

Lina Johanna Zapata González
arq.zglima@gmail.com

Andrés Quiceno Hoyos
a.quiceno.h@gmail.com

María Teresa Arteaga Botero
marteagabotero@gmail.com



E

**valuación lumínica de los
ambientes pedagógicos de la
Universidad Católica
de Manizales.**

*Evaluation of the Lighting Conditions
in Pedagogical Environments at the
Catholic University of Manizales city.*

Primera versión recibida 17 de marzo 2016
Revisado 20 de abril 2016
Versión final aprobada 20 de diciembre 2016

Resumen

Este trabajo evaluó los parámetros lumínicos de 23 ambientes pedagógicos internos básicos (APIB) de la Universidad Católica de Manizales, mediante una metodología diagnóstica con mediciones in situ y acorde a las recomendaciones de la Norma Técnica Colombiana para el Planeamiento y Diseño de Instalaciones y Ambientes Escolares (NTC 4595). Los resultados arrojaron porcentajes de cumplimiento entre el 17% y 56% según la variable y se pudo concluir que en el 65% de los APIB, la causa de incumplimiento de la iluminancia media se debe a factores de diseño en las instalaciones de iluminación artificial. Finalmente, se logró establecer una metodología que puede ser replicada en cualquier institución educativa que busque evaluar las condiciones lumínicas de sus APIB.

Palabras claves

Iluminación, espacios educativos, NTC 4595.

Abstract

This work evaluated lighting parameters of 23 basic internal pedagogic environments (APIB) at Catholic University of Manizales city, through a diagnostic methodology under in situ measurements, and according to recommendations of Colombian Technical Standard for Planning and Design of School Installations and Environments (NTC 4595 for its Spanish abbreviation). Results yielded a compliance percentage between 17% and 56%, according to the variable, and it was conclude that in 65% of the APIB, the cause of average illuminance non-compliance is due to design factors of artificial lighting installations. Finally, a methodology was established which may be copied at any education institution in order to evaluate luminous conditions of their APIB.

Key words

Lighting, spaces, educational, NTC 4595.

Evaluación lumínica de los ambientes pedagógicos de la Universidad Católica de Manizales.*

Evaluation of the Lighting Conditions in Pedagogical Environments at the Catholic University of Manizales city.

Lina Johanna Zapata González**
arq.zglna@gmail.com

Andrés Quiceno Hoyos***
a.quiceno.h@gmail.com

María Teresa Arteaga Botero****
marteagabotero@gmail.com

159

Introducción

La calidad habitacional es un aspecto fundamental para el correcto desempeño de las actividades académicas, ya que garantiza el bienestar del usuario e incide directamente sobre la capacidad de aprendizaje y la salud física y mental de los estudiantes. Uno de los aspectos influyentes en el desempeño académico es un adecuado medio ambiente lumínico, en tanto que puede beneficiar o desfavorecer las tareas visuales a realizar. Así, las instalaciones de iluminación tienen que ser diseñadas no solamente para asegurar un buen rendimiento visual sino que deben incluir también consideraciones sobre la comodidad visual (Asociación Argentina de Luminotecnia, 2001, pág. 82).

*Artículo de investigación científica y tecnológica resultado del proyecto de investigación "Plan Maestro de Ordenamiento Físico de la Universidad Católica de Manizales". Grupo de investigación laboratorio de urbanismo, patrimonio y arquitectura "LUPA" de la misma universidad.

**Arquitecta, Especialista en Medio Ambiente Visual e Iluminación Eficiente, Magíster en Hábitat Sustentable y Eficiencia Energética, perteneciente al Grupo de Investigación: Laboratorio de Urbanismo, Patrimonio y Arquitectura (LUPA), docente Universidad Católica de Manizales.

***Arquitecto, Magíster en Hábitat Sustentable y Eficiencia Energética, perteneciente al Grupo de Investigación: Laboratorio de Urbanismo, Patrimonio y Arquitectura (LUPA), docente Universidad Católica de Manizales.

****Arquitecta, participó como asistente de investigación en el año 2013-2014, en el proyecto Plan Maestro de Ordenamiento físico de la Universidad Católica de Manizales, adscrito al grupo de investigación, Laboratorio de Urbanismo, Patrimonio y Arquitectura (LUPA).

El confort visual, definido como una evaluación subjetiva del sistema visual en relación con los niveles de luminancia e iluminancia (Asociación Argentina de Luminotecnia, 2001, pág. 149), es generado primordialmente por la ausencia de cualquier incomodidad inducida por el entorno visual; por lo tanto, requiere el control de las características ambientales y de la disposición del espacio para la comodidad visual de los usuarios que desarrollan actividades específicas con iluminación natural y/o artificial. Diferentes estudios buscan la relación entre la iluminación y la salud, ya que “la insuficiente o inadecuada exposición a la luz puede alterar los ritmos humanos normales, resultando en consecuencias adversas para el desempeño, la seguridad y la salud” (Bellia, Bisegna, & Spada, 2011, pág. 1984).

La luz natural puede ser uno de los atributos más importantes de un establecimiento educativo, ya que es una fuente gratuita de energía que, dependiendo de su incorporación en el diseño arquitectónico, puede otorgar un alto nivel de confortabilidad visual en el aula, “el entorno visual afecta la actitud y el rendimiento de los estudiantes” (Escobedo Portillo, Estebané Ortega, Maynez Guadarrama, & López Pulido, 2014, pág. 121). Según Heschong, los estudiantes que contaban con mayor iluminación natural en sus aulas, progresaron en un año un 20% más rápido en las pruebas de matemáticas y un 26% en las pruebas de lectura, que los que tenían menos luz del día (Heschong, 2001, pág. 65).

En un estudio que recopila 160 datos bajo simulación en entornos visuales, sobre el impacto de la luz en

el comportamiento de los ocupantes, se encontró que: “la velocidad y comprensión de lectura de los participantes fueron, respectivamente, más rápidos y más precisos en las condiciones en que se disponía de luz diurna” (Heydarian, Pantazis, Carneiro, Gerber, & Becerik-Gerber, 2016, pág. 212). No obstante, la luz artificial al igual que la luz diurna cumple un rol fundamental en el desarrollo de las actividades educativas, ya que muchas asignaturas son desempeñadas en el periodo nocturno, y en muchos casos se requiere de su uso en periodos diurnos debido a la necesidad de tener niveles suficientes de luz al interior, sobre todo en días nublados.

El alcance de esta investigación se enfocó en determinar: nivel de iluminación horizontal sobre el plano de trabajo, factor de luz día, factor de uniformidad general, factor de uniformidad máxima o extrema, reflectancias de las superficies, relación de luminancias entre la pared del tablero y el tablero, y el techo y la luminaria. En consecuencia, se diagnosticó la infraestructura física del campus de la UCM, a través del estudio de las condiciones lumínicas de 23 espacios representativos, clasificados según la “Norma Técnica Colombiana NTC 4595 (Ministerio de Educación, 2015) para el planeamiento y diseño de instalaciones y ambientes escolares” en el marco del proyecto de investigación Plan Maestro de Ordenamiento Físico de la Universidad Católica de Manizales (PMOF). Este es un instrumento de planificación orientado a visualizar el desarrollo urbanístico, arquitectónico y paisajístico del campus, acorde con los postulados del plan de desarrollo institucional.

Finalmente, esta investigación se articuló con referentes internacionales como UNE 12464.1 (Comité Europeo de Normalización, 2014) y la NOM-025-STPS-2008 (Secretaría del Trabajo y Previsión Social, 2008), permitiendo evaluar el medio ambiente lumínico del Campus UCM en relación con el contexto internacional. Y logró establecer una metodología para posteriores evaluaciones lumínicas de ambientes pedagógicos internos.

Metodología

La investigación asumió una metodología diagnóstica a través de mediciones *in situ*, en la que se evaluaron los ambientes pedagógicos internos básicos (APIB) de la planta física de la UCM. Se desarrolló en un clima frío semihúmedo bimodal, con dos temporadas secas que parten desde los solsticios y dos húmedas a partir de los equinoccios (DUQUE ESCOBAR, 2014).

La clasificación climática se realizó con la metodología de Caldas – Lang por ser de uso común en Colombia (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), 2005, pág. 78). En la primera fase se establecieron las variables de análisis. En la segunda fase se seleccionaron los APIB de estudio y se realizaron las mediciones *in situ*. En la tercera fase se determinó el nivel de cumplimiento de las variables de análisis, comparando los resultados según las recomendaciones de la NTC 4595 (Ministerio de Educación, 2015) y la norma UNE 12464.1 (Comité

Europeo de Normalización, 2014). Finalmente, en la cuarta fase se calculó el flujo luminoso total requerido y el flujo luminoso total instalado de los APIB de estudio, según el RETILAP (Ministerio de Minas y Energía, 2009), para determinar si las instalaciones de iluminación artificial presentan problemas de diseño o de mantenimiento. El análisis descriptivo de cumplimiento para determinar los porcentajes correspondientes a cada una de las variables se realizó utilizando las herramientas de Microsoft Excel 2013.

Criterios de selección de los APIB

Se seleccionaron 23 espacios que representan las condiciones generales de incidencia solar en cada bloque del campus; en particular, se buscaron espacios orientados hacia los cuatro puntos cardinales, con diferentes variables de diferenciación como:

- Tipo de uso (magistral o práctica). Entorno inmediato (aula o espacio común).
- Incidencia solar sobre la fachada según orientación cardinal.

Público ocupante (al cual va dirigido el espacio).

- La selección abarcó diferentes actividades académicas (Tabla 1 y Tabla 2), exceptuando las realizadas en los APIB_D y APIB_E por su condición de espacio recreativo exterior y de circulación.

Tabla 1. Clasificación general de los APIB (Ministerio de Educación, 2015)

APIB	Tipo de espacio	Espacio de referencia
APIB_A	Aulas de clase	
APIB_B	Bibliotecas - aulas de informática - centros de ayudas educativas - librerías	
APIB_C	Laboratorios de ciencia - talleres de arquitectura - aulas de tecnología especializada	
APIB_D	Campos deportivos - canchas multiuso - gimnasio - salas de juegos	
APIB_E	Circulaciones	
APIB_F	Foros - teatros - aulas múltiples - salones de música - auditorios	

Tabla 2. APIB seleccionados por bloque, en el campus UCM

Bloque	Nivel/Piso	APIB	Espacio
A	Segundo	A	A-222
	Segundo	C	Estudio de Radio y Televisión
	Tercero	A	A-304
	Tercero	A	A-312
B	Piso -2	C	Laboratorio de calidad de aguas (LAB-CA)
	Piso -2	C	Laboratorio de Biología Molecular investigación (LAB-BM)
	Piso -1	A	B-304
	Primero	C	Laboratorio de Microbiología agroindustrial de alimentos (LAB-MB-AL)
C	Segundo	B	Sala de sistemas No.3
	Tercero	A	Sala de Sistemas (S 201-202)
	Cuarto	C	Laboratorio de electrónica (LAB ELEC)
	Cuarto	C	Laboratorio de Telecomunicaciones (LAB TEC)
D	Piso -2	A	Salón de clase 2 (S-C-2)
	Piso -1	B	Sala de lectura 2 (S-LEC-2)
	Piso -1	B	Sala de lectura 1 (S-LEC-1)
	Primero	F	Auditorio de la biblioteca
E	Primero	F	Auditorio Marie Poussepin (AUD MP)
	Primero	A	E-202
	Segundo	C	E-302 305
	Tercero	C	E-403 404
	Tercero	C	E-401 406
	Cuarto	F	AUDITORIO 3
	Cuarto	A	E-513

163

Instrumentos de medición

Para evaluar las condiciones de iluminación¹ se establecieron los siguientes pasos:

- Información del espacio: se identificó el área de trabajo, las fuentes de iluminación y se

tomó registro fotográfico de las condiciones climáticas.

- Número de puntos de medición: se estableció la cuadrícula según índice del local K.
- Mediciones: se ubicó el luxómetro en el centro de cada punto de medición

¹ El protocolo fue establecido a partir de las siguientes fuentes:

- Riesgos físicos II. Iluminación y Radiación, Fernando Henao Robledo. 2008. (Henao Robledo, 2009)
- El protocolo de iluminación de (La Facultad de ingeniería Industrial, Laboratorio de producciones de La Escuela Colombiana de ingeniería Julio Garavito, 2008)
- Guía práctica de iluminación en el ambiente laboral del Ministerio de trabajo, empleo y seguridad social de la República de Argentina. Aprobada bajo el Protocolo para la Medición de la Iluminación en el Ambiente Laboral, mediante Resolución 84/2012. En su artículo 3ro. Bs. As., 25/1/2012. (Ministerio del Trabajo, Empleo y seguridad social de la República de Argentina, 2012)
- Tesis maestría en Arquitectura: Aprovechamiento de la luz diurna en las aulas tipo CAPFCE de la Universidad de Colima, Campus Coquimatlán, Col. de María Lourdes Gutiérrez Mandujano. Presentada Septiembre 2005. (Gutiérrez Mandujano, 2005)

establecido por la cuadrícula, a la altura de los puestos de trabajo determinados para la tarea visual y se registró el valor promedio de cada lectura cuando los datos en la pantalla se estabilizaron.

- Intervalos: entendiendo las condiciones de clima bimodal de la región, la medición comprendió dos etapas del año 2013: mayo para la época de lluvias y julio para la época de sequía.
- Horarios: las lecturas de iluminación natural por espacio se realizaron el mismo día a las 9:00am, 12:00m y 5:00pm y 7:00pm.
- Procedimiento: se consideraron dos tipos de mediciones dentro de cada lectura:
- Iluminancia fuente apagada (OFF): solo luz natural.
- Iluminancia fuente encendida (ON): luz natural y luz artificial.

Índice del local (plano de trabajo horizontal y vertical)

Se conoció el índice del local (k) de acuerdo con el área del espacio y la altura del montaje de las luminarias. Este permitió definir el número mínimo de puntos de medición de la grilla según la constante del salón (Tabla 3), por medio de la siguiente fórmula:

$$K = \frac{L X A}{H X (L + A)}$$

Ecuación 1. Índice del Local (K)

L: Largo del local

A: Ancho del local

H: Altura del montaje (diferencia entre el plano de trabajo, y la altura del plano de las luminarias).

Tabla 3. Relaciones entre la constante del salón (K) y el número de puntos de medición (Henao Robledo, 2009, p. 66)

Constante del salón (K)	Número mínimo de puntos de medición
< 1	4
1 y < 2	9
2 y < 3	16
> ó = 3	25

Sin embargo, debido a que la fórmula no proporcionó la precisión requerida para la evaluación de la iluminación natural, fueron utilizadas 3 tipos de cuadrículas de diferentes dimensiones para el análisis del recinto. En la Figura 1 se muestra un ejemplo, teniendo en cuenta que la cuadrícula de medición debe establecerse a 50cm de los muros que rodean el espacio.

- Cuadrícula 1m x 1m: para aulas entre 1 metro cuadrado y 20 metros cuadrados. Puntos mínimos correspondientes a esta área, según índice K: 9 puntos.
- Cuadrícula 1.5m x 1.5m: para aulas entre 20 m² y 35 m². Puntos mínimos correspondientes a esta área, según índice K: 9 puntos.
- Cuadrícula 2m x 2m: para aulas entre 35 metros cuadrados y 80 metros cuadrados. Puntos mínimos correspondientes a esta área, según índice K: 16 puntos.

Figura 1. Grilla de medición. APIB_A. Bloque A. A 222



Iluminancia media

Corresponde al promedio de lecturas tomadas sobre el plano de trabajo horizontal o vertical. Para el cálculo de la iluminancia media y el factor de uniformidad de la iluminancia, se realizaron mediciones diurnas y nocturnas en mayo y julio de 2013, con el luxómetro Delta OHM HD 2102,1 y la Fotocelda LP 471 PHOT iluminancia. A continuación se muestra, a manera de ejemplo, las mediciones realizadas en el Aula A222 para mayo del 2013, haciendo la salvedad que el ejercicio se realizó para cada uno de los espacios con la misma metodología en los dos meses.

$$E_{med} = \frac{\sum E_p}{np} \text{ (lux)}$$

Ecuación 2. Iluminancia media (E_{med})

$\sum E_p$: Sumatoria de valores promedio obtenidos en las diferentes lecturas.

np : Número de puntos medidos.

Iluminancia diurna

a. En el formato de información inicial (Tabla 4) se registraron las

condiciones atmosféricas del día, la iluminancia externa, la información del espacio, la información de luminarias, el índice del local (K) y el flujo luminoso total instalado.

b. Se registraron los valores de iluminancia horizontal (Tabla 5) con la fuente de luz artificial apagada (OFF) y encendida (ON), cuidando de que todas las luminarias funcionaran. El tiempo de duración de la lectura dependió del área del mismo y se evaluaron por día dos APIB en los siguientes horarios:

- Mañana: de 8:30 a 9:30 am y de 9:30 a 10:30 am.
- Medio día: de 11:30 am a 12:30 y de 12:30 a 1:30 pm.
- Tarde: de 4:30 pm a 5:30 pm, y de 5:30 pm a 6:30 pm.
- Noche: de 7:00 pm a 7:45 pm.

c. Conociendo los valores de iluminancia horizontal promedio del espacio, con luz artificial encendida y apagada, se compararon los valores obtenidos con los recomendados por las normas (Tabla 5); precisando que según el tipo de espacio, los valores mínimos recomendados están en el rango de 500 a 750 lux para las normas NTC 4595 y UNE 12464.1.

d. Se realizaron las tomas de iluminancia por superficie para determinar el factor de reflexión (K_f) (Secretaría del Trabajo y Previsión Social, 2008), usando la celda LP 471 PHOT (LUX). Primero, con el sensor hacia la superficie a 12cm de distancia, obteniendo E_1 que corresponde a la luz reflejada. Segundo, con la celda apoyada sobre la superficie con el sensor hacia arriba con el fin de capturar la

luz incidente E2 (Tabla 6).

E1: Iluminancia reflejada

$$Kf = \frac{E1}{E2} \times 100$$

E2: Iluminancia incidente

Ecuación 3. Factor de reflexión (Kf)

Tabla 4. Formato de información APIB_A, medición de iluminación in situ A222, mayo 2013

Fecha + Hora	Domingo 12 de mayo		Ambiente pedagógico	Salón de clase A 222	Bloque A Primer piso		
Marca y modelo Luxómetro	DELTA OHM HD 2102.2			Fecha de última calibración	28/08/2012		
Condiciones atmosféricas	Temperatura 19°C, Precipitaciones 30% Humedad 88% muy Soleado, pocas nubes.			Iluminancia externa	38.786lux		
INFORMACIÓN ESPACIO							
Actividad realizada	Lectura/Escritura/Proyección salones de clase 500 Lux	No. Puestos de trabajo	62	Tipo de puesto de trabajo	Sillas Universitarias		
Material	Mesa madera laminada, sillas tapizadas en cuero	Altura Entrepiso	3,7	Altura Puesto de trabajo	0,60		
INFORMACIÓN LUMINARIAS							
Numero de luminarias	2	Tipo	Lámparas tubulares fluorescente dobles	Potencia	75 W	Flujo luminoso	2715 Lúmenes
Altura montaje	1,62m	Temperatura color		6500 k	Dimensión Lumina-ria	1,20 x 0,30m	
Numero de luminarias	1	Tipo	Lámparas tubulares fluorescente doble	Potencia	75 W	Flujo luminoso	2715 Lúmenes
Altura montaje	2,73m	Temperatura color		6500 k	Dimensión Lumina-ria	1,20 x 0,30m	
Numero de Reflectores	4	Tipo	Lámparas Halógenas	Potencia	70 W	Flujo luminoso	1350
Altura montaje	3,1 -2,73m	Temperatura color		3000 K	Dimensión Lumina-ria	20 x 20cm	
Numero de luminarias	2	Tipo	Lámparas fluorescente compacta	Potencia	35 W	Flujolumi-noso	800
Altura montaje	3,1m	Temperatura color			Dimensión Lumina-ria	No regis-trada	
ÍNDICE DEL LOCAL (K)	1,39	NÚMERO MÍNIMO DE PUNTOS DE ME-DICIÓN					9
FLUJO LUMINOSO TOTAL INSTALADO						23290 lúmenes	

Tabla 5. Registro de iluminancia horizontal APIB_A. A222, lectura de la mañana, mayo 2013

Iluminancia fuente OFF				Iluminancia fuente ON		
No. Punto	Hora	E media		E media	Hora	No. Punto
1	10:44	214,3		205,4	11:10	1
2	10:45	232,9		472,4	11:11	2
3	10:47	632,8		1047,5	11:13	3
4	10:50	218,4		234,6	11:15	4
5	10:52	234,2		479,5	11:16	5
6	10:53	254,5		857,6	11:17	6
7	10:56	229,5		318,7	11:20	7
8	10:57	228,8		441,6	11:21	8
9	10:58	234,2		503,0	11:22	9
10	10:57	167,3		247,5	11:25	10
11	10:59	245,4		316,6	11:27	11
12	11:00	408,3		444,5	11:28	12
Emed 206				348 Emed		
U media 0,81		U extrema 0,26		0,20 U Extrema		0,59 U media
Recomendación Lux NTC 4595 x Actividad				FACTOR LUZ DÍA (FLD)		
UNE 12464.1	NTC4595	E_INT_OFF	E_INT ON	E Exterior	% ACTUAL	% NTC 4595
500 LUX	500 LUX	206	348	38.786	0,53	> 2%

ACTIVIDAD: LECTURA/ESCRITURA

167

Tabla 6. Medida de reflectancias en el ambiente pedagógico interno básico A222, mayo 2013

Superficie	Material	Color	Reflejada (lx) E1	Incidente (lx) E2	Porcentaje reflectancia	Porcentaje reflexión NTC 4595
Piso	Tapete Plástico	Negro	15,69	176,09	9	15-30%
Pared T1	Mampostería	Blanco	75,63	84,48	90	50-70%
Pared T2	Mampostería	Blanco	105,35	177,83	59	50-70%
Techo	Revoque rugoso	Gris	18,41	126,38	15	70-80%
Tablero	Acrílico	Blanco	59,42	176,20	34	50-70%

Iluminancia nocturna

En la lectura nocturna se realizaron los pasos b y c de la iluminancia diurna descritos anteriormente, pero las mediciones se realizaron después de 20 minutos de encendida la lámpara, con el ánimo de que esta llegue a su potencia máxima, teniendo en cuenta el punto A.2.1 del apéndice A, evaluación de los niveles de iluminación de la norma oficial mexicana, condiciones

de iluminación en los centros de trabajo NOM-025-STPS-2008 (Estados Unidos Mexicanos and Secretaría del Trabajo y Previsión Social 2008).

Uniformidad de la iluminancia

No basta con tener una iluminancia promedio que esté dentro de los niveles requeridos; además, es necesario contar con una distribución uniforme de la luz en el plano de trabajo horizontal

o vertical. Estos factores se calcularon con las siguientes fórmulas y se evidencian en la Tabla 5 (Ministerio de Minas y Energía, 2009).

$$U_{med} = \frac{E_{min}}{E_{med}} = \geq 0.5$$

Ecuación 4. Factor de uniformidad media (Umed)

168 *E_{min}: Valor mínimo obtenido en las diferentes lecturas de iluminancia sobre el plano de trabajo.*

E_{med}: Iluminancia promedio en el plano de trabajo.

$$U_{extrema} = \frac{E_{min}}{E_{máx}} = \geq 0.4$$

Ecuación 5. Factor de uniformidad máxima o extrema (U extrema)

¿E_{min}: Valor mínimo obtenido en las diferentes lecturas de iluminancia sobre el plano de trabajo.

E_{máx}: Valor máximo obtenido en las diferentes lecturas de iluminancia sobre el plano de trabajo.

Factor luz día

Revela el aprovechamiento que está haciendo el espacio de la luz diurna, al igual que evalúa el nivel de contraste de la iluminación interior del recinto con la iluminación externa.

Se comparó la iluminancia media horizontal obtenida al interior del espacio con fuente OFF en la lectura de la mañana, con la iluminancia externa registrada previamente al inicio del trabajo de campo; una vez se estableció el FLD se comparó con el 2% mínimo recomendado por la NTC 4595, ver Tabla 7.

$$FLD = \frac{\text{Iluminancia interior sobre superficie horizontal}}{\text{Iluminancia exterior sin obstáculos}} \times 100$$

Ecuación 6. Factor de luz día (FLD)

Contraste de luminancias

Las relaciones de brillo y contraste en las áreas de trabajo deben ser libres de deslumbramiento y con niveles de iluminación constantes, tanto en el lugar inmediato de trabajo como en su entorno. En la Tabla 8 se muestran las relaciones recomendadas según la norma IRAM-AADLJ 20-04 Argentina.

Tabla 7. Factor luz día (FLD) A222

FLD	E EXTERIOR	E INTERIOR OFF	% ACTUAL	% NTC 4595
	38.786	206	0,53	> 2%

Tabla 8. Relación de luminancias recomendadas (Asociación Argentina de Luminotecnia, 2001, p. 150)

Entre el objeto sobre el cual se trabaja y su fondo inmediato	3 a 1
Entre el objeto sobre el cual se trabaja y la superficie más clara u oscura del campo visual.	10 a 1
Entre las ventanas o luminarias y la superficie adyacente	20 a 1
Entre la tarea visual y cualquier punto del local	40 a 1

El registro de la luminancia horizontal promedio o de fondo se registró con el luxómetro Delta OHM HD 2102,1 y la fotocelda LP471 LUM 2 luminancia. Se tomaron mediciones en las cuatro esquinas del aula a la altura del área de trabajo, para ser analizadas en contraposición con las luminancias de las superficies

estudiadas y sus entornos inmediatos (Tabla 9); y se aplicó de igual manera para la evaluación de la luminancia vertical con respecto a la pared donde se localiza el tablero. Cabe resaltar que las superficies examinadas para el estudio de luminancia obedecieron al tipo de actividad que se realiza en APIB.

Tabla 9. Medición de luminancias A222, mayo 2013

Punto de medición	Fuente OFF				Fuente ON					
	Hora	Me- dia Local	Tablero	Pared del Tablero	HORA	HORA	Media Local	Table- ro	Pa- red del Ta- blero	Hora
Esquinas 1	11:02	35,7	50,1	32	11:06	11:29	64,6	170,6	152,6	11:33
Esquina 4	11:03	75,7	43	32,8	11:07	11:30	84,1	83,6	67,2	11:34
Esquina 13	11:04	65,1	43,4	47,1	11:08	11:31	155,1	46,1	52,3	11:35
Esquina 16	11:05	105,2	39,2	50,3	11:09	11:32	54,2	46	58,4	11:36
Cd/m ²		70,4	43,9	40,6	Valores pro- medio		89,5	86,6	82,6	Cd/m ²

169

Con los resultados previamente registrados se calcularon los contrastes de luminancia de las superficies evaluadas, teniendo en cuenta que se utilizó la relación tarea - entorno inmediato, donde se desarrolla la actividad visual propia del espacio. La Tabla 10 muestra si el contraste de

luminancias se cumple o no por medio del valor verdadero o falso. La relación 3:1 entre el objeto de la tarea principal del espacio (Tablero) en contraposición con el fondo de apoyo inmediato (Pared del tablero), así como, la relación 20:1 que debe cumplir el contraste entre el techo y la luminaria.

Tabla 10. Tabla de análisis de contraste de luminancia en las superficies de trabajo A222

SUPERFICIES	LUMINANCIA	CONTRASTE	RELACIÓN 3:1
Pared del Tablero	40,6	0,08	VERDADERO
Tablero	43,9		
SUPERFICIES	LUMINANCIA	CONTRASTE	RELACIÓN 20:1
Techo	112,3	0,27	VERDADERO
Luminaria	153,2		

Consideración

Los contrastes de luminancia y las reflectancias de las superficies, fueron calculados en la mañana y sólo para el mes de mayo, debido a que el resultado arrojado es un índice derivado de la luminancia de los diferentes materiales, que es proporcional a la luminancia media horizontal del recinto, siendo prescindible el análisis en todas las etapas del día.

170

Flujo luminoso

Con el ánimo de verificar si la instalación de iluminación artificial tenía fallas de diseño o mantenimiento, se realizó un análisis comparativo del flujo luminoso total requerido y el flujo total instalado. Para ello se utilizó la siguiente fórmula del RETILAP (Ministerio de Minas y Energía, 2009).

$$\Phi_{tot} = \frac{E_{prom} \times A}{Cu \times F_M}$$

Ecuación 7. Flujo luminoso total

Eprom: Iluminancia promedio requerida

A: área en m2

CU: coeficiente de utilización

FM: factor de mantenimiento

La iluminancia promedio requerida se obtuvo de las recomendaciones de la NTC 4595 (Ministerio de Educación, 2015) y el área del espacio de la información inicial.

El coeficiente de utilización (CU) que es la relación entre el flujo luminoso que cae sobre el plano de trabajo y el flujo luminoso suministrado

Tabla 11. CU para luminaria industrial de reflector esmaltado blando, con iluminación hacia abajo (Illuminating Engineering Society of North America, 2003, p. 113)

Techo	80		70		50		30		10		0					
Pared	70	50	30	70	50	30	50	30	10	50	30	10	50	30	10	0
K	Coeficiente de utilización															
0	1.03	1.03	1.03	10.1	10.1	1.01	0.97	0.97	0.97	0.92	0.92	0.92	0.89	0.89	0.89	0.87
1	0.94	0.90	0.86	0.92	0.88	0.84	0.84	0.81	0.79	0.81	0.79	0.76	0.78	0.76	0.74	0.72
2	0.85	0.78	0.72	0.83	0.76	0.70	0.73	0.68	0.64	0.70	0.66	0.63	0.67	0.64	0.61	0.59
3	0.77	0.68	0.60	0.75	0.66	0.59	0.64	0.58	0.53	0.61	0.56	0.52	0.59	0.55	0.51	0.49
4	0.70	0.60	0.52	0.68	0.58	0.51	0.56	0.50	0.45	0.54	0.48	0.44	0.52	0.47	0.43	0.41
5	0.65	0.53	0.45	0.63	0.52	0.44	0.50	0.43	0.38	0.48	0.42	0.38	0.47	0.41	0.37	0.35
6	0.59	0.47	0.39	0.58	0.47	0.39	0.45	0.38	0.33	0.43	0.37	0.33	0.42	0.37	0.32	0.31
7	0.55	0.43	0.35	0.53	0.42	0.35	0.41	0.34	0.29	0.39	0.33	0.29	0.38	0.33	0.29	0.27
8	0.51	0.39	0.31	0.50	0.38	0.31	0.37	0.30	0.26	0.36	0.30	0.26	0.35	0.29	0.25	0.24
9	0.48	0.36	0.28	0.46	0.35	0.28	0.34	0.28	0.23	0.33	0.27	0.23	0.32	0.27	0.23	0.21
10	0.45	0.33	0.26	0.43	0.32	0.25	0.31	0.25	0.21	0.31	0.25	0.21	0.30	0.24	0.21	0.19

por la luminaria, representa la cantidad de flujo luminoso efectivo en el plano de trabajo. Este valor normalmente es suministrado por el fabricante de la luminaria, pero para efectos de la presente investigación se utilizaron como referencia las tablas para luminarias típicas de la IESNA (Illuminating Engineering Society of North America, 2003). Estas tablas tienen en cuenta la Reflectancia de la superficie del techo, las paredes y el índice del local K, además del tipo de luminaria para determinar el coeficiente de utilización. La Tabla 11

muestra un ejemplo para una luminaria típica industrial de reflector esmaltado blando, con iluminación hacia abajo.

La Tabla 12 muestra los datos que se tuvieron en cuenta para determinar (con base en la Tabla 11) el CU de la lámpara SYLVANIA FO32/730/ECO/SL. Con el mismo método y la tabla pertinente para las demás lámparas se determinó el CU de cada una de ellas y al final se determinó el CU promedio del espacio para calcular el flujo luminoso total requerido por aula.

Tabla 12. CU A222 (Rodríguez Ramírez & LLano, 2012, p. 26)

APIB	Superficie	Reflectancia	Factor k	Lámparas	CU para luminarias típicas según IESNA	CU _{prom}	Lumen
A-222	TECHO	15	1	SYLVANIA FO32/730/ECO/SL	Industrial, reflector de esmalte blanco, hacia abajo	0,78	2715
	PARED	74		PHILLIPS ECO30 70W E27 A55 120V	High bay, reflector metálico abierto, estrecho	0,82	1350
				DIC ESS 35W 12V 36D BL		0,82	800

El factor de mantenimiento (F_M) se tomó de la tabla CIE (En español “Comisión Internacional de Iluminación”) (Tabla 13), en la que se cruzan las variables de frecuencia de limpieza de la lámpara, el tipo de luminaria y las condiciones medioambientales. Se utilizó un F_M de 0,84 para todos los cálculos, considerando que las instalaciones de iluminación artificial están realizadas principalmente con tubos fluorescentes de diferente potencia, pero con el mismo tipo de luminaria abierta; exceptuando las de los laboratorios de calidad de aguas (LAB-CA), biología molecular (LAB-BM) y microbiología de alimentos (LAB-MB-AL) en los que se utilizó un F_M de 0,86, porque tienen luminarias a prueba de polvo.

Conociendo la iluminancia media, el área, el coeficiente de utilización y el factor de mantenimiento para cada espacio, se calculó el flujo luminoso total requerido y se comparó con el flujo luminoso total instalado de cada uno de los espacios. Mediante el valor falso verdadero se estableció si la instalación de iluminación artificial tenía problemas de mantenimiento o de diseño. En la Tabla 14 se muestra el ejemplo del aula A222, en el que se evidencia que el flujo luminoso total instalado es menor al flujo luminoso total requerido y por ello se puede concluir que la instalación presenta fallas de diseño, no de mantenimiento.

Tabla 13. F_M CIE

Frecuencia de limpieza en años	1				2			
	Muy limpio	Limpio	Normal	Sucio	Muy limpio	Limpio	Normal	Sucio
Luminarias abiertas	0.96	0.93	0.89	0.83	0.93	0.89	0.84	0.78
Reflector parte superior abierta	0.96	0.90	0.86	0.83	0.89	0.84	0.80	0.75
Reflector parte superior cerrada	0.94	0.89	0.81	0.72	0.88	0.80	0.69	0.59
Reflectores cerrados	0.94	0.88	0.82	0.77	0.89	0.83	0.77	0.71
Luminaria a prueba de polvo	0.98	0.94	0.90	0.86	0.95	0.91	0.86	0.81
Luminarias con emisión directa	0.91	0.86	0.81	0.74	0.86	0.77	0.66	0.57

172

Tabla 14. Comparación flujo luminoso requerido vs instalado. A222

APIB	Emed	m ²	CU	F_M	Flujo total requerido RETILAP	Flujo instalado	Mantenimiento	Diseño
A-222	500	58,0	0,81	0,84	42.766	23.290	FALSO	VERDADERO

Resultados

Iluminancia

La iluminancia media diurna con fuente OFF (Figura 2) demuestra un cumplimiento en el 25% de los APIB, llegando hasta un 43% de cumplimiento con fuente ON (Figura 3). Lo anterior evidencia que es necesario el aporte de la iluminación artificial para alcanzar los niveles mínimos requeridos de iluminancia media; aunque en el 57% de los APIB, el aporte de iluminación artificial no alcanzó para cumplir con la iluminancia media requerida por la NTC 4595, y por ello es necesario revisar el diseño de la instalación de iluminación artificial. Sumado a esto, el cumplimiento de la iluminancia media nocturna es del 0% (Figura 4), denotando que en el 100%

de los APIB, es necesario revisar las condiciones de las instalaciones de iluminación artificial.

Reflexión de las superficies

Llega a un cumplimiento del 31% (Figura 5) en relación con los requerimientos de la NTC 4595, encontrándose que la superficie del techo no cumple en 20 APIB de 23, la del piso no cumple en 14 APIB de 23, y la de la pared en 13 APIB de 23. Esto demuestra que es necesario establecer una política de limpieza de las superficies y/o cambio el color de la pintura: 1) al techo, ya que esta superficie es esencial para la distribución de la iluminación natural y 2) a las paredes, ya que estas superficies aportan significativamente a la reflexión de la luz natural y artificial.

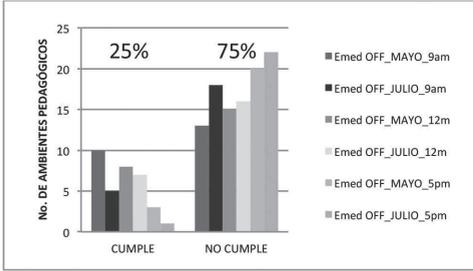


Figura 2. Emed diurna _ Fuente OFF _ APIB _ UCM _ Cumplimiento _ NTC 4595.

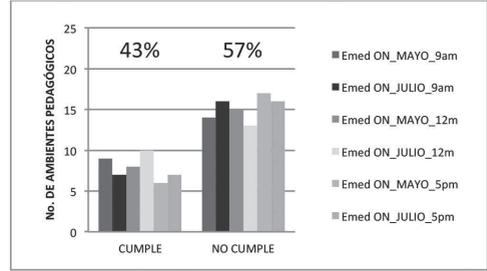


Figura 3. Emed diurna _ Fuente ON _ APIB _ UCM _ Cumplimiento _ NTC 4595.

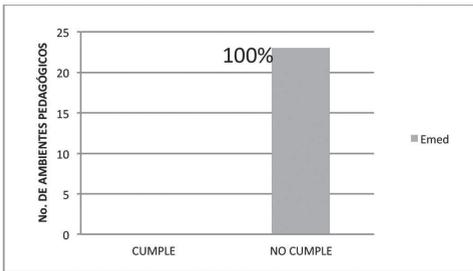


Figura 4. Emed nocturna _ Fuente ON _ APIB _ UCM _ Cumplimiento _ NTC 4595.

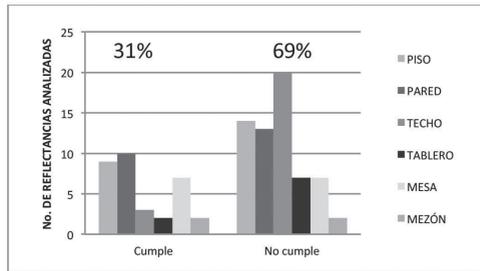


Figura 5. Reflexión de las superficies _ APIB _ UCM.

Factor de uniformidad media

El Umed diurna con fuente OFF (Figura 6), cumple en el 30% de los APIB; sin embargo, en comparación con Umed diurna fuente ON (Figura 7), se llega a un porcentaje de cumplimiento del 50%. El Umed nocturna llega a un cumplimiento del 43% (Figura 8).

Factor de uniformidad extrema

El U extrema diurna tiene un cumplimiento del 20% con fuente OFF (Figura 9), en comparación con un cumplimiento con fuente ON del 40% (Figura 10). El factor de uniformidad extrema nocturna tiene un cumplimiento del 17% (Figura 11).

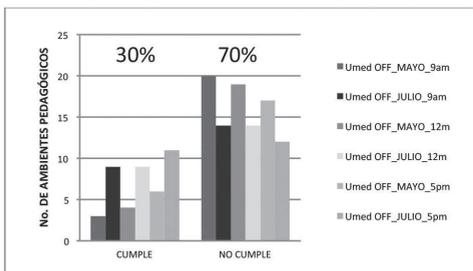


Figura 6. Umed diurna _ Fuente OFF _ APIB _ UCM _ Cumplimiento _ NTC 4595.

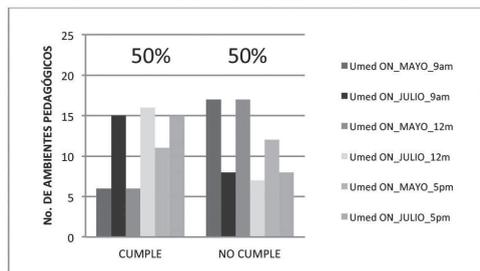


Figura 7. Umed diurna _ Fuente ON _ APIB _ UCM _ Cumplimiento _ NTC 4595.

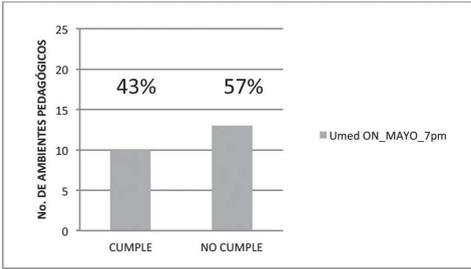


Figura 8. Umed nocturna_ Fuente ON_ APIB _ UCM _ Cumplimiento _ NTC 4595.

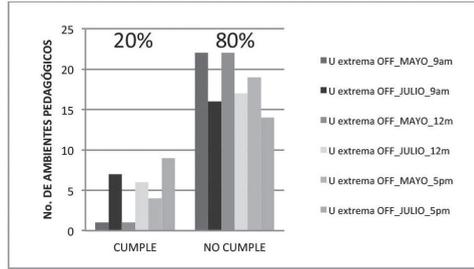


Figura 9. U extrema diurna_ Fuente OFF_ APIB _ UCM _ Cumplimiento _ NTC 4595.

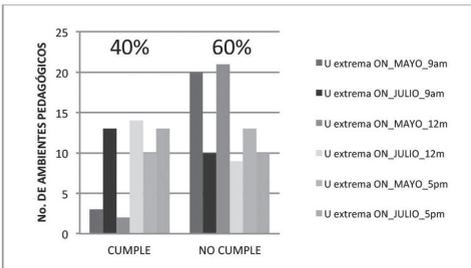


Figura 10. U extrema diurna_ Fuente ON_ APIB _ UCM _ Cumplimiento _ NTC 4595.

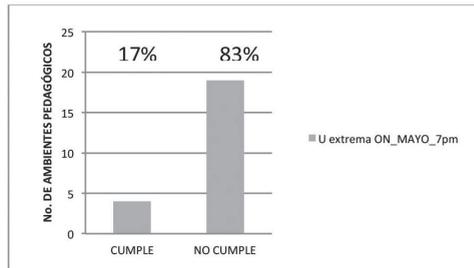


Figura 11. U extrema nocturna_ Fuente ON_ APIB _ UCM _ Cumplimiento _ NTC 4595.

Factor de luz día

Tiene un cumplimiento de un 28% en los APIB (Figura 12), lo cual se puede relacionar con las condiciones de clima frío de la ciudad de Manizales.

Contraste de luminancias

Cumple un 56% (Figura 13), con mejor relación entre la mesa y el papel en 15 APIB de 23.

Flujo luminoso

Se encontró que el 35% de los espacios presentan problemas de diseño en la instalación de iluminación artificial y el 65% restantes problemas de mantenimiento (Figura 14).

Conclusiones

El diseño de iluminación natural y artificial en busca de la calidad

habitacional y la comodidad visual demostró ser un factor que requiere mayor atención en los APIB de la UCM, ya que los resultados no superaron en ninguno de los casos el 56% del cumplimiento de los requerimientos de la NTC 4595. En cuanto a los estándares internacionales se encontró que la NTC 4595 y el RETILAP, tiene los mismos parámetros estipulados en la norma UNE 12464.1, por lo cual, si los espacios analizados no cumplieron con la normativa nacional, tampoco lo hicieron con la norma internacional.

Se resalta que los resultados de Emed diurna fueron mejores con la fuente encendida, ratificando la necesidad de iluminación artificial para llegar a los niveles óptimos; sin embargo, un cumplimiento del 43% de la Emed diurna ON no es satisfactorio para garantizar las condiciones lumínicas óptimas. En cuanto a la Emed nocturna, que llega a un nivel

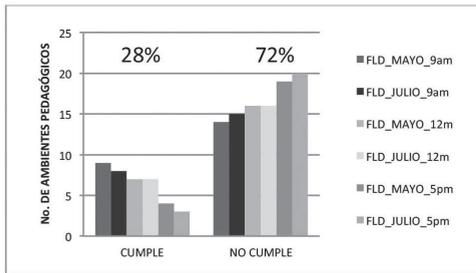


Figura 12. FLD APIB _ UCM _ Cumplimiento _ NTC 4595.

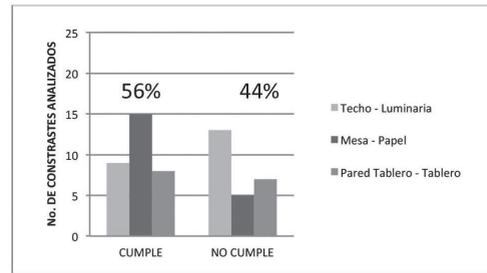


Figura 13. Contraste de luminancias _ APIB _ UCM.

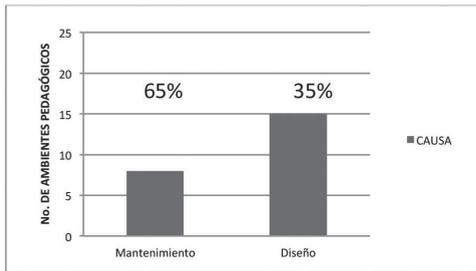


Figura 14. Flujo luminoso requerido vs instalado

de cumplimiento del 0%, demostrando que las instalaciones de iluminación artificial no cuentan con un sistema de mantenimiento y control que garantice los niveles mínimos requeridos. Se puede concluir, además, que el cumplimiento del 31% de reflexión de las superficies afecta el rendimiento de la Emed diurna y nocturna, demostrando la necesidad de mejorar la reflexión de las superficies, sobre todo en pisos, paredes y techos, para mejorar los niveles de Emed. Asimismo, se alerta sobre la necesidad de aplicar un mejoramiento inmediato a los porcentajes de reflexión de los tableros, pues estos son el principal foco visual del espacio.

Los resultados de la Umed y U extrema diurna ratifican que la iluminación artificial hace un aporte significativo al desempeño lumínico del espacios en las horas del día, pues se

pasa de un cumplimiento del 30% en Umed diurna OFF al 50% en la Umed diurna ON, del 20% en U extrema diurna ON a un 40% de U extrema diurna OFF. Aun así, se debe tener presente que en ninguno de los casos el cumplimiento de los factores de uniformidad diurnos son positivos, demostrando un mal desempeño lumínico. De igual manera, el Umed nocturno llega a un nivel de cumplimiento del 43% y el U extrema nocturno al 17%, lo que sin duda demuestra un mal sistema de iluminación artificial, ya que es conocido que es más factible lograr buenos valores solo con iluminación artificial. Los porcentajes de cumplimiento del factor de uniformidad media y extrema, demuestran la necesidad de contar con sensores de iluminación natural para graduar automáticamente el aporte de iluminación artificial, acorde a las recomendaciones de la NTC 4595.

El FLD llega a un nivel de cumplimiento del 28%, evidenciando la necesidad de controlar el factor de mantenimiento de los vidrios y área de los vanos en relación con el área de espacio. El contraste de luminancias llega a un nivel de cumplimiento del 56%; la relación entre la mesa y el papel es la más acertada, aunque esto no garantiza un buen ambiente lumínico, ya que el incumplimiento en los contrastes entre techo y luminaria y

la pared del tablero, pueden evidenciar la presencia de deslumbramiento visual en el espacio.

176

La comparación del flujo luminoso total requerido con el flujo luminoso total instalado, demostró la importancia de contar con políticas institucionales de control y seguimiento a las instalaciones de iluminación natural y artificial, ya que en el 65% de los APIB se encontró que la causa del incumplimiento de los niveles de iluminancia media, se debe a problemas de diseño y en el 35% de casos, a causas de mantenimiento.

En conclusión, estos resultados demuestran la ausencia de un diseño que aplique estrategias de iluminación natural y artificial flexibles y acordes a las dinámicas educativas presentes en los espacios, a las condiciones climáticas y al tipo de cielo del lugar. Asimismo, se manifiestan como un llamado de atención para otras instituciones, ya que, para garantizar las condiciones lumínicas óptimas para la comodidad visual, se requiere: (1) controlar los factores evaluados en esta investigación, (2) aplicar estrategias de control y captación de la iluminación natural articuladas a los vanos de los edificios, y (3) establecer un programa de mantenimiento, seguimiento y control para instalaciones de iluminación artificial.

Limitaciones

Estudiar la iluminación natural mediante análisis estático presenta limitaciones, ya que las condiciones lumínicas naturales pueden variar en segundos. Sin embargo, el análisis en dos épocas del año disminuye los factores de variabilidad y permiten una evaluación comparativa del desempeño lumínico de los espacios. Junto a esto, se resalta que evaluar únicamente las condiciones físicas de la iluminación de un espacio aparta la percepción de los usuarios. Es recomendable estudiarla a futuro, para establecer marcos comparativos y críticas a la norma.

Agradecimientos

A la Universidad Católica de Manizales por la financiación y apertura de sus puertas para la elaboración de este trabajo, así como al profesor Felipe Antonio Gallego López, asesor estadístico de la dirección de Investigaciones y Postgrados, por su valioso aporte, y a las arquitectas Oigot Zeng Huang, Millet Sefair Buitrago y Luisa Fernanda Tabares Hidalgo, de la misma universidad, quienes ayudaron a la recolección de los datos.

Referencias

Asociación Argentina de Luminotecnia (2001). *Iluminación - luz - visión - comunicación*. Buenos Aires: VIC-NA.

Bellia, L., Bisegna, F. & Spada, G. (2011). Lighting in indoor environments: Visual and non-visual effects of light sources with different spectral power distributions. *Building and Environment*, 46(10), 1984-1992. doi:10.1016/j.buildenv.2011.04.007

Comité Europeo de Normalización (15 de octubre de 2014). *UNE 12464-1:2011. Light and lighting - Lighting of work places - Part 1: Indoor work places*. Obtenido de http://standards.cen.eu/dyn/www/f?p=204:110:0:::FSP_PROJECT,FSP_ORG_ID:30549,6150&cs=1A676429B1AD101CE9CC2744517E0E886

177

Escobedo Portillo, M. T., Estebané Ortega, V., Maynez Guadarrama, A. y López Pulido, L. (2014). Evaluación de los factores ergoambientales en una institución de educación infantil. *Ciencia & trabajo*, 16(50), 121-128. doi:10.4067/S0718-24492014000200011

Facultad de ingeniería Industrial, Laboratorio de producciones de La Escuela Colombiana de ingeniería Julio Garavito (2008). *El protocolo de iluminación laboratorio de condiciones del trabajo*. Disponible en <http://copernico.escuelaing.edu.co/lpinilla/www/protocols/HYSI/PROTOCOLO%20DE%20LUMINACION%202008-1.pdf>

Gutiérrez Mandujano, M. L. (Septiembre de 2005). *Aprovechamiento de la luz diurna en las aulas tipo CAPFCE de la Universidad de Colima, Campus Coquimatlán, Col.* Tesis de Maestría en Arquitectura. Disponible en <http://bvirtual.ucof.mx/textoscompletos.php?exacto=1&campobuscar=1&id=5858>

Henao Robledo, F. (2009). *Riesgos Físicos II. Iluminación*. Bogotá: Ecoe Ediciones.

Heschong, L. (2001). Daylighting and human performance. *ASHRAE Journal* 44(6), 65-80.

Heydarian, A., Pantazis, E., Carneiro, J. P., Gerber, D. & Becerik-Gerber, B. (2016). Lights, building, action: Impact of default lighting settings on occupant behaviour. *Journal of Environmental Psychology*, 48, 212-223. doi:10.1016/j.jenvp.2016.11.001

Illuminating Engineering Society of North America. (2003). *IESNA Lighting Ready Reference: A Compendium of Materials from the IESNA Lighting Handbook, 9th Edition* (4 ilustrada ed.). (D. M. R. Harrold, Ed.) New York: Illuminating Engineering Society of North America.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2005). *Atlas Climatológico de Colombia*. Bogotá: Imprenta Nacional de Colombia.

Ministerio de Educación (2015). *Norma Técnica Colombiana NTC 4595. Ingeniería Civil y Arquitectura. Planeamiento y Diseño de Instalaciones y Ambientes Escolares*. Bogotá: ICONTEC.

Ministerio de Minas y Energía (2009). *Resolución Número 18 1331*. Bogotá: ICONTEC.

Ministerio del Trabajo, Empleo y seguridad social de la República de Argentina (1 de enero de 2012). *Guía práctica sobre iluminación en el ambiente laboral. Protocolo para la medición de la Iluminación en el Ambiente Laboral*. Disponible en <http://bvirtual.ucol.mx/textoscompletos.php?exacto=1&campobuscar=1&id=5858>

178

Rodríguez Ramírez, J. A. y Llano, C. A. (2012). *Guía para el diseño de instalaciones de iluminación utilizando Dialux*. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira.

Secretaría del Trabajo y Previsión Social (30 de diciembre de 2008). *Norma Oficial Mexicana NOM-025-STPS-2008, Condiciones de iluminación en los centros de trabajo*. Disponible en <http://www.stps.gob.mx/bp/secciones/dgsst/normatividad/normas/Nom-025.pdf>