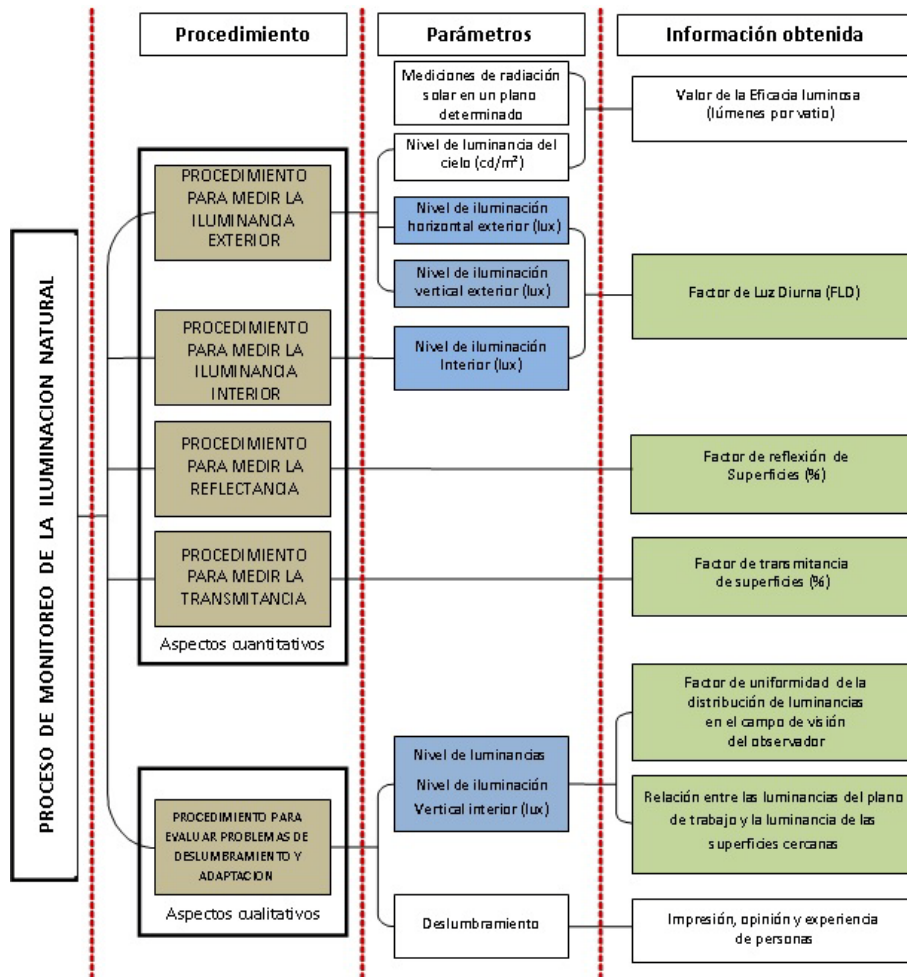


Figura 13. Proceso de monitoreo de la iluminación natural. Fuente: González y otros, 2006

### Procedimiento para medir la iluminancia horizontal exterior.

Para evaluar la iluminación natural interior en un espacio es necesario conocer los valores de iluminancia horizontal exterior presente en la localidad. Para ello, es necesario la disponibilidad de un equipo “luxómetro”, con un rango que oscile entre 0 a 299.000 lux; el cual debe ser colocado, sobre una superficie horizontal libre de obstrucciones (techo del modelo), aproximadamente a 1,60 m sobre el nivel del piso con el fin de disminuir la posibilidad de eventuales sombras de las personas que se acerquen.

Registro de las condiciones lumínicas de la bóveda celeste: para establecer las condiciones lumínicas de la bóveda celeste, además de registrar la iluminancia horizontal exterior, es necesario determinar el tipo de cielo presente en la localidad al momento de las mediciones. Para estimar el tipo de cielo, existen varias formas: a partir de la nubosidad, a partir de la insolación y a partir de la radiación solar.

A efectos de este trabajo, se estimara el tipo de cielo a partir de la nubosidad, (<http://artigoo.com/estado-cielo>. Consultado:31.07.14); para ello, se debe realizar el reconocimiento y estimación de la cantidad de nubes a través de la observación. La medición se realiza de acuerdo al número de octavos de bóveda celeste cubierta, estableciéndose una catalogación en cuanto a tipologías de cielo, siendo una de ellas presentada en la figura 14.






CANTIDAD DE OCTAS	CONCEPTO	SÍMBOLO
0	Despejado	
1 a 2	Escasa nubosidad	
3 a 4	Nubosidad parcial	
5 a 7	Nublado	
8	Cubierto	

Figura 14. Estimación del tipo de cielo a partir de la nubosidad.  
Fuente: <http://artigoo.com/estado-cielo>. Consultado: 31.07.14

Para facilitar la observación se diseñó una planilla con información de la cantidad de octas y la categorización de las nubes (Figura 3); es importante señalar, que por ser un método que depende de la subjetividad del observador, se recomienda cotejar la información con la obtenida de las estaciones meteorológicas de la localidad.

#### Procedimiento para medir la iluminación natural exterior sobre un plano vertical.

El registro de la iluminación exterior sobre un plano vertical se realizará solo con el modelo 2, el cual contiene una abertura lateral (ventana), que será orientada hacia el Este o el Oeste como condiciones más desfavorables. En este caso, el sensor deberá ser colocado en forma vertical sobre la fachada que contiene la abertura; previamente, el modelo deberá colocarse sobre una superficie negra para evitar la contribución de la componente reflejada del piso, y así obtener el valor de la iluminancia proveniente de la luz solar directa y la luz difusa (bóveda celeste).

#### Procedimiento para medir los niveles de iluminación natural interior

Consiste en medir los niveles de iluminación natural interior sobre el plano de trabajo (0.85 o 0.90 m. sobre el nivel del piso), utilizando un luxómetro o dataloggers. La cantidad y distribución de la iluminación puede ser monitoreada utilizando uno o varios sensores, todo depende de: la disponibilidad de los mismos, el sistema de iluminación a evaluar, el tamaño de las aberturas y la información requerida del espacio.

#### Transmitancia de superficies plásticas o vidriadas:

Se propone la utilización de valores otorgados por los fabricantes de vidrios, policarbonatos, y/o superficies traslúcidas, referidos en tablas.

#### Reflectancias de superficies internas:

La reflectancia de las superficies internas y del equipamiento afectan el nivel de iluminación; es por ello, que el color y el acabado (textura) de las superficies deben ser representados en el modelo lo más cercano posible a la realidad. Según Pattini (2000), como regla general todos los materiales de las superficies del mismo deberán tener un acabado mate, al menos que se requiera evaluar un efecto reflectante, para lo cual se utilizarían superficies brillantes.

En los modelos a evaluar, se utilizarán superficies internas color negro mate para evitar la componente interreflejada y modelos con superficies internas color blanco mate para evaluar la contribución de esta componente en la iluminación del espacio.

Registro visual de la iluminación natural: esto comprende la observación directa y el registro a través de fotografías y/o videos, con el propósito de tener una apreciación subjetiva de la apariencia del espacio o los efectos lumínicos generados a partir de la utilización de los diferentes dispositivos de luz. Según Pattini (2000), lo crítico en este aspecto es establecer el punto de vista, puerto de la visión o el paso de la visión según la escala del modelo.

**Fase de verificación:** Se deberá elaborar una lista de chequeo (Checklist) de las condiciones de evaluación y de los equipos, con el propósito de controlar el buen desarrollo del monitoreo y tomar las previsiones necesarias.

## **DESPUÉS DEL MONITOREO**

**Fase de análisis de resultados**, en la cual es analizado el desempeño de los dispositivos de iluminación basado en los resultados del monitoreo, involucra: el Procesamiento de la información, tanto en forma numérica como gráfica para facilitar su interpretación; y los Diagramas de análisis, que se plantean como una guía para el análisis de la información.

**Diagrama 1:** A través de este diagrama (Figura 15) se establece la comparación entre los niveles de iluminación natural interior obtenidos en el monitoreo y los niveles indicados en normativa; entre los valores obtenidos del cálculo del F.L.D. y

los valores promedios mínimos y por dificultad de tarea según normativa; y entre los valores de temperatura interior y exterior de los modelos con distinto sistema de iluminación; todo esto para determinar, si la iluminación natural en los espacios es adecuada o no para la realización de actividades.

El Factor de Luz Diurna (F.L.D.), se establece como la relación entre la iluminación interior (lux) y la iluminación horizontal exterior (lux) sin obstáculos, en porcentaje [4]:

$$F.L.D = \text{lint} / \text{lext} * 100 \quad [4]$$

Donde:

lint: Iluminación natural interior

lext: Iluminancia horizontal exterior

A partir de los valores obtenidos de temperatura, se procederá a identificar y determinar las “temperaturas características”, en el interior de cada uno de los modelos y en el ambiente exterior; ya que, su relación permitirá caracterizar su comportamiento térmico.

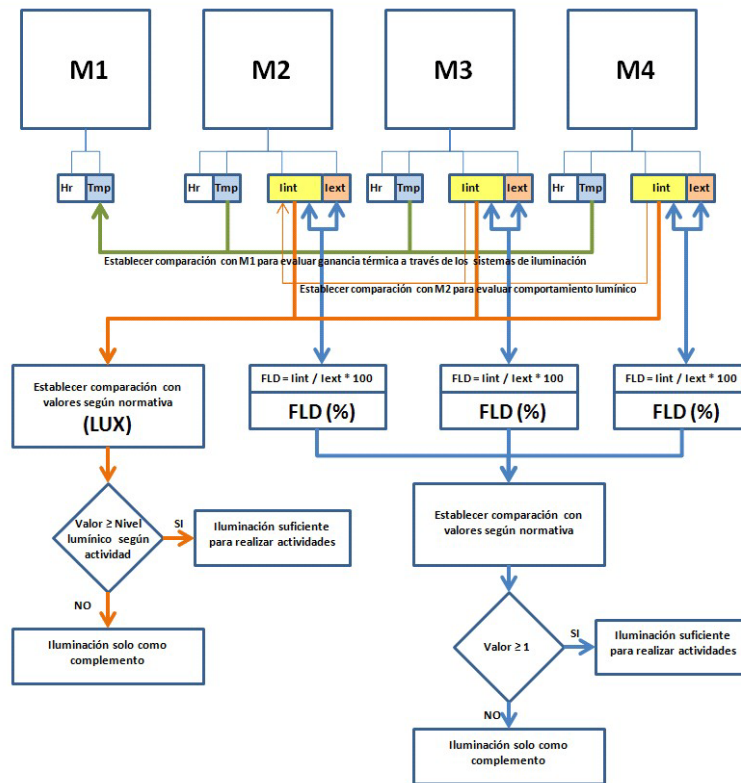


Figura 15. Diagrama para determinar si la iluminación natural en los espacios es adecuada o no.  
 Fuente: R. González. Julio, 2014

**Diagrama 2:** A través de este diagrama (Figura 16), se evalúa la contribución de la componente de interreflexión interna estableciendo la comparación entre los modelos 3 y 4, con superficies internas en negro mate (CRI = 0) con respecto a los modelos 5 y 6 respectivamente, con superficies en blanco mate. Posteriormente, considerando los CCLN como fuentes puntuales de iluminación, se plantea la utilización de la metodología descrita por Raitelli (2004), donde se aplica al caso de lumiductos la Ley de la inversa del cuadrado para determinar la componente directa de la iluminación, con parámetros como: flujo luminoso de entrada, intensidad luminosa, iluminación sobre planos horizontales y verticales; y la utilización de la teoría de transferencia de flujo, para determinar la componente indirecta o de interreflexión interna.



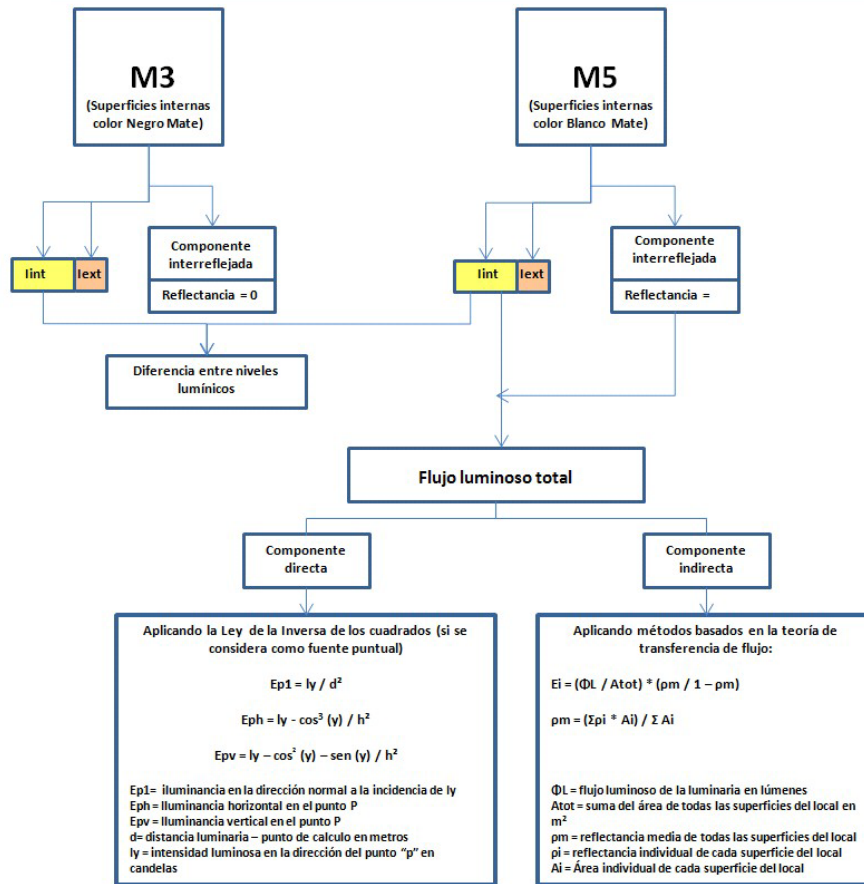


Figura 16. Diagrama para determinar la contribución de la componente indirecta (Reflexión de superficies internas). Fuente: R. González. Julio, 2014

**Diagrama 3:** A través de este diagrama (Figura 17), se establece la relación entre los valores de Iluminancia horizontal exterior (E<sub>global</sub>) y la iluminación natural interior (flujo de salida) con el objeto de determinar el rendimiento lumínico de los Componentes de Conducción de Luz Natural; y el ahorro de energía eléctrica por el uso de los mismos, al compararlos con el consumo energético de tipos de lámparas (lm/W) (Ferrón et al, 2010)

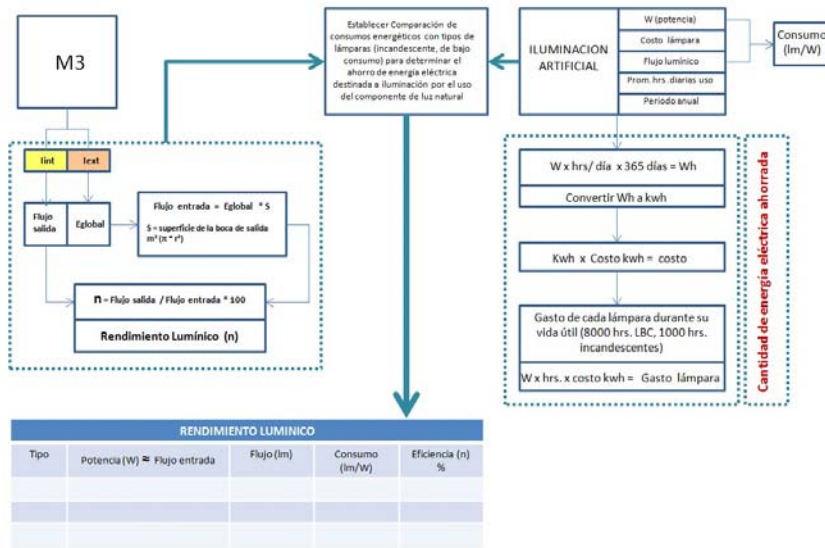


Figura 17. Diagrama para el cálculo el ahorro de energía eléctrica y eficiencia energética por utilización de Componentes de Conducción de Luz Natural. Fuente: R. González. Julio, 2014

## CONCLUSIONES

La propuesta metodológica se constituye en un documento descriptivo que contempla los aspectos necesarios para llevar a cabo la evaluación cualitativa y cuantitativa de la iluminación natural utilizando los modelos a escala como herramienta; lo que permitirá evaluar alternativas tendientes a la utilización de la iluminación natural como recurso sustentable durante el periodo diurno en las edificaciones; sentando así, las bases para el planteamiento y/o adecuación de componentes que en muchos casos involucran una inversión mínima que resulta recuperable en el tiempo y que conlleva al uso consciente de este recurso por parte de los usuarios.

## Referencias Bibliográficas

Atif, M.R.; Love, J.A.; Littlefair, P. (1997). Daylighting Monitoring Protocols & Procedures for Buildings. A report of Task 21 / Annex 29 Daylight in Buildings. Canada. NRCC-41369. [www.nrc.ca/irc/ircpubs](http://www.nrc.ca/irc/ircpubs). Consultado: febrero 2014.

International Energy Agency (IEA) (2001). IEA SHC TASK 21 / ECBCS ANNEX 29: "Monitoring Procedures for the Assessment of Daylighting Performance of Buildings". Consultado: febrero 2014.

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.

Aguaviva, E.; Casablanca, G.; Eguía, S.; Valerio, M.A.; Evans, J.; Vence, G. (2002). Artefactos para iluminación natural integrados a la arquitectura. Estrategias de optimización de las condiciones lumínicas en la envolvente de un taller de la FADU – UBA. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol. 6, Nº 1, Impreso en la Argentina. ISSN 0329-5184. <http://www.asades.org.ar/modulos/averma/trabajos/2002/2002-t005-a007.pdf>. Consultado: febrero 2014

Casablanca, G.; Evans, J. (2003). Estantes de luz: verificación de iluminación natural, asoleamiento y Protección solar en maquetas de ensayo. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol. 7, Nº 1, Impreso en la Argentina. ISSN 0329-5184 <http://www.asades.org.ar/modulos/averma/trabajos/2003/2003-t005-a005.pdf>. Consultado: febrero 2014.

González, R.; Pérez, L.; Bravo, G.; González, E.; Tsoi, E. (2006). Iluminación natural de edificaciones: propuesta teórica metodológica para la caracterización y evaluación de espacios. Revista Técnica de Ingeniería. Universidad del Zulia. Vol.29, No. 3, 235 – 250. Maracaibo, Venezuela.

Hoses, S.; San Juan, G.; Melchiori, M.; Viegas, G. (2001). La iluminación natural interior mediante la utilización de modelos. <http://www.asades.org.ar/modulos/averma/trabajos/2001/2001-t005-a005.pdf>. Consultado: febrero 2014

Pattini, A. (2000). Evaluación de la iluminación natural en edificios. Modelos a escala. <http://www.asades.org.ar/modulos/averma/trabajos/2000/2000-t005-a004.pdf>. Consultado: febrero 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>.  
febrero 2014

Consultado:

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

Fernández, M. V.; Evans, J. (2001). Desarrollo y evaluación de diseños con iluminación natural. Sala de Interpretación, proyecto reserva ecológica costanera sur, Buenos Aires. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. Vol. 5, Impreso en la Argentina. ISSN 0329-5184. <http://www.asades.org.ar/modulos/averma/trabajos/2001/2001-t008-a015.pdf>. Consultado: febrero 2014.