

Daylighting of buildings: Theoretical methodological proposal for the characterization and evaluation of spaces

Rosalinda González, Lesvia Pérez, Gaudy Bravo, Eduardo González y Elizabeth Tsoi

Sección Acondicionamiento Ambiental, Instituto de Investigaciones de la Facultad de Arquitectura y Diseño, IFAD, Universidad del Zulia, Apdo. 526. Maracaibo 4011-A, Venezuela. Telf.: +58.61.598628. Fax +58.61.598503. E-mails: rosalindag2002@yahoo.es; lesvi@cantv.net; gbravo@luz.ve; egonzale@luz.ve; elitsoi2000@yahoo.com

Abstract

The objective of this work is to make a theoretical methodological proposal for the daylighting characterization and evaluation of spaces, in buildings under the real sky condition; these was developed to be applied in the evaluation of Bioclimatic House Prototype VBP-1, designed for Maracaibo -Venezuela's city (10° 40.5' north latitude). This Proposal was divided in two parts: the first, directed to define a process for the characterization (existent situation) in which were described the procedures of measure of quantitative aspects (external illuminance, interior illuminance, reflectance and transmittance of the surfaces), identifying and classifying parameters presents on each one of them and the second part, direct to define a process for the evaluation (ideal situation) with the values recommended by standards, which subsequently permit to establish comparisons between existing and recommended values. Like result of this methodology, was design a series of register forms for take data, which facilitate the daylighting characterization and evaluation of each space.

Key words: Daylighting, daylighting characterization, daylighting evaluation.

Iluminación natural de edificaciones: Propuesta teórica metodológica para la caracterización y evaluación de espacios

Resumen

El objetivo del trabajo es realizar una propuesta teórico metodológica para la caracterización y evaluación lumínica natural de espacios, en edificaciones bajo condición de cielo real; la misma, fue desarrollada para ser aplicada en la evaluación de la Vivienda Bioclimática Prototipo VBP-1, diseñada para la ciudad de Maracaibo-Venezuela (10° 40.5' latitud norte). La Propuesta, se dividió en dos partes: la primera dirigida a definir un proceso para la caracterización (situación existente) en la cual, se describieron los procedimientos de medición de los aspectos cuantitativos (iluminancia exterior, iluminancia interior, reflectancia y transmitancia de las superficies), identificando y clasificando los parámetros presentes en cada uno de ellos y la segunda parte, dirigida a definir un proceso para la evaluación, (situación ideal), a través de los valores recomendados por normas, lo que permitirá posteriormente establecer comparación entre valores existentes y recomendados. Como resultado de esta metodología, se diseñaron una serie de formularios para el registro de la información, que facilitan la caracterización y evaluación lumínica de los espacios.

Palabras claves: Iluminación natural, caracterización lumínica natural, evaluación lumínica natural.

Introducción

La sensación de bienestar que deriva de una combinación adecuada de la calidad y cantidad de iluminación que se da simultáneamente en un espacio y que permite la realización de las tareas visuales sin fatiga, ni molestias es lo que se denomina confort lumínico [1]. El ambiente interior o exterior, deberá ser evaluado (cuando se trata de un modelo o una edificación existente) o diseñado (etapa de anteproyecto) para garantizar que las condiciones lumínicas sean las más adecuadas para la realización de las actividades. La cantidad y calidad de luz natural que penetra en un espacio depende de varios aspectos: del tipo de cielo, de las características exteriores del lugar (vegetación, obstrucciones) y de las características de las superficies internas del espacio (incluyendo el equipamiento). Cada uno de estos aspectos, están relacionados con ciertas magnitudes luminosas: la iluminancia, la luminancia, la reflectancia, y la transmitancia, cuyos valores, deberán ser determinados para evaluar la calidad y cantidad de luz considerando el uso del espacio, conforme a lo establecido en las normas y/o reglamentos vigentes. Existen varias técnicas para evaluar o diseñar un sistema de iluminación [2]: modelos a escala, métodos de predicción (herramientas de diseño simplificadas), programas de computación, estudios en laboratorios y mediciones de iluminación natural en edificaciones reales (evaluación). En este trabajo, se propone el planteamiento de una metodología considerando la última de ellas, y basada en un documento desarrollado por la Agencia Internacional de energía (IEA), donde se establecen recomendaciones para diferentes niveles de monitoreo y procedimientos de evaluación, en edificaciones bajo condiciones de cielo real [3], las cuales son producto de investigaciones realizadas sobre el área y la consideración de normas internacionales tales como la CIE, IESNA, IRAM y ASHRAE.

Propuesta Metodológica

La propuesta teórica metodológica para la caracterización y evaluación lumínica natural de edificaciones bajo condición de cielo real, se dividió en dos partes: la primera dirigida a definir un proceso para la caracterización y la segunda, un proceso para la evaluación (Figura 1).

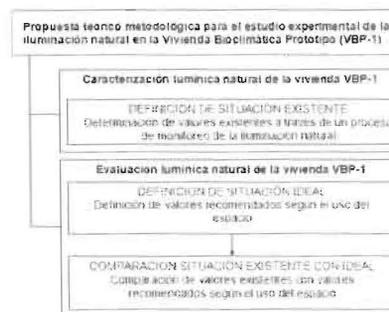


Figura 1. Estructura general del proceso.

Para precisar las características lumínicas de los diferentes espacios de la vivienda, se definió un proceso general para el monitoreo de la iluminación natural en espacios bajo condiciones de cielo real; en el mismo, se describen los procedimientos y se elaboran formularios donde se registran los parámetros presentes en cada uno de ellos. El proceso de monitoreo, consta de las siguientes actividades:

- Descripción previa de aspectos generales tanto del clima de la ciudad, como de las características de la edificación [4-5]. Se deben incluir dentro de la documentación los planos del proyecto, ya que, resultan de gran utilidad en la toma de mediciones.
- Medición y registro de los aspectos cuantitativos de la iluminación natural, tales como: la luminancia del cielo, la iluminancia vertical exterior y el registro simultáneo de los niveles de iluminación horizontal interior y exterior en un cielo sin obstrucción.
- Medición de la transmitancia de las superficies vidriadas o plásticas, para determinar la pérdida de luz a través de ellas.
- Medición de la reflectancia de las superficies internas, para conocer la contribución de estas a la iluminación natural en el espacio (fuente secundaria de luz).
- Medición y registro de los parámetros que permitirán evaluar los aspectos cualitativos de la iluminación natural (problemas de deslumbramiento y de adaptación), entre los cuales se encuentran: la iluminación natural vertical interior y la luminancia en direcciones específicas del espacio.

A partir de este proceso, se identificaron los procedimientos, sus parámetros y la información a obtener en cada uno de ellos (Figura 2).

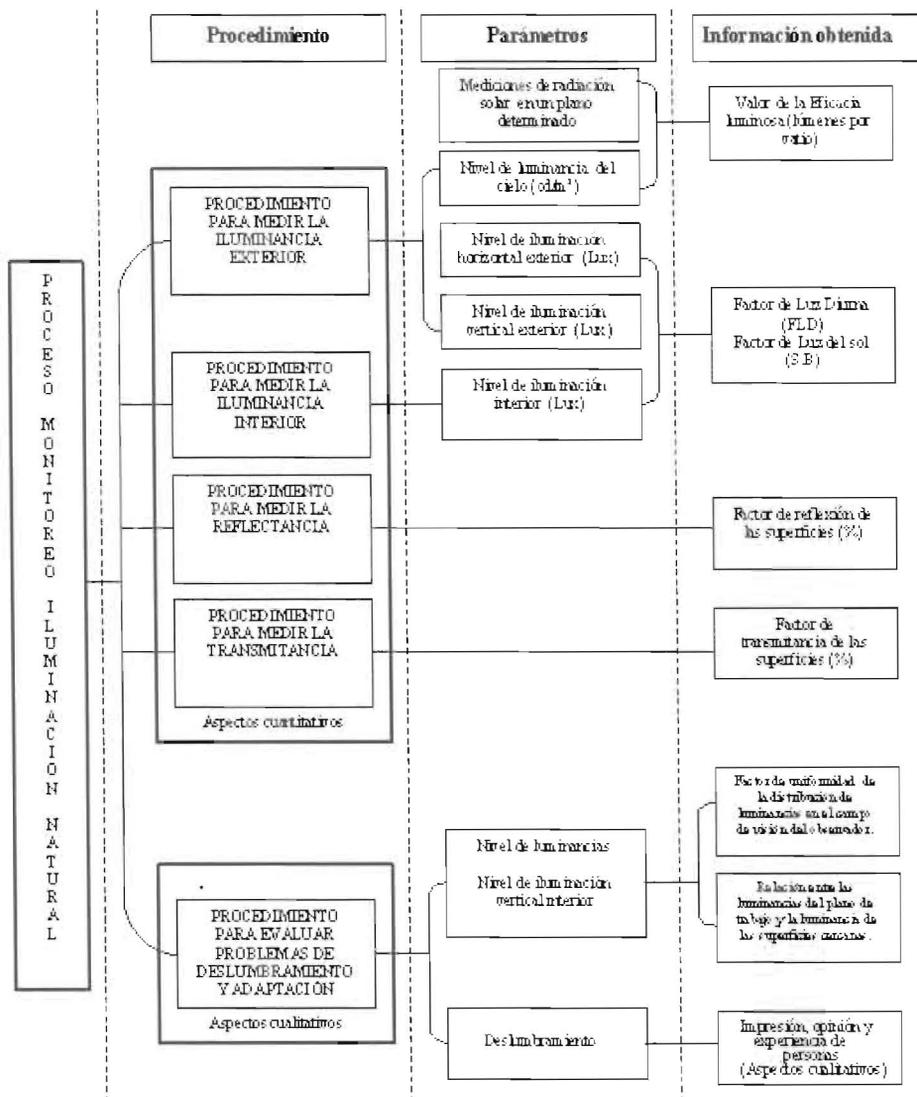


Figura 2. Proceso monitoreo de la iluminación natural.

Para el registro de los datos se diseñaron fichas utilizando el programa Visual Basic, con el propósito de automatizar posteriormente el proceso de registro, análisis y evaluación de la información y facilitar la caracterización lumínica de los espacios. El esquema general de organización del sistema se presenta en la Figura 3.

Proceso para la Caracterización Lumínica

Para iniciar el registro de la iluminación natural, se recomienda identificar el proyecto, número de espacios a evaluar, nombre y código de cada espacio (Figura 4).

Medición de la iluminación natural exterior

Para lograr una eficiente utilización de la iluminación natural dentro de los espacios, se requiere información precisa sobre los niveles de iluminación exterior [6]. Para el caso concreto de estudio, se propone el registro de la iluminación natural bajo condiciones de cielo real en función de las siguientes variables: tipo de cielo, iluminación exterior sobre plano horizontal y vertical.

Tipo de cielo

El tiempo de monitoreo varía según el tipo de cielo [3]; se requiere un día completo bajo con-

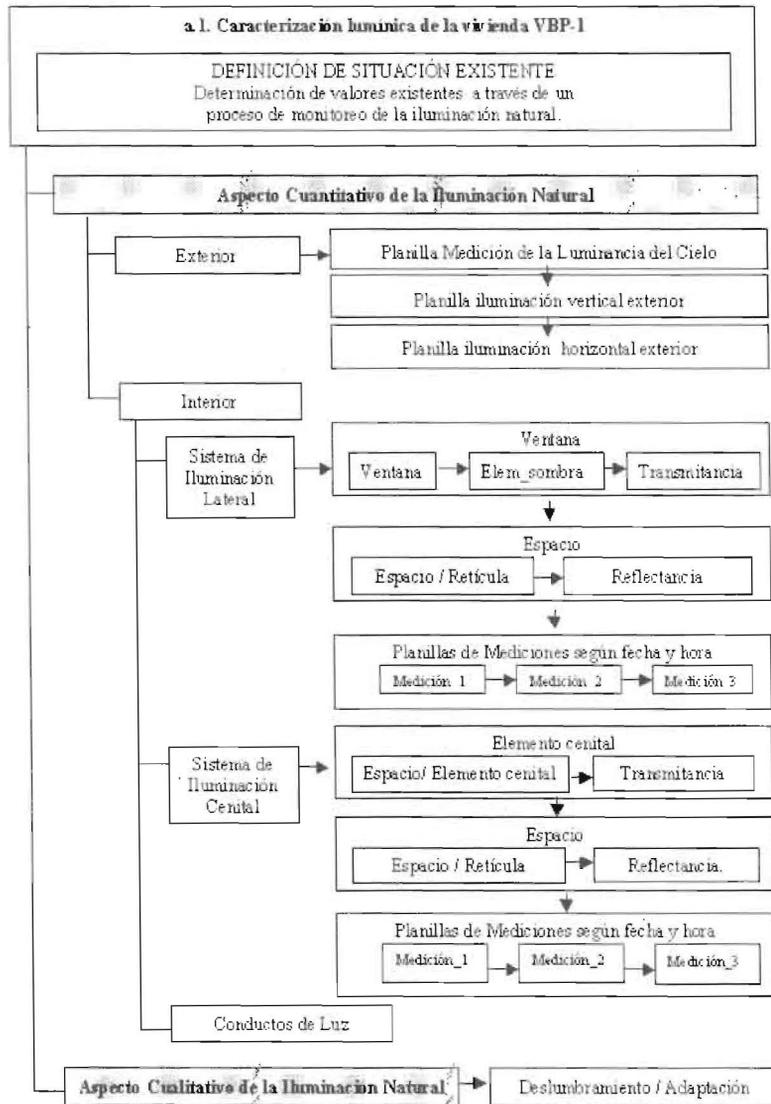


Figura 3. Caracterización luminica de la vivienda.

Figura 4. Formulario para el registro de la iluminación natural.

diciones de cielo cubierto (evaluación mínima) y tres días en condición de cielo despejado (periodos del año recomendados: solsticios de invierno y verano y equinoccios de primavera u otoño). Existen varios métodos para estimar el tipo de cielo: a partir de la nubosidad, de la insolación, de la radiación solar y a través de mediciones de luminancia. En el caso específico de la VBP-1, se realizara a partir de la nubosidad (observación directa del cielo) y a partir de la insolación (registro de las horas de sol obtenidas a través de un heliógrafo).

Medición de la iluminación exterior sobre un plano horizontal

El objetivo de este procedimiento consiste en medir la iluminación recibida sobre una superficie horizontal exterior sin obstrucciones. Se utiliza un luxómetro, cuyo rango debe oscilar entre 0 y 299.000 lux. Se recomienda la participación de dos personas en la medición.

Procedimiento: Colocar el instrumento sobre una superficie horizontal libre de obstrucciones, la cual, puede estar ubicada a una altura de 1,60 m. sobre el piso con el fin de disminuir la posibilidad de eventuales sombras generadas por las personas que se acerquen a él y permitir la inspección, y limpieza de la superficie superior del sensor [6]. En la Figura 5 se muestra el formulario donde se registran los valores.

Medición de la iluminación exterior sobre un plano vertical

El objetivo de este procedimiento consiste en estimar la iluminación exterior sobre un plano vertical. Este procedimiento se puede realizar con uno o dos sensores (se recomiendan dos) y una superficie color negro mate [3]. Consta de lo siguiente: Medición de la iluminación vertical exterior debida a la condición del cielo y medición de la iluminación vertical exterior proveniente de la contribución de las superficies exteriores (luz reflejada por el terreno que rodea al edificio en estudio o la proveniente de otras superficies exteriores).

Procedimiento:

- Especificar la orientación de la fachada que contiene la(s) abertura(s) del espacio.
- Medir la iluminación vertical exterior debida a la condición del cielo, para ello, se ubica un sensor en forma vertical sobre la fachada, donde previamente, se ha colocado una superficie de color negro mate sobre el piso para proteger el mismo de las reflexiones provenientes de las superficies exteriores (Figura 6-a, 1).
- Medir la iluminación vertical exterior proveniente de la contribución de las superficies exteriores; para ello, se ubica un sen-

Figura 5. Formulario registro de la medición de iluminación exterior sobre plano horizontal.

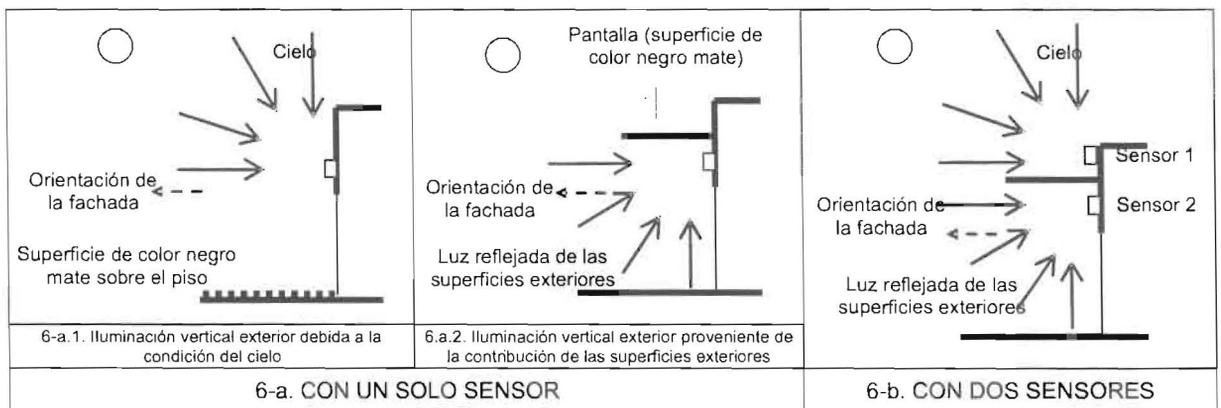
sensor en forma vertical sobre la fachada, el cual, deberá estar protegido de la iluminación proveniente del cielo; en este caso, se utiliza una superficie de color negro mate colocada como pantalla (Figura 6-a.2), de no utilizarse este elemento, la contribución de las superficies exteriores puede determinarse por la diferencia entre el valor de la iluminación vertical exterior debido a la condición del cielo, y el valor de la iluminación vertical exterior global; el cual, es obtenido de colocar el sensor en forma vertical sobre la fachada sin utilizar superficies de

color negro mate. De poseer la posibilidad de utilizar dos sensores colocar ambos en forma vertical sobre la fachada según se observa en la Figura 6.b.

En la Figura 7, se muestra el formulario donde se registran los valores de iluminancia vertical exterior.

Medición de la iluminación natural interior

Este proceso contempla los siguientes procedimientos: medición de los niveles de ilumina-



(Basado en la fuente: Atif, Love, Littlefair - Daylighting Monitoring Protocols & Procedures for Buildings).

Figura 6. Ubicación de los sensores para medir la iluminancia vertical exterior.

ILUMINACIÓN EXTERIOR

Medición de iluminancia Exterior sobre un plano vertical

Equipo de medición:

Marca	Modelo	Escala de medición	Fecha de adquisición del equipo	Fecha de calibración	Error de calibración	Alfabeto del sensor

Responsable de la medición: _____

Fecha de la medición: Mes _____ Día _____ Año _____

Orientación de la fachada que contiene la(s) abertura(s) del espacio analizado: _____

HORA	1era Medición	2da Medición	3era Medición	4ta Medición	5ta Medición
Nivel de iluminancia - Contribución del cielo (L _{avc})					
Nivel de iluminancia - Contribución de las superficies exteriores (L _{avt})					

ILUMINANCIA VERTICAL EXTERIOR

Siguiente

Figura 7. Formulario registro de medición de iluminación exterior sobre plano vertical.

ción natural interior, medición de la transmitancia de las superficies vidriadas o plásticas y medición de la reflectancia de las superficies.

Medición de los niveles de iluminación natural interior

El objetivo de este procedimiento consiste en medir los niveles de iluminación natural sobre el plano de trabajo ubicado en el interior de los espacios. El equipo de medición utilizado es el luxómetro, cuyo rango debe oscilar entre 0 y 20.000 lux. Se recomienda la participación de tres personas. La planilla de registro es la mostrada en la Figura 8.

Procedimiento:

- Selección de los espacios representativos de un sistema de iluminación específico (cenital, lateral y otros), complementados con la elección de situaciones espaciales distintas en relación con las fuentes de iluminación natural, tales como: tamaño, ubicación y forma de las aberturas (altas y angostas, alargadas horizontales, en saliente, en paredes opuestas, continuas o separadas) [4].
- Caracterización de los sistemas de iluminación lateral y/o cenital de acuerdo a su ubicación, tamaño, forma, tipo y orientación (Figura 9 y 10). Esto nos permite analizar la

distribución y calidad de la luz en los espacios, así como también determinar su función (iluminación natural, ventilación natural, visuales y seguridad).

- También es importante el registro de elementos de protección solar existentes que afecten la cantidad de luz que penetra al espacio (Figura 11).
- Definición del número y ubicación de sensores, para ello se pueden establecer varios criterios para el monitoreo de un sistema de iluminación natural: utilizando un mínimo de sensores; utilizando una retícula para determinar la intensidad y distribución de la iluminación en un espacio; utilizando un mínimo de sensores para el monitoreo de un sistema de control (luz artificial como complemento de la natural) [3]. A continuación solo se describen los criterios referidos a los sistemas de iluminación natural.
 - Monitoreo utilizando un mínimo de sensores: Los sensores, deberán ser colocados sobre una línea perpendicular coincidente con el centro de la ventana, a la altura del plano de trabajo (oscila entre 80 a 100 cm., según la actividad desarrollada en el espacio), generalmente se recomienda utilizar un trípode nivelado para obtener una posición totalmente horizontal del instru-

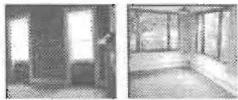
The screenshot shows a software window titled "ILUMINACION INTERIOR" with the subtitle "Medición de iluminación interior". It contains several input fields for recording measurement data:

- Equipo de medición:** Fields for Marca, Modelo, Escala de medición, Fecha de adquisición del equipo, Fecha de calibración, Error de calibración, and Altura del sensor.
- Responsable de la medición:** A text field.
- Fecha de la medición:** Fields for Mes, Día, and Año.
- Hora:** A time selection field.
- Table:** A table with 8 rows and 7 columns (A, B, C, D, E, F, G) for recording data.
- Visualizations:** A 3D grid showing measurement points and a 2D grid with a legend for lux levels: 4000-5000, 3000-4000, 2000-3000, 1000-2000, and 0-1000.
- Buttons:** "Siguiente" (Next) and "Anterior" (Previous) buttons.

Figura 8. Formulario registro de mediciones de iluminación natural interior.

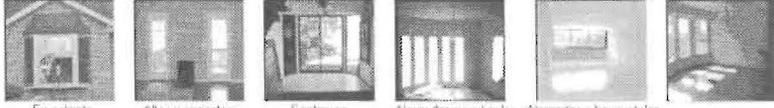
ILUMINACIÓN INTERIOR

UBICACIÓN DE LA(S) VENTANA(S)

Una Ventana:  **Dos o más Ventanas:** No. de ventanas:


Identificación: Orientación: Dimensiones: Ancho: Alto: Forma: Tipo: Altura piso - borde inferior ventana: Distancia centro ventana - pared izq:

FORMA DE LA VENTANA



TIPO DE VENTANA

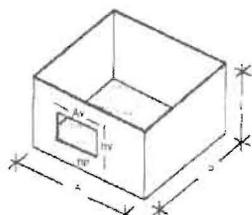


Siguiente

Figura 9. Formulario registro para la caracterización de las ventanas.

Registro de Iluminancia Natural Interior - Sistema Cental

ESPACIO



Dimensiones (m):
 Alto (h): Ancho (a): Largo (l):
 angulos: Qa: Ql:
 Proyección horizontal - superficie de techo (St):
 Altura - plano de trabajo (hp):

SUPERFICIE ILUMINANTE (Elemento cenital):

Tipo:


Número de elementos:
 Dimensiones del elemento cenital: Ancho (ac): Largo (lc):
 Tipo de vidrio: Inclinación de la superficie iluminante (y):
 Altura desde el plano de trabajo hasta el borde inferior del elemento cenital (hc):

Siguiente

Figura 10. Formulario registro para la caracterización del elemento cenital.

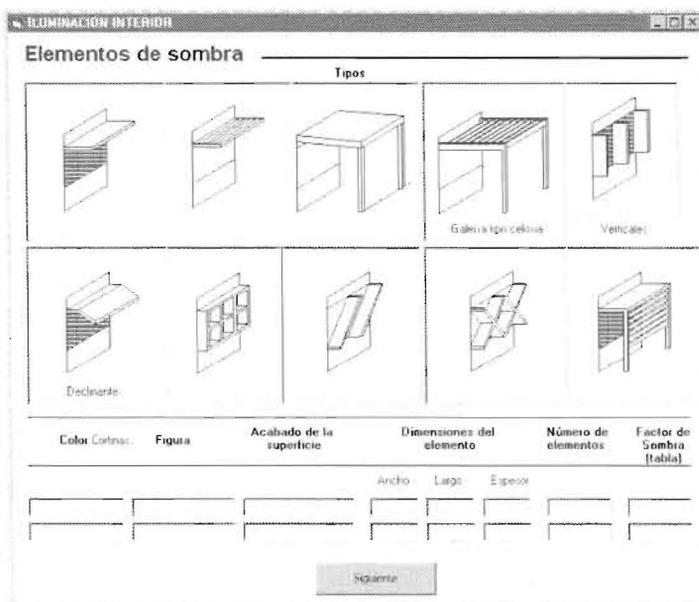


Figura 11. Formulario registro de elementos de sombra.

mento de medición (luxómetro) [4]. Los sensores ubicados cerca de la pared que contiene la ventana y de la pared posterior debe ser localizados a una distancia de ellas igual a la mitad de la distancia entre los demás sensores, ya que, estos deben quedar ubicados en el centro de cada módulo planteado (Figura 12).

- Monitoreo utilizando una grilla o retícula: la grilla debe ser ortogonal y perpendicular a la ventana. La elección de la cantidad de puntos y su ubicación en el espacio se realiza de acuerdo a la disposición de las aberturas o elementos cenitales en cada ambiente evaluado [4] y sus dimensiones (Figura 13). El trazado de una retícula permite dibujar luego las curvas isolux para determinar la distribución de la iluminación en el espacio y conocer las zonas donde la iluminación puede ser insuficiente o inadecuada.
- Se recomienda realizar las mediciones de los niveles de iluminación horizontal interior, siguiendo la secuencia recomendada en la Figura 14.
- Definición de los períodos de medición de la iluminación (interior y exterior): Se define el mismo período utilizado para determinar la condición del cielo.

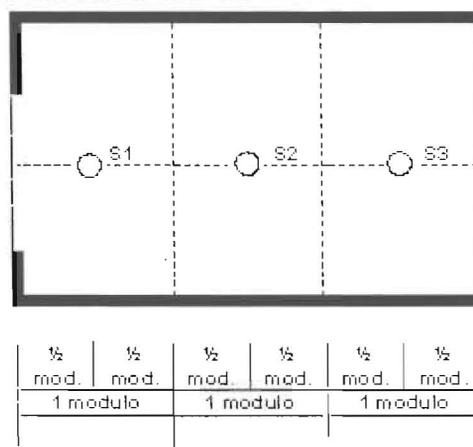


Figura 12. Monitoreo utilizando un mínimo de sensores.

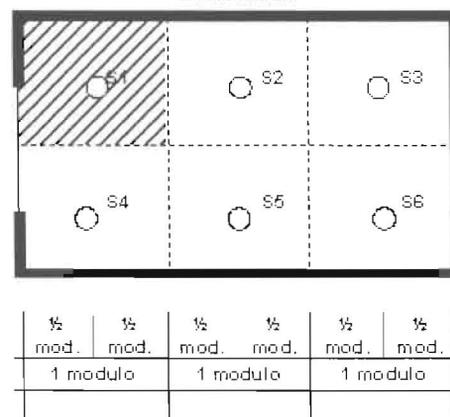


Figura 13. Monitoreo utilizando una retícula.

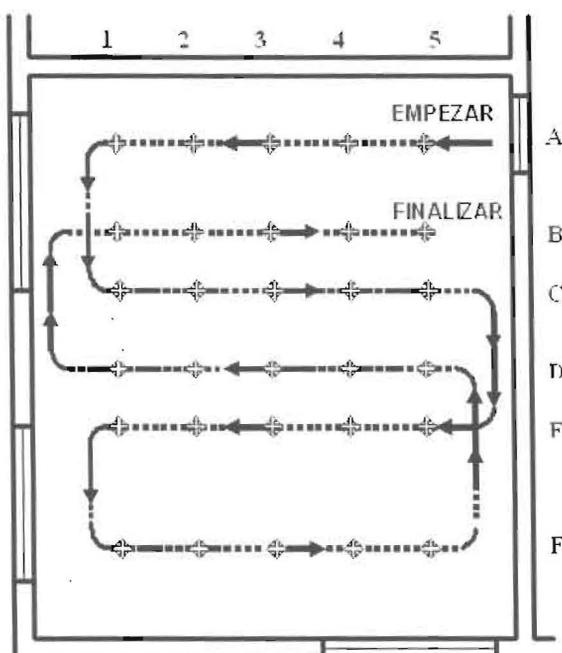


Figura 14. Secuencia recomendada para mediciones (Hopkinson, y otros, 1966).

- Definición de la frecuencia horaria de medición de la iluminación (interior y exterior).
- Determinación del Factor de Luz Diurna (FDL) para condiciones de cielo cubierto y el Factor de Luz del Sol para condiciones de cielo claro (SB), expresados en porcentaje. Este factor se establece como la relación entre la iluminación interior (lux) y la iluminación exterior (lux) sin obstáculos, multiplicado por 100 [4].

Medición de transmitancia

El objetivo de este procedimiento consiste en obtener el factor de transmitancia de las superficies vidriadas. Se utiliza un luxómetro o un luminancímetro como equipo de medición, cuyas unidades de medición son lux o cd/m^2 y con un rango que oscile entre 0 - 20.000 lux. Se recomienda que en el proceso de medición participen dos personas.

Existen varios métodos para medir la transmitancia [2, 5]:

- La normal-normal transmitancia (vidrio claro) (τ_{nn}): se determina estableciendo una relación entre la luminancia de un objeto visto detrás del vidrio (L_{in}) en una di-

rección perpendicular al plano vidriado y la luminancia del mismo objeto, en la misma dirección y sin el vidriado (L_{out}); generalmente las medidas se toman primero con las ventanas cerradas y luego con las ventanas abiertas. La expresión es la siguiente:

$$\tau_{nn} = L_{in}/L_{out}. \quad (1)$$

- La hemisférica-hemisférica transmitancia (τ_{hh}): se determina relacionando la iluminancia de un objeto visto detrás del vidrio difuso (I_{in}) en una dirección perpendicular al plano vidriado y la iluminación del mismo objeto, en la misma dirección y sin el vidriado (I_{out}). La expresión es la siguiente:

$$\tau_{hh} = I_{in}/I_{out}. \quad (2)$$

Se recomienda la medición bajo condición de cielo cubierto y realizar la medición en la misma ubicación tres veces como mínimo para establecer un promedio [4]. Los datos se registran en un formato previamente diseñado para tal fin (Figura 15). En el caso de que los métodos propuestos para medir la transmitancia del vidrio no resulten prácticos debido a las dificultades para abrir las ventanas o realizar las mediciones exteriores, será necesario recurrir a las especificaciones de fabricación de las superficies vidriadas [3].

Medición de reflectancia

El objetivo de este procedimiento consiste en obtener el factor de reflexión de las superficies y puestos de trabajo seleccionados. Como equipo de medición se utiliza un luxómetro ó un luminancímetro, cuyas unidades de medición son lux o cd/m^2 y con un rango que oscile entre 0-20.000 lux. Se recomienda que en la medición participen dos personas. Los puntos de medición deberán ser los mismos que se establecieron en la grilla de referencia. Existen dos métodos [3, 7]:

- El método iluminación-luminancia (Figura 16); el cual consiste en la medición de dos parámetros: la medición de la luminancia de las superficies (E1) la cual se obtiene colocando la fotocelda del luxómetro de cara a la superficie, a una distancia de 2 a 10 cm, (hasta lograr que la lectura se estabilice); y la medición de la iluminación que reciben las superficies (E2), la cual se realiza con la

ILUMINACION INTERIOR

TRANSMITANCIA DE LAS SUPERFICIES VIDRIADAS O PLASTICAS

Hora medición	Area neta del vidrio	Tipo de vidrio o plástico	Estado de limpieza	Normal - transmitancia normal			Normal - transmitancia hemisférica			Hemisférica - transmitancia hemisférica		
				Lin	Lout	Thh	Lin	Lout	Tnn	lin	lout	Thh
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Estado de limpieza de la superficie:

Bueno Regular Malo

Tipo de vidrio o plástico:

Transparente Translucidos Vidrios especiales Laminados de Plásticos

NORMAL - TRANSMITANCIA NORMAL: Relación de la luminancia de un objeto visto detrás del vidrio claro (Lin), en una dirección perpendicular al plano vidriado, a la luminancia del mismo objeto, en la misma dirección, sin el vidriado (Lout). Instrumento de medición: Luminancímetro.
 $Tnn = Lin/Lout$

NORMAL - TRANSMITANCIA HEMISFERICA: Relación de la luminancia de un objeto visto detrás del vidrio difuso (Lin), en una dirección perpendicular al plano vidriado, a la luminancia del mismo objeto, en la misma dirección, sin el vidriado (Lout). Instrumento de medición: Luminancímetro.
 $Tnn = Lin/Lout$

HEMISFERICA - TRANSMITANCIA HEMISFERICA: Es la relación de la luminancia detrás del vidrio claro o difuso (lin), y en frente del vidrio (lout), con el luxómetro colocado afuera (Bajo condición de cielo cubierto).
 $Thh = lin/lout$

Figura 15. Formulario registro de mediciones de transmitancia.

Registro de Iluminación Natural - Sistema Lateral

Reflectancia de las superficies

	Material	Color	Luminancia (E1)	Iluminancia (E2)	Fact. refl (K)
Techo:	<input type="text"/>				
Piso:	<input type="text"/>				
Paredes:					
P1:	<input type="text"/>				
P2:	<input type="text"/>				
P3:	<input type="text"/>				
P4:	<input type="text"/>				
Pared que contiene la ventana:		<input type="text"/>			

Figura 16. Formulario registro de mediciones de reflectancia.

fotocelda orientada en sentido contrario y apoyada en la superficie con el fin de medir la luz incidente; obtenidas las dos mediciones se determina el factor de reflexión de la superficie (Kf) utilizando la siguiente ecuación:

$$K_f = E_1/E_2 (100). \tag{3}$$

- El método luminancia-luminancia: consiste en medir la luminancia de dos superficies: una correspondiente a un material de referencia de reflectancia conocida y otra correspondiente al material a examinar. Al utilizar el equipo se debe tener precaución de no mover el mismo entre las lecturas y no sombrear la superficie. Se utiliza la siguiente ecuación:

$$Kfd = Eld / E1c * Kfc. \quad (4)$$

donde Kfd es el valor de reflexión de la superficie examinada; Eld es la luminancia de la superficie examinada (cd/m^2); $E1c$ es la luminancia de la superficie de referencia conocida (cd/m^2); y Kfc es el valor de reflexión de la superficie de referencia conocida.

Proceso para la Evaluación Lumínica

En este proceso se identifican los valores de iluminación recomendados según normas, para determinado uso o actividad (situación ideal); lo cual, amerita la revisión de las normativas y/o reglamentos nacionales e internacionales relacionados con la iluminación en espacios interiores. Esto permitirá, establecer la comparación de estos valores con los valores obtenidos a través de mediciones en sitio, evaluando de esta manera, si las condiciones lumínicas de los espacios, son las más adecuada para el desempeño de las actividades dentro de los mismos.

Definición de la situación ideal

Para la definición de la situación ideal en la VBP-1, se consideró la normativa referente a uso residencial abarcando tanto el aspecto cuantitativo como el cualitativo.

Valores recomendados para evaluar el aspecto cuantitativo

- Niveles de iluminación: en las normas se observa la utilización de dos criterios: Niveles de iluminación por espacio o área (Norma COVENIN [8], Gaceta Oficial [9], y CIE [10]) y niveles de iluminación por actividad (IES Lighting Handbook (Illuminating Engineering Society) [11]). En la evaluación de la VBP-1, se consideraran estas últimas, ya que, la planificación de la iluminación residencial se realiza con base en las actividades y no en el espacio, estas normas especifican que muchas de las actividades visuales pueden ser desempeñadas en una misma zona de la vivienda, en cuyo caso se recomienda, la selección del nivel lumínico de la tarea más exigente (Tabla 1).

- Características y dimensiones de los medios de iluminación de tipo lateral y cenital: esto se realiza según lo estipulado en reglamentaciones referentes a la iluminación natural; en este caso, las Normas Sanitarias para proyecto, construcción, reparación y reforma de edificios, que en su capítulo IV (artículos 35-54) se refiere a las reglamentaciones para el uso de la iluminación natural en locales de edificaciones.
- Factor de Luz Diurna en diferentes tipos de edificaciones: en este caso, vivienda, tal como se muestra en la Tabla 2 [12].

Valores recomendados para evaluar el aspecto cualitativo

El principal aspecto a evaluar en el aspecto cualitativo es el deslumbramiento. El mismo, se presenta cuando existen luminancias excesivas y/o relaciones de luminancias desproporcionadas dentro del campo de visión; se considerarán en este aspecto:

- Relaciones de luminancias recomendadas para zonas del campo visual (Tabla 3) [2, 13]:
- Distribución de la iluminación dentro del espacio: en este caso, se deberá determinar el factor de uniformidad sobre el plano de trabajo (Tabla 4) [14].

$$Fu = Imin / Imax. \quad (5)$$

Fu = Factor de uniformidad

$Imin$ = Nivel de iluminación mínimo

$Imax$ = Nivel de iluminación máximo

- Reflectancias de superficies: para el logro de relaciones confortables en el espacio, se requiere de un cuidadoso estudio de todos los factores involucrados, incluyendo no solo la luz sino además las reflectancias de techos, paredes, pisos y equipamiento (Tabla 5).

Conclusiones

La iluminación natural es un recurso que ha sido poco aprovechado en nuestro medio, a pesar de que Maracaibo, por su ubicación geográfica ($10^{\circ}40.5'$ latitud norte, en los límites entre

Tabla 1
Recomendaciones sobre niveles de iluminación en lux

Espacio	Normativa							IES (nivel de iluminación por actividad)	
	Gaceta Oficial	COVENIN (2249-85)			CIE				
		A	B	C	General	Local			
Comedor	100	50	75	100	100	300	Cenar	160	
Dormitorio	100	200	300	500	50	200	Conversación, relajación, entretenimiento	110	
Sala	100	100	150	200	100	500	Conversación, relajación, entretenimiento	110	
Cocina	300	500	750	1000	300	500	Preparación de comida y lavado Servir y otras tareas no críticas	1600 540	
Lavadero	300	100	150	200	300	500	Preparación, organización, inspección, área de remojo y teñido Área de lavado y secado	540 320	
Salas sanitarias	300	100	150	200	100	500	Asearse, afeitarse, maquillarse	540	
Escritorios para estudio	700	200	300	500	300	-	Estudiar	750	
Costura								2200 (a)	
-Tejidos oscuros (a)	300	1000 (a)	1500 (a)	2000 (a)	500	-	Coser	1100 (b)	
-Tejidos medios y claros (b)		500 (b)	750 (b)	1000 (b)				540 (b)	
- Contraste alto ocasional (c)		200 (c)	300 (c)	500 (c)				320 (c)	

Tabla 2
Niveles generales o mínimos recomendados del Factor de Luz Diurna en edificaciones

Tipo de edificación	Factor de Luz Diurna recomendado (%) no menor que	Recomendaciones
Vivienda		
Cocina	2	Sobre al menos 50% del área de piso (mínimo de 50 ft ²)
Sala	1	Sobre al menos 50% del área de piso (mínimo de 75 ft ²)
Dormitorios	0.5	Sobre al menos 75% del área de piso (mínimo de 60 ft ²)

Fuente: Daylighting. Hopkinson *et al.*, 1966. Página 22.

Tabla 3
Zonas del campo visual y relación de luminancias para tareas visuales

Zonas del campo visual	Relación de luminancias
Entre la superficie de la tarea visual propiamente dicha (A) y el campo visual central (B)	Deseable 3/1 Aceptable 5/1
Entre la superficie de la tarea visual (A) y su entorno inmediato (C)	Aceptable 10/1 Deseable 5/1
Entre la fuente de luz y el fondo sobre el cual se destaca	20/1
Entre dos puntos cualesquiera del campo visual	40/1
Para objetos altamente iluminados utilizados como énfasis	50/1

Nota: los valores máximos de relación de luminancias no podrán sobrepasar los antes indicado.

Tabla 4
Heterogeneidad del campo luminoso

Factor de uniformidad sobre el plano de trabajo		
Normal	Trabajo fino	Iluminación localizada
Mayor de 0,3	Mayor de 0,6	Mayor de 0,8

Fuente: Acondicionamiento Natural y Arquitectura Puppo, Ernesto; Puppo, Giorgio A. Página 111.

Tabla 5
Reflectancias y valores Munsell aproximados para superficies internas de residencias

Reflectancias y valores Munsell aproximados para superficies interiores de residencias	
Superficie	Reflectancia (%)
Techo	60 a 90
Cortinas y revestimientos con telas sobre grandes áreas de pared	35 a 60
Paredes	35 a 60*
Pisos	15 a 35

* En áreas donde la iluminación para tareas visuales específicas toma prioridad sobre la iluminación del entorno, las reflectancias mínimas deberían ser de 40% para paredes y 25% para pisos.

Fuente: IES Lighting Handbook. Página 15-3.

la zona ecuatorial y tropical) cuenta con un gran caudal de radiación solar (térmica y lumínica) proveniente del sol, durante todo el año. Hoy en día, los costos de la energía eléctrica son muy altos y un mejor aprovechamiento de la iluminación natural podría significar una reducción en el consumo de ésta, si se consideran los siguientes aspectos:

- Utilización de la iluminación artificial solo como complemento de la iluminación natural durante el periodo diurno.
- Control de la ganancia de calor, producto de la incidencia directa de la radiación solar en el interior de los espacios.

Para el logro de lo anteriormente descrito, se hace necesario conocer los valores de iluminancia natural exterior e interior presentes en la localidad. Una de las formas de obtenerlos es a través de la realización de mediciones directas bajo condición de cielo real; lo cual, involucra una serie de parámetros y procedimientos, que se deben identificar previamente para hacer mas efectiva la obtención y registro de la información. La metodología propuesta pretende, por un lado, caracterizar, es decir, determinar valores existentes a través de un proceso de monitoreo que permita posteriormente describir de acuerdo a unas condiciones de iluminación exterior cuales son los niveles de iluminación interior y las cualidades lumínicas presentes en el espacio; y por otro lado, evaluar, en base a valores recomendados las condiciones adecuadas de acuerdo a la actividad. El conocimiento de los parámetros, procedimientos e información a obtener en el proceso, permite el desarrollo de un plan de trabajo global, donde se involucren todas las actividades, lo que facilita la obtención y registro de la información en este tipo de estudio, traduciéndose en un aprovechamiento del tiempo. Esta propuesta, constituye una referencia para estudios similares donde se incluya la variable lumínica natural, ya que, la misma fue diseñada para facilitar el registro y posterior análisis de la información.

Referencias Bibliográficas

1. De Oteiza, P. Estudio combinado de iluminación natural y ganancia solar térmica pasiva en edificios docentes. La Universidad del Zulia. Facultad de Arquitectura, 1991.
2. Comisión of the European Communities. Directorate-General XII for science, research and development Daylighting in Architecture a European reference book. James & James, Luxemburgo. (1993). 1.1-11.16.
3. Atif, M.R.; Love, J.A.; Littlefair, P. Daylighting Monitoring Protocols & Procedures for Buildings. Institute for research in construction (IRC). International Energy Agency. Solar Heating & Cooling Programme. IEA SHC TASK 21/ECBCS ANNEX 29 (1997).
4. González Matterson, M.; Kralj, M. E.; Martín Evans, J. Evaluación de condiciones de iluminación natural con luz cenital. Mediciones en edificios de la ciudad de Buenos Aires. Centro de Investigación Hábitat y Energía, Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo. Revista Averma. Universidad de Buenos Aires. Vol. 4. ISSN 0329-5184. (2000).
5. Fontoynt, M., Berrutto, V. Daylighting performance of buildings: monitoring procedure. Right Light 4. Vol. 2. (1999). 119-127.
6. Evans J. M. y Torres S. El recurso de iluminación natural en Buenos Aires, resultados de un año de mediciones. Centro de Investigación Hábitat y Energía, Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo. Revista Averma. Universidad de Buenos Aires. Vol. 4. ISSN 0329-5184 (2000).
7. Norma Oficial Mexicana NOM-025-STPS (1999).
8. Norma Venezolana COVENIN 2249-85 (1985). Iluminancias en tareas y áreas de trabajo. P. 1-18, 45-50.
9. SAS. MINDUR. Normas Sanitarias para Proyecto, Construcción, Reparación Reforma y Mantenimiento de edificaciones. Gaceta Oficial de la República de Venezuela No. 4044, extraordinario. Caracas (1988). Capítulo IV - De la iluminación y ventilación natural de los locales de las edificaciones. Págs. 3-6.
10. De las Casas, J. M., González, R., Puente, R. Curso de iluminación integrada en la Arquitectura. Servicio de Publicaciones del Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid, España, 1991.
11. IES Lighting Handbook. Illuminating Engineering Society. 5ta. Edición. Sección 7, 9, 10,15. (1972).

12. Hopkinson, R., Petherbridge, P., Longmore, J. Daylighting. Heinemann: London. Pág. 1-26, 333-351, 354-373, 431-452. (1966).
13. Mascaró, L. Luminotecnia-Luz Natural. Ediciones Summa. Argentina, 1977.
14. Puppo, E., Puppo, G. Acondicionamiento Natural y Arquitectura. Editorial Marcombo, S.A. de Boixareu editores. Barcelona, 1971.

Recibido el 18 de Abril de 2005

En forma revisada el 18 de Octubre de 2006