



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ingeniería
Especialidad: Automatización

Análisis de iluminación para interiores mediante el monitoreo y registro de índices del entorno luminoso.

TESIS

Que para obtener el Título de
Ingeniero en Automatización, con línea terminal en Instrumentación y control de
procesos

Presenta:

Carlos Maurino Méndez Loyola

Dirigido por:

Dr. José Gabriel Ríos Moreno

SINODALES

Dr. José Gabriel Ríos Moreno
Presidente

Dr. Mario Trejo Perea
Secretario

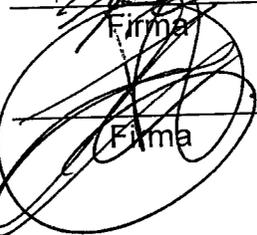
Dr. Damián Vargas Vázquez
Vocal

M en C Ricardo Luna Rubio
Suplente

Dr. Gilberto Herrera Ruiz
Director de la Facultad


Firma

Firma

Firma

Firma

Centro Universitario
Querétaro, Qro.
Agosto 09
México

No. Adq. 

No. Título _____

Clas. TS _____

621.322 _____

M538a _____

24

Vertical line of text on the right side of the page, possibly a barcode or scanning artifact.



C. U. 15 de junio de 2009

C. CARLOS MAURINO MÉNDEZ LOYOLA
Pasante de Ingeniería en Automatización
(Instrumentación y Control de Procesos)
Presente.

Con relación a su oficio enviado al H. Consejo Académico de la Facultad en el que solicita titularse bajo la opción de tesis individual, me permito informarle que en la sesión ordinaria del 15 de junio del año en curso, este cuerpo colegiado acordó aceptar la opción de titulación por lo que deberá trabajar en el tema **"ANÁLISIS DE ILUMINACIÓN PARA INTERIORES MEDIANTE EL MONITOREO Y REGISTRO DE INDICES DEL ENTORNO LUMINOSO"**, bajo la dirección del DR. GABRIEL RÍOS MORENO.

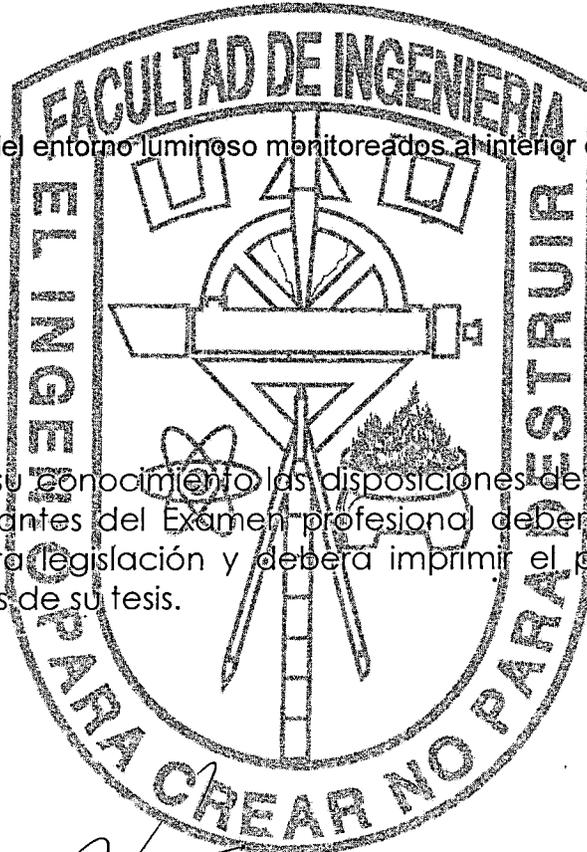
El Contenido aceptado por el H. Consejo Académico es el siguiente:

1. Introducción
 - 1.1. Panorama general de la iluminación
 - 1.2. Requisitos de iluminación que satisfacen las necesidades humanas
 - 1.3. Parámetros y factores que intervienen en la comodidad visual
 - 1.4. Antecedentes sobre análisis y métodos aplicados en sistemas iluminación.
 - 1.5. Problemática actual presente en los sistemas de iluminación.
 - 1.6. Consideraciones del análisis y monitoreo lumínico para interiores.
 - 1.7. Hipótesis
 - 1.8. Objetivos
 - 1.9. Justificación



2. Consideraciones teóricas
 - 2.1. Valoración y condiciones de la comodidad lumínica visual
 - 2.2. Índices del entorno luminoso o variables lumínicas
 - 2.3. Condicionantes para lograr una comodidad lumínica visual
3. Metodología
 - 3.1. Lugar de desarrollo de pruebas y mediciones
 - 3.2. Sistema de monitoreo de índices de iluminación.
 - 3.3. Estrategia y metodología para el monitoreo de los índices de iluminación
4. Resultados
 - 4.1. Índices del entorno luminoso monitoreados al interior de los edificios
5. Conclusiones

También hago de su conocimiento las disposiciones de nuestra Facultad, en el sentido que antes del Examen profesional deberá cumplir con los requisitos de nuestra legislación y deberá imprimir el presente oficio en todos los ejemplares de su tesis.



Atentamente
"EL INGENIO PARA CREAR NO PARA DESTRUIR"

DR. GILBERTO HERRERA RUIZ
Director

c.c.p. Archivo

*GHR/DHM.

Centro Universitario, 27 de Julio de 2009

Dr. Gilberto Herrera Ruíz
Director de la Facultad de Ingeniería
Presente:

Por este conducto, me permito comunicar a Usted, que una vez revisada la tesis individual titulada "Análisis de iluminación para interiores mediante el monitoreo y registro de índices del entorno luminoso", del C. Carlos Maurino Méndez Loyola, Pasante de la licenciatura en Ingeniería en Automatización (Instrumentación y Control de Procesos), de acuerdo al artículo 20 del inciso h) del reglamento de Titulación vigente.

Emito mi Voto Aprobatorio.



Atentamente,

Dr. José Gabriel Ríos Moreno
Director de Tesis

Centro Universitario, 27 de Julio de 2009

Dr. Gilberto Herrera Ruíz
Director de la Facultad de Ingeniería
Presente:

Por este conducto, me permito comunicar a Usted, que una vez revisada la tesis individual titulada "**Análisis de iluminación para interiores mediante el monitoreo y registro de índices del entorno luminoso**", del C. Carlos Maurino Méndez Loyola, Pasante de la licenciatura en Ingeniería en Automatización (Instrumentación y Control de Procesos), de acuerdo al artículo 20 del inciso h) del reglamento de Titulación vigente.

Emito mi Voto Aprobatorio.

Atentamente,



Dr. Damián Vargas Vázquez
Sinodal

Centro Universitario, 27 de Julio de 2009

Dr. Gilberto Herrera Ruíz
Director de la Facultad de Ingeniería
Presente:

Por este conducto, me permito comunicar a Usted, que una vez revisada la tesis individual titulada "Análisis de iluminación para interiores mediante el monitoreo y registro de índices del entorno luminoso", del C. Carlos Maurino Méndez Loyola, Pasante de la licenciatura en Ingeniería en Automatización (Instrumentación y Control de Procesos), de acuerdo al artículo 20 del inciso h) del reglamento de Titulación vigente.

Emito mi Voto Aprobatorio.

Atentamente,



Dr. Mario Trejo Perea
Sinodal

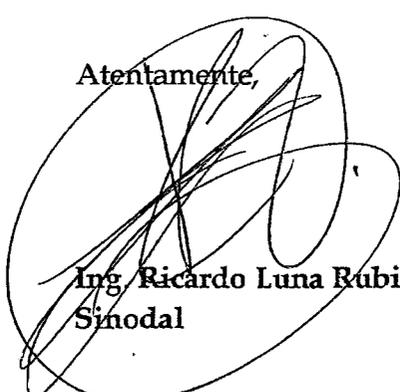
Centro Universitario, 27 de Julio de 2009

Dr. Gilberto Herrera Ruíz
Director de la Facultad de Ingeniería
Presente:

Por este conducto, me permito comunicar a Usted, que una vez revisada la tesis individual titulada "Análisis de iluminación para interiores mediante el monitoreo y registro de índices del entorno luminoso", del C. Carlos Maurino Méndez Loyola, Pasante de la licenciatura en Ingeniería en Automatización (Instrumentación y Control de Procesos), de acuerdo al artículo 20 del inciso h) del reglamento de Titulación vigente.

Emito mi Voto Aprobatorio.

Atentamente,



Ing. Ricardo Luna Rubio
Sinodal

RESUMEN

Fue realizado el monitoreo y registro de la iluminancia, reflectancia, distribución de la luminancias y uniformidad de la iluminancia, estos índices del entorno luminoso permiten determinar si se cumplen con los requerimientos de iluminación establecidos por la norma UNE-EN 12462-1:2003 para los edificios educativos. El monitoreo es posible realizarlo para todo tipo de interiores, seleccionando 3 aulas de 3 edificios distintos en la Universidad Autónoma de Querétaro en base a su orientación y características de diseño interior. La adquisición de datos se da mediante un sistema de monitoreo y registro, en puntos distribuidos de forma estratégica en la zona y al nivel del área de trabajo; mismos que permitieron realizar el análisis para determinar el rendimiento y comportamiento de la iluminación interior. Los resultados demuestran que la orientación de las ventanas en los edificios y las características de las áreas de trabajo tienen un impacto significativo en el ambiente lumínico visual interior. Los índices del entorno luminoso permitieron conocer las características lumínicas, los niveles de confort y presentaciones visuales que son proporcionados a los usuarios, marcando las pautas para mejorar el ambiente en interiores, a través de elementos visualmente eficientes y un uso adecuado de la luz artificial mediante un mejor uso de luz natural.

(**Palabras clave:** análisis, confort, norma, índices, iluminación, monitoreo, registro)

SUMMARY

Monitoring and recording of the illumination level, light reflection index, luminance distribution and illumination uniformity were carried out, these indexes of the luminance environment allow us to determine whether or not they comply with the illumination requirements established in the UNE-EN 12462-1:2003 standard for school buildings. The monitoring can be used for all types of interiors, selecting three classrooms in three different buildings at the Autonomous University of Queretaro based on their orientation and interior design characteristics. The acquisition of data is carried out by a monitoring and recording system at points strategically distributed in the area and the work area level. This data facilitated an analysis for identifying the yield and behavior of the interior visual illumination environment. The indexes of the luminance environment was possible finding the luminance characteristics, comfort levels and visual benefits provided for users, thus indicating the standards for bettering interior environments through visually efficient factors and the appropriate use of artificial light trough a better use of natural light.

(Key words: Analysis, comfort, standard, indexes, illumination, monitoring, record)

DEDICATORIAS

Esta tesis está dedicada a toda mi familia a quien agradezco su apoyo, fe, confianza y cariño mostrado a lo largo de toda mi existencia.

A mi abuela y mi padre, quienes han estado conmigo toda la vida y han hecho posible cumplir con todos mis objetivos y sobre todo porque su forma de apoyo que ha sido invaluable.

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. José Gabriel Ríos Moreno, Profesor investigador de la Universidad Autónoma de Querétaro, facultad de ingeniería, por sus consejos, críticas, comentarios y apoyo que hicieron posible la realización del presente trabajo.

Al Dr. Mario Trejo Perea, Dr. Damián Vargas Vázquez y M. en C. Ricardo Luna Rubio por sus valiosas observaciones y recomendaciones que fueron de gran ayuda en la mejora de este trabajo.

A todos mis maestros por sus conocimientos, disposición y ayuda brindados.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
1. Introducción-----	1
1.1. Panorama general de la iluminación -----	1
1.1.1. La Luz y la visión -----	2
1.1.1.1. La sensibilidad -----	3
1.1.1.2. La agudeza visual -----	4
1.1.1.3. Campo visual -----	4
1.1.2. Importancia de la iluminación -----	4
1.1.3. El bienestar y la confort visual -----	6
1.1.4. Impacto económico de la iluminación en interiores -----	8
1.2. Requisitos de iluminación que satisfacen las necesidades humanas -----	8
1.3. Parámetros y factores que intervienen en la comodidad visual -----	9
1.3.1. Parámetros del confort lumínico visual -----	10
1.3.2. Factores del confort lumínico visual -----	10
1.3.3. Parámetros que determinan el entorno luminoso de acuerdo a la norma UNE-EN -----	11
1.3.3.1. Distribución de luminancias -----	12
1.3.3.2. Iluminancia -----	13
1.3.3.3. Deslumbramiento -----	15
1.3.3.4. Dirección de la luz -----	15
1.3.3.5. Rendimiento de colores y apariencia del color de la luz -----	15
1.3.3.6. Flicker -----	16
1.3.3.7. Luz natural o diurna -----	16
1.4. Antecedentes sobre análisis y métodos aplicados en sistemas iluminación -----	17
1.5. Problemática presente en los sistemas de Iluminación -----	18

1.5.1. Problemática de tipo social -----	18
1.5.2. Problemática de tipo económica -----	19
1.5.3. Problemática de tipo ambiental -----	21
1.6. Consideraciones del análisis y monitoreo lumínico	
para interiores -----	21
1.6.1. Consideraciones del análisis lumínico -----	21
1.6.2. Consideraciones del monitoreo lumínico -----	22
1.7. Hipótesis -----	23
1.8. Objetivo -----	24
1.8.1. Objetivo general -----	24
1.8.2. Objetivo particular -----	24
1.9. Justificación -----	24
1.9.1. Aspecto social -----	24
1.9.2. Aspecto económico -----	25
1.9.3. Aspecto ambiental -----	25
2. Consideraciones teóricas -----	26
2.1. Valoración y condiciones de la comodidad lumínica visual -----	26
2.1.1. Nivel de iluminación -----	27
2.1.2. Deslumbramientos -----	27
2.1.3. Equilibrio de las luminancias -----	28
2.2. Índices del entorno luminoso -----	28
2.2.1. Cuantificación de los índices de los Índices entorno	
luminoso para interiores -----	29
2.2.1.1. Nivel de iluminación o iluminancia -----	29
2.2.1.2. Factor de reflexión de una superficie -----	32
2.2.1.3. Distribución de la luminancia -----	33
2.2.1.4. Uniformidad de la iluminancia -----	33
2.3. Condicionantes para lograr una comodidad lumínica visual -----	34
2.3.1. Condicionantes del observador -----	35
2.3.2. Condicionantes del entorno -----	35

2.3.3. Condicionantes de la estructura -----	35
2.4. Diseño de alumbrado -----	36
2.5. Tipo de iluminación para interiores -----	37
3. Metodología -----	38
3.1. Lugar de desarrollo de pruebas y mediciones -----	38
3.1.1. Selección de zonas de monitoreo y análisis de iluminación -----	39
3.1.2. Descripción de zonas de monitoreo y análisis de iluminación -----	42
3.2. Sistema de monitoreo de índices del entorno luminoso -----	45
3.2.1. Selección y distribución de los sensores de medición al interior del edificio -----	45
3.2.2. Instrumentación y desarrollo del sistema de monitoreo -----	48
3.2.2.1. Diseño y características -----	49
3.2.2.2. Funcionamiento -----	50
3.2.2.3. Monitoreo y registro de índices de iluminación -----	51
3.2.2.3.1. Características de la aplicación -----	52
3.3. Estrategia de Monitoreo de los índices iluminación -----	54
3.3.1. Iluminancia -----	55
3.3.2. Reflectancia -----	56
3.3.3. Distribución de la luminancia en el campo visual -----	57
3.3.4. Uniformidad de la iluminancia -----	59
4. Resultados -----	60
4.1. Índices del entorno luminoso al interior de los edificios -----	61
4.1.1. Iluminancia o nivel de la iluminación -----	61
4.1.1.1. Iluminancia interior del aula F-4 -----	61
4.1.1.1.1. Análisis de iluminancia del aula F-4 -----	62
4.1.1.2. Iluminancia interior del aula B-2 -----	63
4.1.1.2.1. Análisis de iluminancia del aula B-2 -----	64

4.1.1.3.	Iluminancia interior del aula G-21 -----	66
4.1.1.3.1.	Análisis de iluminancia del aula G-21 -----	67
4.1.2.	Reflectancia en la superficie de trabajo -----	68
4.1.2.1.	Índice de reflectancia al interior del aula F-4 -----	69
4.1.2.1.1.	Análisis de la reflectancia al interior del aula F-4 -----	70
4.1.2.2.	Índice de reflectancia al interior del aula B-2 -----	71
4.1.2.2.1.	Análisis de la reflectancia al interior del aula B-2 -----	72
4.1.2.3.	Índice de reflectancia al interior del aula G-21 -----	73
4.1.2.3.1.	Análisis de la reflectancia al interior del aula G-21 -----	74
4.1.3.	Distribución de la luminancia en el campo visual -----	75
4.1.3.1.	Distribución de la luminancia al interior del aula F-4 -----	76
4.1.3.1.1.	Análisis de la Distribución de la luminancia al interior del aula F-4 -----	77
4.1.3.2.	Distribución de la luminancia al interior del aula B-2 -----	78
4.1.3.2.1.	Análisis de la Distribución de la luminancia al interior del aula B-2 -----	79
4.1.3.3.	Distribución de la luminancia al interior del aula G-21 -----	80
4.1.3.3.1.	Análisis de la Distribución de la luminancia al interior del aula G-21 -----	81
4.1.4.	Uniformidad de la iluminancia -----	82
4.1.4.1.	Uniformidad de la iluminancia al interior del aula F-4 -----	83
4.1.4.1.1.	Análisis de la Uniformidad de la iluminancia al interior del aula F-4 -----	85

4.1.4.2. Uniformidad de la iluminancia al interior del aula B-2-----	85
4.1.4.2.1. Análisis de la Uniformidad de la iluminancia al interior del aula B-2 -----	88
4.1.4.3. Uniformidad de la iluminancia al interior del aula G-21 -----	89
4.1.4.3.1. Análisis de la Uniformidad de la iluminancia al interior del aula G-21 -----	91
5. Conclusiones -----	92
Bibliografía -----	97

ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
1.1 Gasto anual por consumo de energía eléctrica por las facultades y entidades académicas de la UAQ -----	20
2.1 Recomendaciones de iluminación para edificios educativos -----	31
2.2 Rangos de reflectancia para superficies al interior de edificios -----	32
2.3 Uniformidades y relación entre iluminancias de áreas circundantes inmediatas al área de tarea -----	34
3.1 Niveles de iluminación adquiridos por el sistema de monitoreo -----	53
4.1 Niveles de iluminación registrados al interior del aula F-4 -----	61
4.2 Niveles de Iluminación registrados al interior del aula B-2 -----	63
4.3 Niveles de Iluminación registrados al interior del aula G-21 -----	66
4.4 Reflectancia registrada al interior del aula F-4 -----	69
4.5 Reflectancia registrada al interior del aula B-2 -----	71
4.6 Reflectancia registrada al interior del aula G-21-----	73
4.7 Registro de la distribución de la luminancia en el aula F-4 -----	76
4.8 Registro de la distribución de la luminancia en el aula B-2 -----	78
4.9 Registro de la distribución de la luminancia del aula G-21 -----	80
4.10 Registros de de la Uniformidad la luminancia al interior Aula F-4 -----	83
4.11 Registros de de la Uniformidad la luminancia al interior Aula B-2 -----	85
4.12 Registros de de la Uniformidad la luminancia al interior Aula G-21 -----	89

ÍNDICE DE FIGURAS

		Pág.
1.1	Curva de la longitud de onda del espectro visible del ojo humano ----	3
1.2	Importancia de la iluminación al interior de los edificios -----	5
3.1	Vista superior del edificio de referencia para el análisis iluminación -----	39
3.2	Orientación geográfica de las aulas de monitoreo de iluminación ----	41
3.3	Vista superior del Aula G-21. Sensores ubicados en el area de trabajo -----	42
3.4	Vista superior de las aulas B-2 y F-4 de monitoreo, considerando que la orientacion es la misma -----	44
3.5	Sensibilidad espectral relativa de sensores de iluminación comparado con el ojo humano-----	46
3.6	Vista 3D del Aula G-21 de posgrado -----	47
3.7	Vista 3D de las aulas B-2 y F-4 con dimensiones similares -----	48
3.8	Sistema de monitoreo lumínico implementado -----	51
3.9	Interfaz de los niveles de iluminación -----	52
3.10	Medición de los niveles de la iluminación -----	56
3.11	Medición de la iluminancia de la superficie A (trabajo) -----	57
3.12	Medición de la iluminancia de la superficie B (sup. blanca) -----	57
3.13	Medicion de la Distribucion de la luminancia en el campo visual ----	58
3.14	Medicion de la Uniformidad de la iluminancia -----	59
4.1	Iluminancia interior del aula F-4 -----	62
4.2	Iluminancia interior del aula B-2 -----	64
4.3	Iluminancia interior del aula G-21 -----	66
4.4	Índice de reflectancia al interior del aula F-4 -----	70
4.5	Índice de reflectancia al interior del aula B-2 -----	72
4.6	Índice de reflectancia al interior del aula G-21 -----	73
4.7	Uniformidad de iluminancia al interior del aula F-4 -----	84
4.8	Uniformidad de iluminancia al interior del aula B-2 -----	87
4.9	Uniformidad de iluminancia al interior del aula G-21 -----	90

Capítulo 1

INTRODUCCIÓN

1.1 Panorama general de la iluminación

El entorno lumínico forma parte del ambiente global en los espacios interiores, junto con el ambiente térmico y acústico. Todos influyen sobre los procesos de intercambio energético entre el ser humano y el medio ambiente a través del espacio construido. La iluminación es fundamental no solo para ver, sino también para reconocer los objetos, superficies y espacios, orientarnos y recorrerlos, etc., mediante la información recibida a través del proceso visual.

Al hablar de iluminación se considera una fuente de luz y un objeto a iluminar. Las unidades de iluminación que permiten cuantificar la iluminación son: a) el flujo luminoso, el cual indica la cantidad de luz que emite la fuente luminosa hacia el espacio circundante medido en lumen (lm); b) la intensidad luminosa la cual se mide en luxes y expresa el flujo luminoso que incide sobre una superficie en condiciones ideales (fuente puntual); la intensidad luminosa disminuye con el cuadrado de la distancia a la fuente (Philips, 1995).

La luminancia es lo que produce en el órgano visual la sensación de claridad; la mayor o menor claridad con que vemos los objetos igualmente iluminados depende de su luminancia, éste término fue adoptado para designar con precisión adecuada, ciertas propiedades que en lenguaje coloquial se engloban bajo el término “brillo”, incorporando consideraciones relativas a la posición del observador; por ejemplo, para un observador situado a una cierta distancia y ángulo de una superficie que emite o refleja luz, es la relación entre la

luz que abandona la superficie y el área que ésta aparenta para el mismo (Westinghouse, 1989).

De acuerdo a los conceptos descritos anteriormente se puede decir que lo que el ojo humano percibe son diferencias de luminancia y no de niveles de iluminación.

Otra magnitud de la iluminación es la iluminancia que indica la cantidad de luz que incide sobre una unidad de superficie del objeto iluminado, cuando es iluminado por una fuente de luz. Esta magnitud de iluminación tiene una gran importancia en cuanto a la comodidad lumínica visual y es considerada como un parámetro normativo lumínico, por lo que se considerará y se verá más en detalle en los parámetros que determinan un entorno luminoso.

Para que las tareas se puedan desarrollar de una forma eficaz, se necesita que se complementen la luz, la cual es una característica del ambiente y la visión la cual es una característica propia de la persona -, esto es considerando que el 80% de la información sensorial requerida para la ejecución de la tareas se adquiere por medio de la vista, por lo cual el origen primario es la luz (Llaneza Álvarez, 2006).

1.1.1 La Luz y la visión

La luz es una forma particular y concreta que se propaga por medio de radiaciones, es decir por medio de perturbaciones electromagnéticas; es lo conocido también como energía radiante (Boyce, 1981).

Debido a que hay un gran número de radiaciones electromagnéticas es posible clasificarlas en función a la forma en que se generan, la forma en que se manifiestan, etc. La clasificación más utilizada es mediante las longitudes de onda. Cada fuente emite radiaciones en diversas frecuencias o longitudes de onda, que son representadas por histogramas, donde a cada longitud de onda corresponde

un color. Las radiaciones visibles por el ser humano, es decir el espectro visible, ocupan un rango de valores muy estrecho comprendido entre los 380 y los 780nm. La altura de las barras del histograma cuantifica la intensidad emitida en cada frecuencia. Algunas fuentes emiten un espectro continuo donde todas las frecuencias son relevantes. Otras sólo emiten de manera notoria en determinados colores o su espectro carece de alguno de ellos (espectro discontinuo) (Weigel, 1973).

En relación a la visión se debe tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Sensibilidad.
- Agudeza visual.
- Campo visual.

1.1.1.1 La sensibilidad

Es el aspecto más importante en relación a la visión y varía de un individuo a otro. En los extremos del espectro visible, la visibilidad será baja teniendo la máxima visibilidad en los 555nm - que se puede obtener mediante iluminación natural alta - a la cual se denomina visión fotópica. Para lugares con una iluminación débil, la sensibilidad máxima disminuirá a los 500 nm; la visibilidad nocturna con una baja iluminación se denomina iluminación escotópica (Weigel, 1973), esto se puede apreciar en la (Figura 1.1).

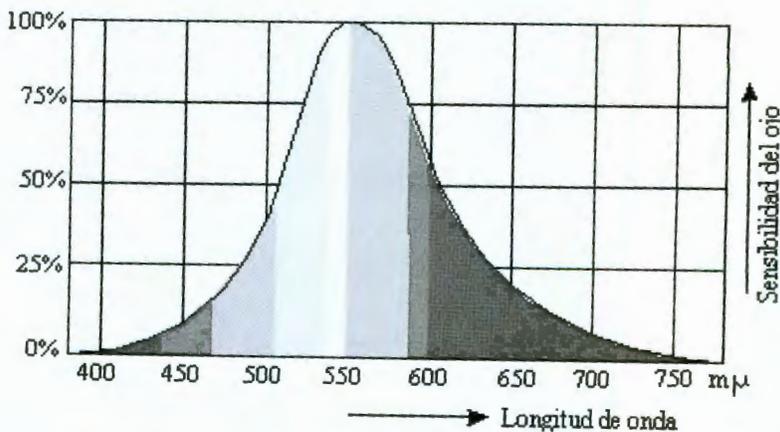


Figura 1.1 Curva de la longitud de onda del espectro visible por el ojo humano.

1.1.1.2 La agudeza visual

Es la facultad del ojo humano para poder apreciar por separado, con nitidez y precisión, objetos muy pequeños y próximos entre sí. Se define como “la capacidad del sistema de visión para percibir, detectar o identificar objetos espaciales con unas condiciones de iluminación buenas”; para el ojo normal se sitúa en un minuto la abertura de este ángulo. Depende de la iluminación y aumenta cuando la luz también aumenta.

1.1.1.3 Campo visual

Es la parte del entorno percibida mediante los ojos cuando estos y la cabeza están fijos.

El campo visual, para efectos de mejor percepción de los objetos se puede dividir en tres partes.

- Campo de visión neta: tener una visión precisa.
- Campo medio: se aprecian fuertes contrastes y movimientos.
- Campo periférico: se distingue el movimiento de los objetos.

1.1.2 Importancia de la iluminación

La iluminación en nuestra vida diaria puede llegar a ser esencial debido a que puede afectar a las personas en su confort y en su grado de visibilidad e incluso a su seguridad (norma UNE-EN 12464, 2003).

El tiempo que las personas pasamos en el interior de los edificios es cada vez mayor. Para trabajar, disfrutar, estudiar, relacionarnos y para vivir, por lo que nuestra existencia se lleva a cabo en la mayor parte del tiempo dentro de las edificaciones. El empleo de la vista de manera intensa y continua requiere de una iluminación eficaz para conseguir un ambiente óptimo y reducir el esfuerzo visual.

Para crear ese ambiente se debe de considerar los elementos lumínicos y funcionales (uso de la luz natural y artificial formada eficazmente) de manera que el bienestar del usuario sea el factor principal al considerar el diseño de la iluminación.

Una iluminación incorrecta puede provocar, directamente fatiga visual e indirectamente accidentes por caídas, choque contra objetos etc. Para permitir que las personas realicen tareas visuales de forma eficiente y precisa, se debe proporcionar una iluminación adecuada y apropiada. Por otro lado, el grado de visibilidad y el confort requerido depende del tipo y la duración de la actividad (Figura 1.2).



Figura 1.2 Importancia de la iluminación al interior de los edificios.

El tipo de iluminación también es importante al considerar el confort lumínico, esto debido a que la iluminación natural crea dinámicos interiores de apoyo a la salud humana y a las actividades, produce una mejor estética, reduciendo la demanda de energía (Leslie, 2003). Es por ello que el uso del alumbrado artificial habitual ejerce una influencia negativa sobre nuestro ritmo de actividad, esto al mantener siempre los mismos niveles de iluminación y demás características. No siempre es correcto considerar relacionar altos niveles de luz con un buen diseño de iluminación.

La forma en que están contruidos los edificios influye en la cantidad de luz de día que puede ser aprovechada, provocando así un menor uso de la luz artificial y por lo tanto un menor consumo de la energía eléctrica (Leslie, 2003).

1.1.3 El bienestar y el confort visual

La comodidad que siente una persona, mejor conocido como confort, se refiere a las percepciones integradas que los seres humanos reciben del medio ambiente a través de los sentidos.

El confort es "un estado donde se tiene completo bienestar físico mental y social", esto según la OMS (Burton, 2001) que ha hecho clasificaciones en función de aquellos factores que afectan la comodidad de los usuarios de un edificio como son lumínico, térmico y acústico.

Debido a la capacidad que tiene el organismo de adaptarse en el medio en el que se encuentra, provoca que el hombre no llegue a captar conscientemente las sensaciones de incomodidad que son producidas por diferentes factores del lugar, a menos que ocurra alguna circunstancia que lo provoque (Serra et al., 2001), por ello es importante tener en cuenta que la incomodidad visual que siente una persona, tiene influencia directa en la salud y en su estado anímico (Brager et al., 1998; Veitch, 2001).

Las sensaciones agradables o desagradables que presenta el ser humano le evita el poder concentrarse en sus actividades, por lo que tiene una influencia directa en su rendimiento. Es difícil tener un estado sensitivo ideal debido a que siempre habrá diversos factores que causen molestia o distracción tanto física como mental. Existen formulas y tablas que muestran valores normativos y sirven como herramienta para el diseño necesario que permite cumplir con los niveles de iluminación considerados confortables, esto mediante el análisis sobre los parámetros y factores que influyen en las sensaciones de los usuarios (ASHARAE, 2004; norma UNE-EN 12464, 2003).

Específicamente la comodidad visual implica que no exista un excesivo contraste con el entorno de la tarea a realizar, que haya ausencia de deslumbramientos tanto por las propias fuentes luminosas como en las superficies del entorno de trabajo y que el color de las superficies de trabajo y de las fuentes de luminosas sea el adecuado para realizar las tareas y para la psicología de la personas (Llaneza Álvarez, 2006). Por ello es necesario asegurar la calidad de iluminación presente para mejorar la salud y productividad de los usuarios mediante niveles apropiados de iluminación, considerando el área y la actividad que se desea realizar (norma UNE-EN 12464, 2003), buscando obtener mejores beneficios económicos.

Para poder conseguir adecuados niveles de iluminación en los edificios, se debe considerar el tipo de iluminación, la cual puede ser natural o artificial. La iluminación en un lugar de trabajo debería ser natural idealmente, debido a que ayuda en el desempeño mental y físico así como en la comodidad de los seres humanos (Leslie, 2003), esto lo demuestran estudios realizados sobre el tipo de iluminación y los efectos que tienen en las personas (Laurentin et al., 2000). Debido a que la luz natural por sí sola no garantiza la adecuada iluminación por la variación que tiene en función del tiempo, es preciso compensar su insuficiencia mediante el uso de la luz artificial, teniendo así un uso correcto y eficiente de las dos fuentes luz de forma conjunta influyendo directamente en la salud y en el

estado de ánimo y de alerta de las personas generando ahorros potenciales en el consumo de energía eléctrica debida a la iluminación (Veitch, 2001).

1.1.4 Impacto económico de la iluminación en interiores

Estudios en edificios de tipo comercial demuestran que actualmente el uso de la iluminación artificial ha incrementado notablemente, lo cual ha venido repercutir en aumentos en el consumo de energía eléctrica (Yarnell, 2000; Ullah, 1996; Swisher, 1994).

La Universidad Autónoma de Querétaro es considerada en el sector comercial según el informe de energía en México pero el estudio y análisis de la iluminación para interiores fue realizado en base a los requerimientos de edificios educativos establecidos por la norma de iluminación.

1.2 Requisitos de iluminación que satisfacen las necesidades humanas

Para gozar de una buena iluminación es esencial que además de la iluminancia requerida, se satisfagan necesidades cualitativas y cuantitativas.

Las satisfacciones de las necesidades humanas en cuanto iluminación se refiere, son la que determinan los requisitos de iluminación. El tener un buen tratamiento del ambiente visual permitirá influir en:

- Comodidad visual.
- Prestaciones visuales y productividad.
- Seguridad.

Integrando estos tres aspectos se tendrá un ambiente seguro, cómodo y eficaz (Figura 1.2).

El confort visual influye de manera indirecta en los seres humanos al aumentar su nivel de productividad.

1.3 Parámetros y factores que intervienen en la comodidad visual

Todos aquellas condiciones de tipo ambiental, económico y social son tomados como factores y parámetros del confort (Krüger et al., 2004). Por lo tanto el estudio de estos factores y parámetros para el confort lumínico en aulas de clase resulta de vital importancia, debido a que pueden influir y afectar en la sensación lumínica visual de una persona.

En este estudio son evaluadas las condiciones lumínicas al interior de las aulas de clase mediante la adquisición de los índices del entorno lumínico, y así determinar los rangos de iluminación, y saber si se satisfacen las condiciones que los usuarios requieren para mejorar su desempeño.

Mejorando la comodidad visual de los usuarios mediante un mejor y mayor uso de luz natural se pueden reducir consumos de energía eléctrica debida a la iluminación. Considerando algunas medidas para lograr esta reducción se tiene:

- Optimizar el uso de la luz del día.
- Reducción al mínimo de la luz artificial.
- Minimizar la potencia eléctrica utilizada con uso de componentes más eficientes.

Antes de la aparición del alumbrado artificial tal como lo conocemos hoy en día, el tiempo de actividad de las personas estaban claramente relacionadas con el ambiente natural. Ahora con todas las ventajas y desventajas que supone el alumbrado artificial, se permite alargar los periodos de actividad.

1.3.1 Parámetros del confort lumínico visual

Los parámetros del confort en general se refieren a las condiciones del entorno que impactan directamente en las sensaciones de los usuarios, estos parámetros se clasifican en dos:

- **Parámetros del entorno:** Designan las características del ambiente e influyen directamente en las sensaciones de las personas y dependen de las actividades realizadas (Puppo, 1980). Para medir estos parámetros se han determinado rangos de valores estándar dentro de los cuales el individuo se mantiene bajo condiciones benéficas.
- **Parámetros arquitectónicos:** Se relacionan directamente con las características del edificio. En relación a la iluminación, consideran la adaptabilidad y el contacto visual que tienen las personas en el edificio. Estos parámetros consideran los niveles de iluminación los cuales forman parte de los índices del entorno luminoso al interior de los edificios.

1.3.2 Factores del confort lumínico visual

Los factores que inciden en la iluminación para que se establezca un ambiente lumínico cómodo son los factores de tipo personal los cuales son los que han sido mayormente analizados y cuantificados y los de tipo sociocultural que por la su dificultad para ser medidos no han sido mayormente analizados.

Al tomar en cuenta los factores y parámetros que afectan el desempeño de los usuarios se observa que para lograr que los edificios se encuentren en un ambiente visual que se pueda considerar benéfico, es necesario mantener la iluminación estable mediante un sistema integral de iluminación al interior de las aulas de clase para obtener un ahorro de energía, y de esta forma aprovechar los

recursos naturales que nos ofrece el medio ambiente; de ahí la importancia de conocer los niveles lumínicos dentro de los edificios.

Han sido establecidas normas internacionales de iluminación que permiten evaluar los rangos de iluminación considerados benéficos para los habitantes dentro de los edificios. Estos rangos son establecidos mediante tablas ordenadas de acuerdo al tipo de edificio. Los edificios educativos o aulas de clase, se encuentran en estas tablas y se establecen los requerimientos que se deben tomar en cuenta para poder generar un edificio cómodo en cuanto a iluminación se refiere.

1.3.3 Parámetros que determinan el entorno luminoso de acuerdo a la norma de iluminación UNE-EN 12464

Específicamente en nuestro país existe una norma de iluminación pero no permite considerar la calidad de la iluminación para interiores, esta es la norma Oficial Mexicana NOM-025-STPS-1999 de iluminación donde especifica las condiciones de iluminación para algunos lugares de trabajo, pero presenta la desventaja de que no marca suficientes condiciones de diseño que permitan conocer la calidad de la iluminación para interiores, y solo permite conocer de forma cuantificada los niveles de iluminación, por lo que el uso de esta norma no se considera adecuado.

Debido a ello, se utiliza la norma europea de iluminación (Norma UNE-EN 12464, 2003) la cual especifica los requisitos para iluminación para la mayor parte de interiores y áreas asociadas en términos de cantidad y calidad de la iluminación, además de dar recomendaciones sobre una buena práctica de iluminación.

La norma considera siete los parámetros que determinan el ambiente luminoso.

1. Iluminancia.
2. Deslumbramiento.
3. Dirección de la luz.
4. Rendimiento de colores y apariencia de color de la luz.
5. Flicker.
6. Luz natural o diurna.

1.3.3.1 Distribución de luminancias

La distribución de las luminancias en el campo de visual controla el nivel de adaptación de los ojos que afecta a la visibilidad de la tarea. Una luminancia de adaptación bien equilibrada es necesaria para aumentar:

- La agudeza visual.
- La sensibilidad al contraste (discriminación de diferencias de luminancia relativamente pequeñas).
- La eficiencia de las funciones oculares (tales como acomodación, convergencia, contracción de la pupila, movimientos de ojo, etc.).

La distribución de luminancias en el campo de visión afecta también al confort visual por lo que deberían evitarse por las razones dadas:

- Luminancias demasiado elevadas que pueden dar lugar a deslumbramiento.
- Contrastes de luminancia demasiados altos que causarán fatiga debido a la readaptación constante de los ojos.
- Luminancias demasiado bajas y contrastes de luminancias demasiado bajos que dan como resultado un ambiente de trabajo monótono y no estimulante.

Son importantes las luminancias de todas las superficies y serán determinadas por la reflectancia y la iluminancia en las superficies.

Los márgenes de reflectancias útiles para las principales superficies interiores son:

- Techo: 0.6 a 0.9.
- Paredes: 0.3 a 0.8.
- Planos de trabajo: 0.2 a 0.6.
- Suelo: 0.1 a 0.5.

1.3.3.2 Iluminancia

La iluminancia y su distribución en el área de la tarea y el área circundante tiene un gran impacto en cómo una persona percibe y realiza la tarea visual de un modo rápido, seguro y confortable.

Iluminancias recomendadas en el área de la tarea: Se proporcionan en las consideraciones teóricas de la presente tesis y son iluminancias mantenidas en la superficie de trabajo con respecto a las iluminancias de referencia; esta superficie puede ser horizontal, vertical o inclinada. La iluminancia media para cada tarea no debe caer por debajo de los valores dados, independientemente de la edad y estado de la instalación, estos valores son válidos para condiciones visuales normales.

Un factor de aproximadamente 1.5 representa la menor diferencia significativa en el efecto subjetivo de iluminancia. En condiciones normales de iluminación se requieren aproximadamente 20 lux para discernir características de la cara humana y es el valor más bajo tomado para la escala de iluminancias. La escala de iluminancias (en lux) recomendada es:

20-30-50-75-100-150-200-300-500-750-1000-1500-2000-3000-5000

La iluminancia mantenida requerida deberá ser aumentada, cuando:

- El trabajo visual es crítico.
- Los errores son costosos de rectificar.
- La exactitud o la mayor productividad es de gran importancia.
- La capacidad visual del trabajador está por debajo de la normal.
- Los detalles de la tarea son de tamaño inusualmente pequeño o de bajo contraste.
- La tarea es realizada durante un tiempo inusualmente largo.

A su vez la iluminancia mantenida requerida puede ser disminuida cuando:

- Los detalles de la tarea son de un tamaño inusualmente grande o de un elevado contraste.
- La tarea es emprendida durante un tiempo inusualmente corto.

En áreas ocupadas de modo continuo, la iluminancia mantenida no debe ser menor de 200 lux (norma UNE-EN 12464, 2003).

Iluminancias de áreas circundantes inmediatas: La iluminancia de áreas circundantes inmediatas debe estar relacionada con la iluminancia del área de tarea y deberá proporcionar una distribución de luminancias bien equilibrada en el campo de visión. Las grandes variaciones espaciales en iluminancias alrededor del área de tarea pueden conducir a tensiones y molestias visuales.

1.3.3.3 Deslumbramiento

Es la sensación producida por áreas brillantes dentro del campo de visión. El deslumbramiento causado por las reflexiones en superficies especulares es usualmente conocido como reflexiones de velo o deslumbramiento reflejado. Es importante limitar el deslumbramiento para evitar errores, fatiga y accidentes.

En lugares de trabajo en interiores, el deslumbramiento molesto puede producirse directamente a partir de luminarias brillantes o ventanas. Si se satisfacen los límites del deslumbramiento molesto, el deslumbramiento perturbador no es usualmente un problema importante.

1.3.3.4 Dirección de la luz

La iluminación procedente de una dirección específica puede revelar detalles dentro de una tarea visual, aumentando su visibilidad y haciendo la tarea más fácil de realizar. Deberían evitarse reflexiones de velo y deslumbramiento reflejado.

1.3.3.5 Rendimiento de colores y apariencia del color de la luz

Rendimiento de color es la capacidad de una fuente de luz artificial en reproducir los colores, siendo la referencia la luz del sol. Esta capacidad se mide en un porcentaje donde el 100% lo da la luz natural de sol.

Es importante para las prestaciones visuales y la sensación de confort y bienestar, que los colores del entorno, de objetos y de la piel humana sean reproducidos de forma natural, correctamente y de tal modo que las personas parezcan atractivas y saludables.

La "apariencia de color" de una lámpara se refiere al color aparente (cromaticidad) de la luz emitida. Es cuantificada por su temperatura de color correlacionada.

1.3.3.6 Flicker

Es el fenómeno de variación de la intensidad luminosa que afecta a la visión humana generado por fluctuaciones en la tensión de red eléctrica. Causa distracción y puede dar lugar a efectos fisiológicos tales como dolores de cabeza.

Los efectos estroboscópicos pueden conducir a situaciones peligrosas cambiando el movimiento percibido de maquinaria giratoria o que se mueve en vaivén.

Los sistemas de iluminación deberían estar diseñados para evitar el flicker y los efectos estroboscópicos.

1.3.3.7 Luz natural o diurna

La luz natural puede proporcionar la totalidad o parte de la iluminación para tareas visuales. Varía de nivel y de composición espectral con el tiempo y por ello proporciona una variación en un interior. La luz natural puede crear una distribución de luminancias debido a su flujo luminoso casi horizontal procedente de las ventanas laterales.

Las ventanas pueden proporcionar un contacto visual con el mundo exterior, que es preferido por la mayor parte de la gente.

En interiores con ventanas laterales, la luz natural disponible disminuye rápidamente con la distancia a la ventana. Es necesario un alumbrado suplementario para asegurar la iluminancia requerida en los salones de clase y para equilibrar la distribución de luminancias dentro de las aulas. Puede usarse

conmutación y/o regulación del flujo luminoso automática o manual para asegurar la integración apropiada entre alumbrado eléctrico y luz natural.

1.4 Antecedentes sobre análisis y métodos aplicados en sistemas iluminación

Se han realizado investigaciones en sistemas de iluminación, mediante el aprovechamiento de la luz natural.

Es posible disminuir el uso de la luz artificial mediante el uso de ventanas en los edificios con un área "ideal" la cual permita el ingreso de luz natural adecuado. Disminuir el uso de la luz artificial provoca disminución en los consumos de energía eléctrica. Se pueden mejorar los sistemas de iluminación integrando eficazmente los sistemas iluminación de los edificios con el uso de la luz natural (Ghisi et al., 2005).

El uso de componentes en los sistemas iluminación más eficientes permiten disminuir consumos de energía. Esto lo demuestra un análisis realizado mediante pruebas usando balastos de diferentes tipos, observando cuál de estos es la mejor alternativa en cuanto a rendimiento y consumo de energía. Con el análisis también sirvió para saber qué impacto tiene ecológicamente hablando el uso de estos componentes, donde se reduce hasta en un 10% la producción de gases contaminantes a la atmosfera (Stefano, 2000). La problemática que presento este trabajo fue el hecho de que la energía eléctrica en Australia es barata y el ahorro económico logrado no justificaba la inversión en los dispositivos eléctricos que mostraban una mayor eficiencia.

1.5 Problemática presente en los sistemas de iluminación

1.5.1 Problemática de tipo social

Un factor que tiene influencia en la salud, el bienestar y el estado anímico de los seres humanos es el confort lumínico, esto de acuerdo con estudios biomédicos que han sido realizados en los últimos 50 años (Brager et al., 1998; Veitch, 2001).

En cuanto al desarrollo tecnológico de la iluminación en México a diferencia de otros países, es muy bajo. Los sistemas de iluminación existentes en el mercado provienen de otros países y presentan un alto costo.

En cuestión de desarrollo en sistemas de monitoreo para iluminación, en el mercado existen diferentes productos con costos relativamente altos, como son los registradores de datos (Data Loggers) que son caros y no permiten la adquisición de datos en varios puntos; además cabe resaltar que estos productos provienen de otros países.

Los problemas de confort lumínico han generado la preocupación en los efectos que tiene hacia la salud, como es la reducción del rendimiento de los usuarios del edificio, generando un pobre ambiente lumínico interior (Kolokotsa et al., 2005; Diakaki et al., 2008; Allard et al 1998).

1.5.2 Problemática de tipo económica

Hoy en día los gastos debido al consumo de energía se deben en mayor parte a los sistemas de iluminación, según estudios se muestra que es de alrededor del 40% del consumo mundial (K. Yarnell et al., 2000; M.B. Ullah et al., 1996; Swisher et al., 1994).

Tomando en consideración que la mayor parte de la energía eléctrica utilizada es debida a el uso de sistemas de iluminación artificial, se tiene otra problemática de tipo económica, debido a que, según el registro de consumo anual de energía eléctrica proporcionado por la dirección de mantenimiento y obras de la Universidad Autónoma de Querétaro, la institución ha reportado elevados consumos de energía eléctrica en la última década, siendo la facultad de ingeniería la que mayor gasto generó (Tabla 1.1).

Tabla 1.1 Gasto anual por consumo de energía eléctrica por las facultades y entidades académicas de la U.A.Q.

Lugar	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Biblioteca Bernardo Quintana	856	1917	1950	1363	1429	1602	1167	2162	2122	1167	1363	9174
Edificio Octavio S Mondragón		1582	1725	1377	889	1350	884	1033	1357	884	1377	1549
Edificio Octavio S Mondragón	1006	9663	9557	8540	7801	9009	9251	9001	12156	9251	8540	9663
Escuela Bellas Artes Centro	7690	2607	2782	2282	2570	2568	2499	2578	2558	2499	2282	2759
Escuela de Bellas Artes CU	4629		4925	5038	5044	5220	4089	5412	6565	4089	5038	4364
Escuela de Medicina Vet.	7903		11226	5516	5913	9646	8980	1477	8459	8980	5516	6224
Escuela de Medicina Zoot.	5437		5993	5065	4858	5519	5428	5060	6164	5428	5065	6776
Fac. de contaduría y admón.	41864		44016	45781	46022	47338	37663	53197	54263	37663	45781	40785
Fac contaduría y admón. (Pos)	7301		7548	7543	7660	7831	8566	8177	9183	8566	7543	6968
Facultad de Informática	7920		9771	8442	10353	10026	3890			3890	8442	5285
Facultad de Ingeniería	79250	77521	88755	66923	78747	73919	72186	88337	83586	72186	66923	70045
Facultad de Ingeniería (Pos)	5487		6090	6573	7169	6908	6311	7925	8087	6311	6573	5098
Facultad de lenguas y letras	4898		6041	6043	10672	7864	8451	9219	8245	8451	6043	4936
Fac. lenguas y letras TECALL	195		5161	4678	5402	5196	3343			3343	4678	2857
Facultad de Medicina	9424	9898	9563	10007	9522	10095	8248	11880	11963	8248	10007	9853
Imprenta	752	731	861	842	896	968	890	1108	988	890	842	785
Preparatoria Norte	15825		16262	14812	14445	12793	10501		19118	10501	14812	10866
Preparatoria Sur	21227	12395	15654	13821	17091	16295	16330	16330	19007	16332	13821	13088
Rebombeo General	4902		6316	6717	5505	7793	8537		12495	8537	6717	5958
Unidad Deportiva	8443	8919	11556	9463	11172	10225	10401	10332	856	10401	9463	9596
SUMA EN PESOS	235009	125233	265752	230826	253160	252165	227615	233228	267172	227617	230826	226629

Fuente Dirección de Mantenimiento y Obras de la Universidad Autónoma de Querétaro, 2005.

Se reporta que alrededor del 70% de la energía eléctrica generada en nuestro país es por medio de la quema de combustibles fósiles (hidrocarburos), esta es un problema debido a que los costos de este tipo de energético ha incrementado provocando la elevación de los costos de producción y por lo tanto el aumento en los precios de la energía eléctrica a los usuarios (Plan nacional de desarrollo 2007-2012, 2007).

1.5.3 Problemática de tipo ambiental

La generación de energía eléctrica por medio de la quema de hidrocarburos no solo genera incrementos en los costos de la energía eléctrica (Plan nacional de desarrollo 2007-2012, 2007), sino también genera contaminación y cambios climáticos debido a que los gases producidos afectan directamente a la atmósfera (Wood et al., 2003; Verbeeck et al., 2005; World Energy Outlook, 2006; Energy Technology Perspectives - Scenarios and Strategies to 2050, 2006).

1.6 Consideraciones del análisis y monitoreo lumínico para interiores

1.6.1 Consideraciones del análisis lumínico

Es necesario considerar lo establecido por las normas nacionales e internacionales de iluminación y realizar el análisis en base a los índices que nos permitan obtener un buen ambiente visual al interior de los salones de clase.

Para el análisis de iluminación se considera la metodología de monitoreo de los índices del entorno luminoso en diferentes puntos en tiempo real a un bajo costo.

Una instalación de alumbrado debería satisfacer los requisitos de iluminación de un espacio particular sin malgastar energía. Sin embargo, es importante no comprometer ni los aspectos visuales de una instalación de iluminación simplemente para reducir el consumo de energía. Esto requiere la consideración de sistemas de alumbrado, equipos y controles apropiados y el uso de la luz natural disponible.

En la etapa de planificación de un proyecto arquitectónico, los planificadores deberían tener en cuenta: la importancia de la orientación solar, el correcto dimensionamiento de ventanas, las aberturas de ventilación y la luz del día, la correcta elección de los materiales teniendo en cuenta que cada región tiene un distinto, particular, y tipo de clima (Krüger et al., 2004).

Es por ello que las características de tipo arquitectónico del edificio específico son importantes e influyen en la calidad de iluminación interior.

1.6.2 Consideraciones del monitoreo lumínico

Como se vio anteriormente, existen siete parámetros normativos definidos que determinan el entorno luminoso, por lo cual, para garantizar un buen ambiente luminoso para los habitantes de un edificio se deben considerar estos parámetros.

El análisis considera tres puntos necesarios para garantizar una iluminación confortable:

- Nivel de iluminación.
- Deslumbramientos.
- Equilibrio de las luminancias.

Al considerar estos puntos es necesario manejar valores que permitan cuantificar el nivel de confort existente, por lo que se consideran cuatro índices del

entorno luminoso, considerando como parte esencial el bienestar visual de los usuarios en los edificios. Estos índices se enuncian a continuación.

- Iluminancia.
- Reflectancia.
- Distribución de la luminancia en el campo visual.
- Uniformidad de la iluminancia.

Se detalla más sobre estos índices en el segundo capítulo de la presente investigación llamado “consideraciones teóricas”.

1.7 Hipótesis

El uso eficiente de la luz natural y de la luz artificial para interiores, genera un mejor ambiente visual a los ocupantes, impactando en su bienestar físico y mental. Para ello es necesario considerar tanto características propias de las fuentes luminosas como características del diseño interior del edificio.

El análisis de iluminación muestra las pautas para lograr mejorar la calidad de la iluminación, tomando como enfoque principal la comodidad y seguridad visual de los usuarios, así como la eficiencia de la iluminación dentro del edificio.

El empleo de la vista de manera intensa y continua requiere de una iluminación eficaz para conseguir un ambiente óptimo y reducir el esfuerzo visual. Para generar el confort lumínico se deben de considerar los atributos del entorno lumínico que influyen de manera directa en el bienestar del usuario.

1.8 Objetivo

1.8.1 Objetivo general

Realizar la adquisición y análisis de los índices del entorno luminoso al interior de salones de clase, para determinar si cumplen con los requerimientos de iluminación que proporcionen a los usuarios un mejor ambiente visual.

1.8.2 Objetivo particular

- Estudiar los índices del entorno luminoso que deben considerarse en la mejora de los niveles de iluminación para interiores.
- Analizar y determinar si la iluminación y las características de diseño al interior del edificio cumplen con las necesidades requeridas que permitan aprovechar la luz natural a través de las ventanas.

1.9 Justificación

1.9.1 Aspecto social

Mediante el análisis de los índices de iluminación, es posible saber cuando y donde es necesario aplicar estrategias que permitan obtener un mejor ambiente visual para los usuarios y mejorar la calidad lumínica y el uso eficiente de la luz artificial al interior del edificio.

1.9.2 Aspecto económico

El mejorar la forma en que se maneja y opera la luz artificial en los sistemas de iluminación de los edificios de una forma óptima considerando el uso eficiente de la luz natural puede reducir el consumo de energía eléctrica hasta en un 60% y solucionar problemas de tipo visual para los usuarios (Stefano, 2000).

Mediante la adquisición de los índices del entorno luminoso es posible saber en donde es necesario el uso de la luz artificial y en qué momento se requiere de esta; así como también permite la mejora del sistema de iluminación.

1.9.3 Aspecto ambiental

Manipulando las características interiores de los edificios de tal forma que se tengan índices del entorno acorde a niveles benéficos para los usuarios considerando el uso de luz natural, no solo permite la reducción de los consumos de energía eléctrica debida a la iluminación, también permite la disminución de las emisiones de gases a la atmósfera debido a la reducción de la quema de hidrocarburos (Verbeeck y Hens, 2005).

Considerando el enfoque que tiene el análisis de los índices del entorno luminoso, se puede afirmar que cumple con lo necesario para ser sustentable, esto resulta ser debido al impacto, social, económico y ambiental que tiene su realización (Pfeiffer et al., 2005) y marcará las pautas para mejorar la calidad lumínica y el uso eficiente de la luz artificial al interior del edificio.

Capítulo 2

CONSIDERACIONES TEÓRICAS

Este capítulo trata sobre aquellas consideraciones teóricas necesarias, que presentan una vital importancia en esta investigación, esto con la finalidad de poder valorar y evaluar las condiciones del ambiente lumínico presente al interior de los edificios.

El principal enfoque es cuantificar atributos característicos del ambiente lumínico al interior de salones de clase, a fin de realizar ciertas modificaciones que permitan tener una iluminación correcta, la cual puede ser reconocida cuando se logran distinguir las formas, los colores, los objetos en movimiento y apreciar los relieves, realizándose fácilmente y sin fatiga (Norma UNE-EN 12464, 2003).

2.1 Valoración y condiciones de la comodidad lumínica visual

Son tres puntos que se deben considerar para asegurar un confort o comodidad visual en interiores:

- Nivel de iluminación.
- Deslumbramientos.
- Equilibrio de las luminancias.

La iluminación ya sea natural o artificial, es recomendado tener el suficiente aporte de luz natural, aunque debido a que varía en función del tiempo es necesario compensar su ausencia o insuficiencia con luz artificial (Norma UNE-EN 12464, 2003).

2.1.1 Nivel de iluminación

El nivel de iluminación óptimo para una tarea determinada corresponde al que da como resultado un mayor rendimiento con una mínima fatiga.

El nivel de iluminación o iluminancia indica la cantidad de luz que incide en un área por unidad de tiempo. Es un parámetro cuantitativo que denota si una zona está más o menos iluminada. Se mide en luxes.

La consideración de los niveles de iluminación es normalmente suficiente para el análisis de las condiciones visuales pero esta no garantiza totalmente que se tendrá buen entorno lumínico.

Los atributos a considerar del entorno lumínico son la iluminancia y la uniformidad de iluminancia.

2.1.2 Deslumbramientos

Los deslumbramientos se refieren a los brillos excesivos que pueden ocasionar molestias en la visión, estos están motivados generalmente por:

- Una visión directa de la fuente de luz.
- La visión indirecta (reflejo) sobre una superficie reflectante.

Aunque el deslumbramiento producido por la visión directa de una ventana debe evitarse por ser una de las causas de incomodidad, es aconsejable no bloquear la entrada de luz natural.

El deslumbramiento producido por la reflectancia o reflexión de las fuentes de luz sobre superficies reflectantes como plano de trabajo, maquinas y ventanas disminuye la percepción visual y causa incomodidad.

La reflectancia es la variable lumínica medible que provoca el deslumbramiento.

2.1.3 Equilibrio de las luminancias

Los ojos del observador no perciben la luz que incide sobre una superficie, si no la luz que esta refleja en su dirección cuya medida es conocida con el nombre de luminancia. Las diferencias de luminancias de diferentes superficies u objetos son las que nos permiten distinguir visualmente unos de otros.

La reflectancia y la distribución de las luminancias son los índices de iluminación medible y manipulable al considerar el equilibrio en las luminancias.

2.2 Índices del entorno luminoso

Para contar con un buen ambiente visual es necesario considerar el nivel de iluminación, los deslumbramientos y un equilibrio de las luminancias por lo que es necesario manejar valores que permitan cuantificar el nivel de confort visual existente, considerando así cuatro mediciones, consideradas en esta investigación, índices del entorno luminoso:

- Iluminancia o nivel de iluminación.
- Factor de reflexión de una superficie o reflectancia.
- Distribución de la luminancia en el campo visual.
- Uniformidad de la iluminancia.

Estas variables manipuladas de forma óptima modifican los parámetros que determinan el entorno o ambiente luminoso, considerando como parte esencial el bienestar visual de los usuarios al interior de los edificios.

2.2.1 Cuantificación de los índices del entorno luminoso para interiores

2.2.1.1 Nivel de iluminación o iluminancia

Esta variable es medida en lux (Lumen/m²) mediante un luxómetro o un sensor de iluminación que se colocara en la superficie de trabajo con la misma inclinación y altura de esta. En general la iluminancia interior es medida a 75 cm sobre el suelo, ya que es la altura estimada de una superficie de trabajo.

En general, la iluminancia se define según la siguiente expresión:

$$E_v = \frac{dF}{dS} \quad (2.1)$$

Donde:

E_v = Iluminancia, medida en luxes

F = Flujo luminoso, en lúmenes

dS = Elemento diferencial de área considerado, en metros cuadrados

La iluminancia se puede definir a partir de la magnitud radiométrica de la irradiancia de cada longitud de onda de la curva de sensibilidad del ojo humano.

Así, entonces:

E_v Es la iluminancia.

E_λ Representa la irradiancia espectral.

V_λ Simboliza la curva de sensibilidad del ojo, entonces:

$$E_v = K \int_{\text{visible}} E(\lambda) V(\lambda) d\lambda \quad (2.2)$$

Tanto la iluminancia como el nivel de iluminación se pueden medir con un aparato llamado fotómetro. A la iluminancia que emerge de una superficie por unidad de área también se le denomina emitancia luminosa.

Esta investigación se enfoca en el ambiente lumínico para interiores en general, considerando cualquier tipo de edificio, pero debido a que el desarrollo es realizado a un aula de clase, tomamos específicamente las consideraciones para edificios educativos.

La norma UNE-EN 12464, 2003 marca las recomendaciones de iluminación para edificios educativos, el nivel de iluminación requerido para aulas de estudio, sala de profesores y sala de lectura varía de los 200 a 500 lux (tabla 2.1) donde se puede visualizar la iluminancia mantenida (\bar{E}_m), el Índice de Deslumbramiento Unificado (UGR_L), y el rendimiento de colores mínimos (R_a).

Tabla 2.1 Recomendaciones de iluminación para edificios educativos.

Tipo de interior, tarea y actividad	\bar{E}_m lux	UGR_L	R_a	Observaciones
Aulas, aulas de tutoría	300	19	80	La iluminación debería ser controlable
Aulas para clases nocturnas y educación de adultos	500	19	80	La iluminación debería ser controlable
Sala de lectura	500	19	80	La iluminación debería ser controlable
Pizarra	500	19	80	Evitar reflexiones especulares
Mesa de demostraciones	500	19	80	En salas de lectura 750 lux
Aulas de arte	500	19	80	
Aulas de arte en escuelas de arte	750	19	90	T _{cp} ≥5000 K
Aulas de dibujo técnico	750	16	80	
Aulas de prácticas y laboratorios	500	19	80	
Aulas de manualidades	500	19	80	
Talleres de enseñanza	500	19	80	
Aulas de prácticas de música	300	19	80	
Aulas de prácticas de informática	300	19	80	Trabajo con Equipo con pantalla de visualización
Laboratorio de lenguas	300	19	80	
Aulas de preparación y talleres	500	22	80	
Halls de entrada	200	22	80	
Áreas de circulación, pasillos	100	25	80	
Escaleras	150	25	80	
Aulas comunes de estudio y aulas de reunión	200	22	80	
Salas de profesores	300	19	80	
Biblioteca: estanterías	200	19	80	
Biblioteca: salas de lectura	500	19	80	
Almacenes de material de profesores	100	25	80	
Salas de deportes, gimnasios, piscinas (uso general)	300	22	80	Para actividades más específicas, se debe usar los requisitos de la Norma EN 12193
Cantinas escolares	200	22	80	
Cocina	500	22	80	

2.2.1.2 Factor de reflexión de una superficie

Para medir el factor de reflexión o reflectancia de una superficie A se tomarán con el luxómetro dos medidas de luminancias, L_A y L_B .

$$\text{Reflectancia} = 0.8(L_A/L_B) \quad (\text{ec 2.3})$$

Donde:

L_A = Luminancia de la superficie A.

L_B = Luminancia de la superficie A utilizando un cartulina blanca de superficie $\geq 35 \times 35$ cm.

Se debe situar el instrumento de medición a una distancia de entre 5 y 10 cm de las superficies A y B.

La reflectancia se puede dar en porcentaje (%). Los márgenes de reflectancias útiles para los planos de trabajo, según la norma de iluminación UNE-EN 12462, son de 20% a 60%. Los rangos reflectancia útiles para las principales superficies interiores de acuerdo a esta norma se dan de acuerdo a la tabla 2.2.

Tabla 2.2 Rangos de reflectancia para superficies al interior de edificios.

Techo	60 a 90%
Paredes	30 a 80%
Planos de trabajo	20 a 60%
Suelo	10 a 50%

2.2.1.3 Distribución de la luminancia

Se coloca el instrumento de medición al nivel de los ojos y dirigido al centro de la superficie de trabajo, a los alrededores inmediatos y mediatos de la superficie de trabajo.

Se consideran aceptables las relaciones de luminancias entre el plano de trabajo y los alrededores inmediatos y mediatos inferiores iguales a 1:3:10 o inferiores o iguales a 10:3:1.

Distribución de las luminancias $\leq 10:3:1$ o $\leq 1:3:10$ según si la superficie de trabajo es la de mayor o menor luminancia.

Son importantes las luminancias de todas de las superficies y serán determinadas por la reflectancia y la iluminancia en las superficies.

2.2.1.4 Uniformidad de la iluminancia

En la superficie de trabajo se coloca una cartulina de color negro mate con una forma de ángulo rectángulo. Se coloca el sensor o instrumento de medición encima de la cartulina la cual se va girando cada 20° hasta completar la vuelta completa. En cada una de las posiciones se realiza el registro de las lecturas. Con la lectura de menor y la media de las lecturas se obtiene la uniformidad de iluminancia.

$$\text{Uniformidad de iluminancia} = (\text{Lectura menor} / \text{Lectura media})$$

El área de tarea debe ser iluminada tan uniformemente como sea posible. La iluminancia de las áreas circundantes inmediatas puede ser inferior a la iluminancia de la tarea pero no debe ser menor que los valores dados en (tabla 2.3).

Tabla 2.3 Uniformidades y relación entre iluminancias de áreas circundantes inmediatas al área de tarea.

Iluminancia de tarea	Iluminancia de áreas circundantes inmediatas
Lux	inmediatas
≥ 750	500
500	300
300	200
≤ 200	E_{tarea}
Uniformidad: ≥ 0.7	Uniformidad: ≥ 0.5

La uniformidad del área de tarea no debe ser inferior a 70%, (tabla 2.3).

Se define como “uniformidad de iluminancia” a la relación o cociente entre la iluminación mínima y la iluminancia medida sobre la superficie.

$$\text{Uniformidad de iluminancia} = \left(\frac{\text{Lectura menor}}{\text{Lectura media}} \right) \geq 0.7 \quad (\text{ec 2.4})$$

La medición de los niveles de iluminación debe efectuarse mediante instrumento o sensor de iluminación, colocado en la superficie de trabajo, con la misma inclinación que tenga esta.

2.3 Condicionantes para lograr una comodidad lumínica visual

- Condicionantes del observador.
- Condicionantes del entorno.
- Condicionantes de la tarea.
- Condicionantes de la estructura.

2.3.1 Condicionantes del observador

Este es un factor que considera la capacidad visual y la edad de las personas.

La capacidad visual de las personas considera las facultades del ojo humano, como son la agudeza visual, la sensibilidad al contraste y la rapidez de percepción.

Este es un factor que depende de la persona, por lo que no es considerado como parte del análisis.

2.3.2 Condicionantes del entorno

Considera las dimensiones, los colores, las forma, función del edificio y textura presente al interior.

2.3.3 Condicionantes de la estructura

La estructura interior del edificio tiene un impacto en el entorno luminoso, estas condicionantes consideran lo siguiente:

- Posición de los puntos de luz que depende directamente del tipo tarea realizadas en el edificio.
- Distribución lumínica.
- Tipología y diseño de los puntos de luz considerando la función del edificio.
- Significado cultural del tipo de luz.
- Relación luz natural - luz artificial, la cual es importante para el enfoque que tiene la realización de esta investigación.

2.4 Diseño de alumbrado

El objeto de un diseño de alumbrado es proporcionar iluminación suficiente para una tarea visual dada, sin producir malestar, y al mínimo costo posible. No es difícil obtener suficiente luz con las modernas fuentes luminosas, pero si se colocan y controlan en forma inadecuada, se obtendrá un ambiente lumínico descomfortable.

Al realizar los análisis de iluminación es necesario aclarar que no es conveniente una iluminación escasa ni tampoco una iluminación intensa, porque en el primer caso se realizará mayor esfuerzo al órgano de la visión, y el segundo caso produce deslumbramiento en los objetos iluminados afectando también al órgano de la visión.

En la iluminación de interiores, se debe tener en cuenta: la reflexión que producirán las fuentes luminosas, las dimensiones que tendrá el ambiente iluminado, así como la forma de iluminar a los objetos del local.

En la iluminación de interiores, la reflexión es influenciada por el color y la rugosidad de la superficie en la cual incidirán los rayos luminosos. Por ejemplo, el papel o cartón negro granulado reflejará solamente el 55% de la luz incidente; el papel blanco liso, reflejará el 85 %.

Al iniciarse todo análisis en iluminación de interiores se deben tener en cuenta los siguientes puntos fundamentales:

- Formas o tipos de iluminación y número.
- Ubicación de las lámparas a usar.
- Potencia y número de lámpara a usar.
- Ubicación y altura de suspensión de las lámparas.

2.5 Tipo de iluminación para interiores

Son las diversas formas en que se deben ubicar las fuentes luminosas para solucionar problemas visuales, los cuales deben estar en forma proporcional para satisfacer una adecuada operatividad visual a realizarse en determinado ambiente constructivo.

- **Iluminación directa:** Es aquella en la cual la fuente luminosa está dirigida directamente hacia el área de trabajo o el área a iluminarse.
- **Iluminación Semi-directa:** Es aquella en la cual la proyección del flujo luminoso que sale al área de trabajo proviene de la combinación de la luz directa de la fuente de luz y una parte del flujo luminoso que se refleja en las paredes techos y mobiliario.
- **Iluminación Indirecta:** Se da cuando la fuente luminosa es dirigida a una pared, techo o a un mobiliario la cual o las cuales reflejan al flujo luminoso a la zona a iluminarse.
- **Iluminación Semi-indirecta:** Es aquella en la cual el manantial emite flujos luminosos, unos inciden en el techo o en otro tipo de superficie que los refleja hacia la zona de trabajo, otras traspasan directamente superficies opacas y se distribuyen en todas las direcciones y uniformemente en la zona de trabajo.
- **Iluminación Difusa:** Es aquella en la que la fuente luminosa emite rayos, los cuales son dirigidos directamente a una superficie opaca y al traspasarlas se reparten uniformemente en todas las direcciones del área de trabajo.

Capítulo 3

METODOLOGÍA

Para analizar de forma precisa y confiable la iluminación para interiores se necesita de las herramientas, instrumentación y tecnología que permita determinar su rendimiento; debido a ello se requiere la implementación de un sistema que permita el monitoreo y registro de los índices de iluminación.

Con la finalidad de facilitar el análisis, la adquisición de datos lumínicos se realiza en multipuntos estratégicos al interior del edificio, esto con el objetivo de proporcionar la información necesaria que permite determinar si se cumplen con las condiciones que establece la (Norma UNE-EN, 2003) aplicada en la iluminación para interiores.

3.1 Lugar de desarrollo de pruebas y mediciones

El análisis y sistema de monitoreo de variables lumínicas puede ser implementado para todo tipo de interiores, esto considerando que los niveles de iluminación para los diferentes edificios están considerados dentro de la norma de iluminación. Sin embargo es importante decir que este análisis de iluminación es aplicado en un área académica, con la finalidad de conocer el estado de iluminación en los edificios de la Facultad de Ingeniería, marcando las pautas para la mejora de la iluminación cuando sea requerido.

Las pruebas y mediciones fueron llevadas a cabo en el edificio G, este edificio se ubica en la Universidad Autónoma de Querétaro y pertenece a la Facultad de ingeniería del área de posgrado. En la figura 3.1 se muestra esquemáticamente la vista superior del edificio, donde se observan las dimensiones y la posición de las puertas.

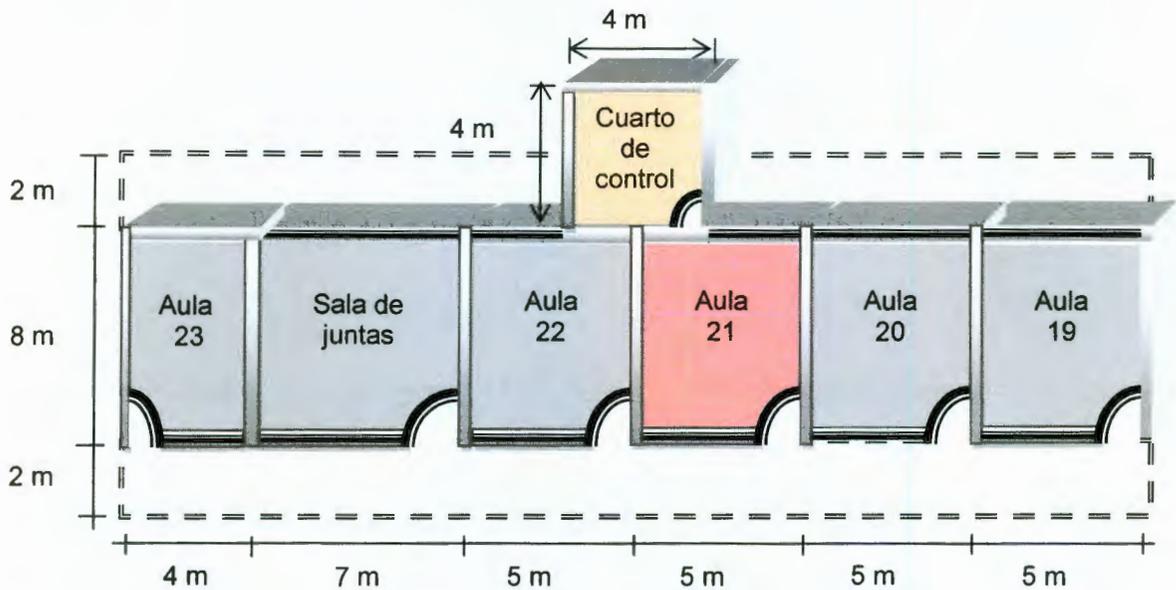


Figura 3.1 Vista superior de edificio de referencia para el análisis iluminación.

3.1.1 Selección de zonas de monitoreo y análisis de iluminación

El edificio de posgrado de la Facultad de ingeniería se seleccionó primeramente para realizar el análisis de la iluminación. Este edificio es de un solo nivel con 3 m de altura y muros laterales interiores pintados de color blanco; por otra parte, las mesas de trabajo son de color gris opaco.

Cuatro de las aulas del edificio tienen un área de 40 m^2 , la sala de juntas tiene un área de 56 m^2 , y la última aula tiene un área de 32 m^2 . El aula seleccionada para análisis de iluminación es el aula 21. El cuarto de control presenta un área de 16 m^2 y se ubica en la parte central sur del edificio.

Como la estructura del edificio repercute en la iluminación, también son consideradas las características de diseño del edificio. El aula 21 cuenta con dos ventanas ubicadas al norte (1.90 m de largo por 1.50 m de alto) y al sur (2.90 m de largo por 1.50 m de alto) respectivamente. Los muros divisores de las aulas son

de tabicón blanco (14 cm de ancho por 30 cm de largo) con acabado en interiores y exteriores con pintura blanca vinílica.

El cuarto de control fue el lugar donde se implementó sistema de monitoreo para la adquisición de los índices de iluminación provenientes del aula 21. Es necesario decir que este edificio ha sido utilizado para llevar a cabo diferentes proyectos y trabajos de investigación de consumos energéticos.

Se necesita considerar la ubicación y orientación del edificio de tal forma que se pueda tener una referencia que permita interpretar los datos de forma precisa. Es por ello que para poder interpretar y observar los datos y las características de la iluminación interior, fueron examinadas dos aulas más, considerando el aula G- 21 como referencia en el análisis de iluminación.

Para la selección de los otros dos edificios, se tomó en cuenta su orientación geográfica (Figura 3.2), sus dimensiones y su diseño, por lo que se necesitó buscar un edificio que contara con la misma orientación pero con diseño y ubicación diferente y otro que tuviera una orientación totalmente opuesta pero con características similares de diseño. Considerando estos puntos se seleccionó el aula 2 del edificio B perteneciente igualmente a la facultad de ingeniería. La otra aula seleccionada pertenece a la Facultad de ciencias políticas y sociología en el edificio F, aula 4 el cual cuenta con misma orientación geográfica que el perteneciente al edificio G de posgrado de la Facultad de Ingeniería, y con variación en el diseño, que modifica la iluminación proveniente del exterior, esto debido a que las dimensiones de las ventanas son diferentes. Por otra parte el aula 2 del edificio B de la Facultad de ingeniería tiene una orientación perpendicular al aula de posgrado. Tanto las dimensiones del aula 2 del edificio B de ingeniería y como las del aula 4 de ciencias políticas y sociología son prácticamente similares.

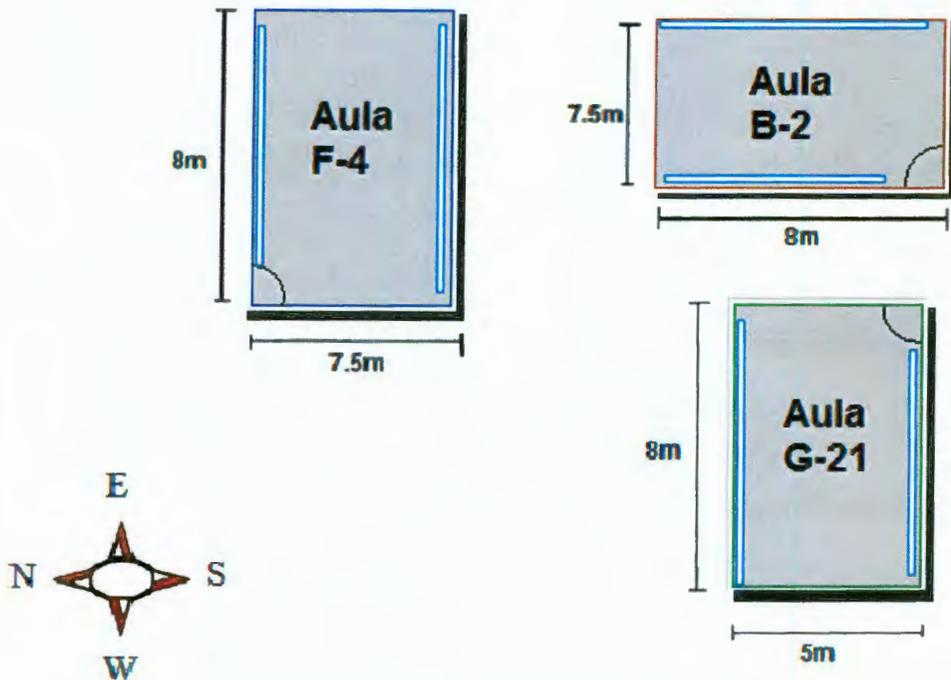


Figura 3.2 Orientación geográfica de las aulas de monitoreo de iluminación.

El tipo y distribución del alumbrado artificial presente en las tres aulas de análisis es muy parecido. Por lo que se observa que las 2 aulas agregadas, cumplen con las características de iluminación y orientación necesarias, siendo los lugares óptimos para el análisis de iluminación.

Las dimensiones de las aulas F-4 y B-2 son similares, por lo que los problemas que se pudieran generar por diferencias en la arquitectura de los edificios son despreciables. Estos salones se seleccionaron con el propósito de observar el comportamiento de la iluminación al interior de los salones de clase y evaluar los índices de iluminación anteriormente mencionados.

3.1.2 Descripción de las zonas de monitoreo y análisis de iluminación

El aula 21 del edificio G de posgrado de la facultad de ingeniería es el aula base o referencia para el análisis (G-21). Esta aula tiene la parte frontal (donde se encuentra la puerta) dirigida hacia el sur. Las mesas de trabajo con que cuenta esta aula son de un color gris; tiene 4 luminarias las cuales son fluorescentes de 2x32 watts cada una, y cuentan con balastro electrónico tipo slim-line. El salón tiene 5m de longitud en la parte frontal y 8m de profundidad. Tiene una ventana frontal (1.9 m x 1.5 m) y una interior (2.9 m x 1.5 m), en (Figura 3.3) se puede visualizar las dimensiones pertenecientes a esta aula.

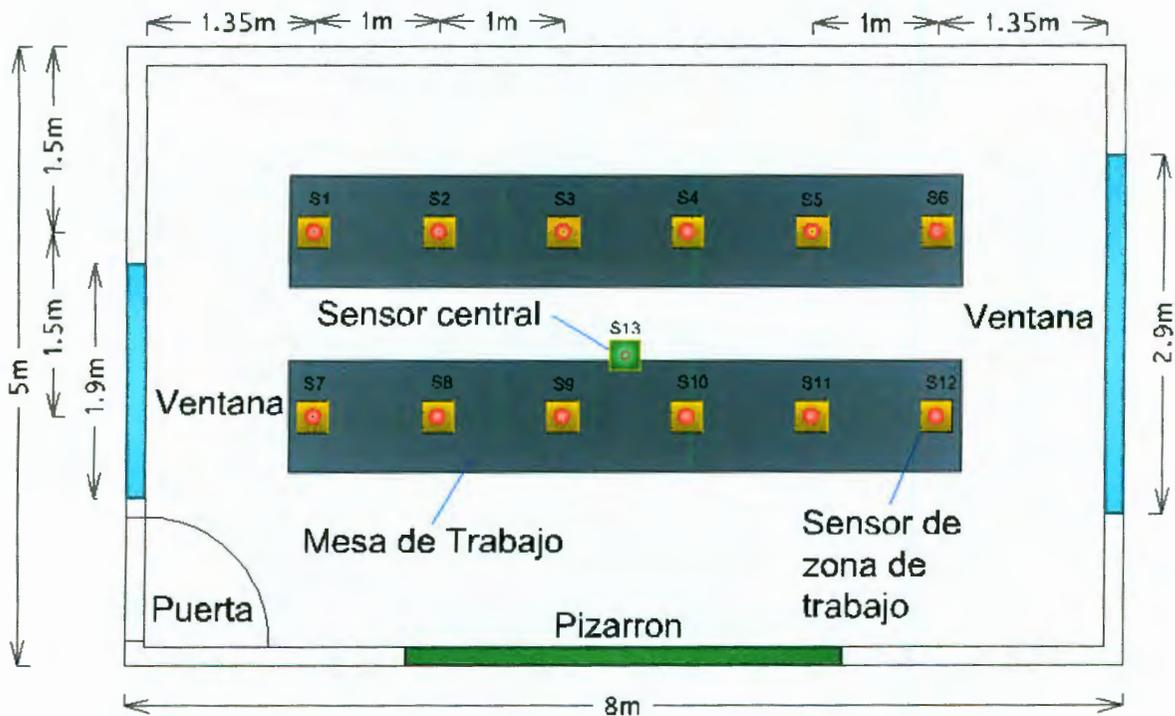


Figura 3.3 Vista superior del Aula G-21. Sensores ubicados en el area de trabajo.

El aula 2 del edificio B (edificio de dos niveles) se encuentra ubicado en la Facultad de Ingeniería, en la planta baja (B-2). Su orientación es perpendicular al aula 21 del edificio de posgrado por lo que la parte frontal está direccionada hacia el Oriente con una longitud de 8 metros al igual que en la parte lateral y una altura de 3 m. En el interior del aula las mesas del salón presentan un acabado en madera claro, tiene 6 luminarias fluorescentes 2x75 watts, con balastro electromagnético de tipo slim-line.

En cuanto a la iluminación diurna, el aula 2 del edificio B, cuenta con cuatro ventanas de las cuales dos están ubicadas en la parte frontal (Oriente) con dimensiones de 2.60 m x 1.5 m y la otra de 3.60 m x 1.50 m, Hacia el poniente tiene dos ventanas más con dimensiones de 3.60 m x 1.50 m, cada par separado por columnas de 25 cm de grosor. En (Figura 3.4) se puede visualizar las dimensiones pertenecientes a esta aula.

El aula 4 perteneciente al edificio F (edificio de dos niveles) de la Facultad de ciencias políticas y sociología se encuentra en la planta baja de la Universidad Autónoma de Querétaro (F-4); tiene una ubicación frontal hacia el norte, al igual que el aula 21 del edificio de posgrado de la Facultad de ingeniería. El aula tiene unas dimensiones de 8m por cada lado y una altura de 3m. En cuanto a sus características interiores, tiene mesas de trabajo de color blanco, 6 luminarias fluorescentes 2x75 watts, con balastro electromagnético de tipo slim-line. La provisión de luz exterior se da por medio de la puerta y dos ventanas en la parte frontal con dimensiones de 2 x 1.5 m cada una y dos más ubicadas hacia el sur con dimensiones 3 x 1.50 m cada una, ambos pares separadas por columnas de 25 cm de espesor. La (Figura 3.4) muestra las dimensiones pertenecientes a esta aula debido a que son las mismas que las del aula B-2 pero con orientación distinta.

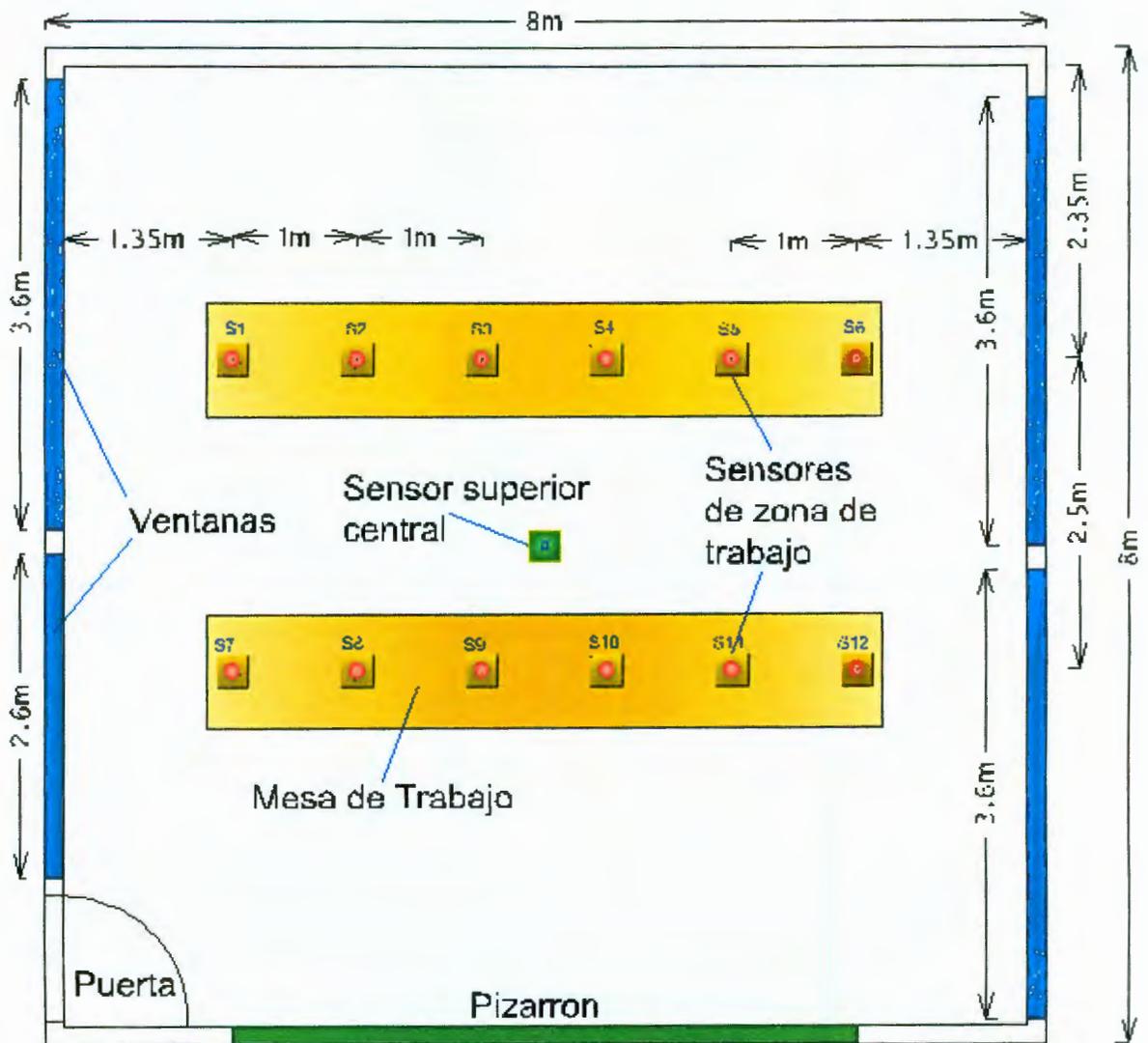


Figura 3.4 Vista superior de las aulas B-2 y F-4 de monitoreo, considerando que solo la orientación geográfica es diferente entre ellas.

3.2 Sistema de monitoreo de índices del entorno luminoso

3.2.1 Selección y distribución de los sensores de medición al interior del edificio

Para tener un monitoreo con datos lumínicos confiables provenientes de las aulas analizadas, fue necesario distribuir de forma estratégicas los sensores que serian utilizados para dicho monitoreo.

La comodidad lumínica visual que puede sentir un usuario al interior de un edificio está en función de las percepciones que tienen, la actividad que está realizando y el tiempo de esta.

Los datos de iluminación recibidos deben ser los percibidos por los usuarios, de tal forma que todos las personas que habitan el interior del edificio que provee la iluminación reciban este beneficio proveniente directamente de las características y de las prestaciones visuales que el interior del edificio proporcione a los usuarios.

Para seleccionar el tipo de sensores a utilizar fue necesaria una comparación entre tres tipos de sensores posibles: El sensor de LI-COR modelo 250 Light Meter, un sensor HANNA modelo HI97500 y un sensor OSRAM modelo SFH-5711. Se realizaron diferentes pruebas en rangos lumínicos de 0-200 Klux y tomando algunas consideraciones de costos y eficiencia se optó por utilizar el SFH-5711.

Debido a la forma de percepción de la luz del ojo humano, no se pueden realizar las mediciones lumínicas con cualquier elemento fotosensible, sino con el que asemeje su sensibilidad a la luz con la del ojo humano. Es por ello que las mediciones de la intensidad lumínica se realizaron con el sensor de luz SFH-5711,

el cual posee esta característica además de tener un rango de valores de medición muy amplio y proporciona a la salida una corriente que guarda una relación logarítmica respecto a la intensidad lumínica medida, básicamente las longitudes de onda del espectro visible ($V\lambda$) por el ojo humano son prácticamente idénticas a las que percibe el sensor de luz SFH-5711, esto se aprecia gráficamente en (figura 3.5).

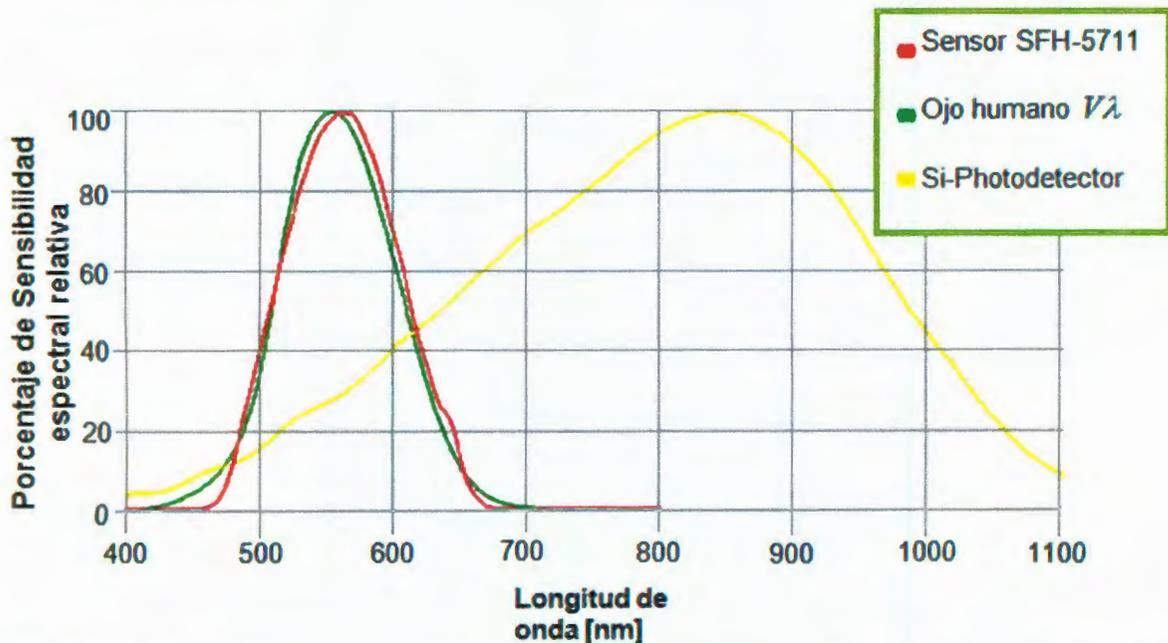


Figura 3.5: Sensibilidad espectral relativa de un detector estándar Si-foto detector y el sensor SFH 5711 comparado con el ojo humano $V\lambda$.

Una resistencia de carga por la cual fluye la corriente eléctrica fue utilizada para medir la intensidad lumínica proporcional a la tensión generada.

En cada aula se colocaron catorce sensores de luz SFH-5711. Doce fueron colocados y distribuidos en la zona y al nivel del área de trabajo. Con dos hileras de 6 sensores cada una. En la parte superior central del salón y en al exterior fue colocado otro sensor respectivamente.

Los sensores del área de trabajo se colocaron a 1 m entre sí. Una hilera 6 sensores se colocó a una distancia de 4.5 m frente al pizarrón, los sensores se

enumeraron del uno al seis. Las hileras se separaron 1.35 m de los muros. (Figura 3.3). La otra hilera se colocó a 2 metros frente al pizarrón y numerados del siete al doce. El sensor central (sensor trece) fue colocado en la parte superior del salón (a la altura del techo), a una altura de 2.9m del piso a techo, esto se puede observar en (Figura 3.6). Al exterior del edificio se instaló otro sensor a una altura de 3.0 m, el cual sirve para conocer el nivel de iluminación del exterior.

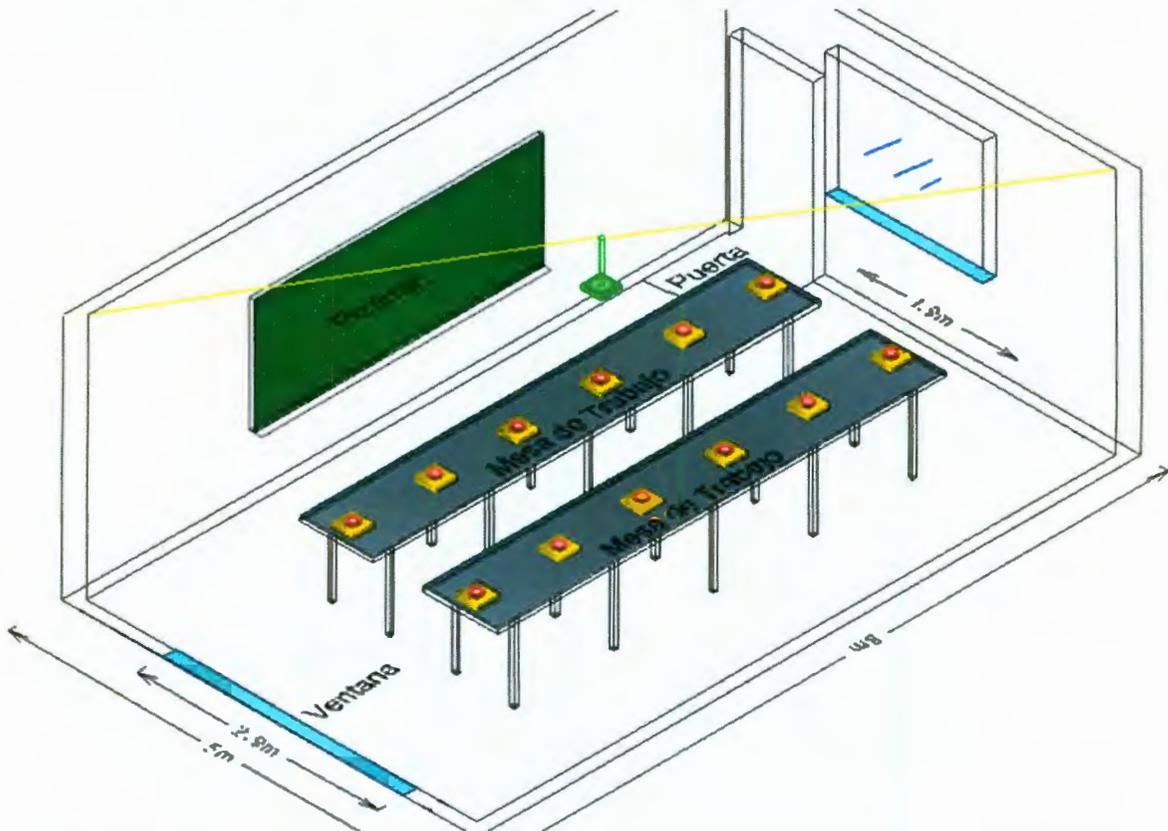


Figura 3.6: Vista 3D del Aula G-21 de posgrado.

La forma en que fueron distribuidos los sensores de iluminación en los salones B-2 y F-4 fue similar al aula G-21 de posgrado. Las dimensiones tanto del aula B-2 de la Facultad de Ingeniería como de aula F-4 perteneciente a ciencias políticas y sociología son las mismas pero con una orientación es opuesta, es por ello que la distribución de los sensores fue la misma.

Los sensores del uno al seis que se encuentran separados 1m entre sí, y 1.35 m separados de los muros laterales. Los sensores numerados del siete al

3.2.2.1 Diseño y características

Para la adquisición de los datos provenientes de los sensores de iluminación, fue necesario tomar en consideración algunos factores importantes para el diseño del sistema como son el costo y facilidad de manejo, por ello son utilizados varios micro-controladores que interactúan entre sí para el manejo de la adquisición de datos. Son utilizados micro-controladores 18f4550 de Microchip mediante una interfaz USB para la comunicación con la computadora.

Para desplegar los datos al usuario en la computadora fue necesaria utilizar un lenguaje de programación accesible en cuanto a licencia y que se adaptara a las necesidades, por ello la aplicación se diseñó bajo la arquitectura del lenguaje de programación C# de Microsoft ya que se encuentra disponible de en la red, siendo su licencia gratuita además de que los drivers requeridos por el μ controlador se encuentran disponibles.

El análisis de la iluminación comprende necesariamente de conocer el comportamiento que presenta la luz natural dentro y fuera de las aulas de clase, de igual forma en que se realizaría en cualquier edificio. Este análisis comprende realizar las mediciones en varios puntos del aula de forma simultánea y precisa con la finalidad de obtener valores reales y no caer en discrepancias que pudieran llegar a ocasionar resultados erróneos.

Para facilitar la adquisición de datos provenientes de los sensores de luz de forma simultánea, considerando que la cantidad de sensores es grande y su distribución es amplia; fue necesario de un sistema simplificado utilizando módulos transceptores TRF-24G los cuales son fabricados por Laipac Technology y se seleccionaron en base a sus características de operación y funcionamiento.

Los módulos transceptores permiten la transferencia de información de forma automática, con capacidad para la comunicación bidireccional a una

velocidad de transferencia que va desde los 250kbps hasta 1Mbps, se pueden transmitir información por 125 canales distintos, se realiza la detección de errores mediante el código de redundancia cíclica o CRC y la frecuencia de operación se encuentra en el rango de 2.4 y 2.524 GHz.

3.2.2.2 Funcionamiento

En la comunicación de datos fueron utilizados 5 micro-controladores, donde uno de ellos se encuentra ubicado en campo y es el micro-controlador maestro mientras que los otros cuatro son los esclavos. Dos μ controladores esclavos son utilizados cada uno para el manejo de los datos comunicados por las dos hileras de 6 sensores que fueron descritas anteriormente. Mientras que los dos micro-controladores esclavos restantes son utilizados para el monitoreo superior central del aula de análisis y el nivel de iluminación exterior respectivamente.

Por medio de la computadora se pide al micro-controlador maestro la adquisición de los niveles de iluminación presentes en los diferentes puntos de medición, mandando la orden de forma inalámbrica a los μ controladores esclavos de monitoreo los niveles de iluminación que le corresponden a cada uno. Después una pequeña pausa en espera de los datos; por medio de la computadora se pide al micro-controlador los datos colectados por los micro-controlador esclavos por lo que la información adquirida se obtiene por parte de cada uno de estos, adquiriendo de esta forma las lecturas de iluminación presentes en el momento en que fueron requeridos.

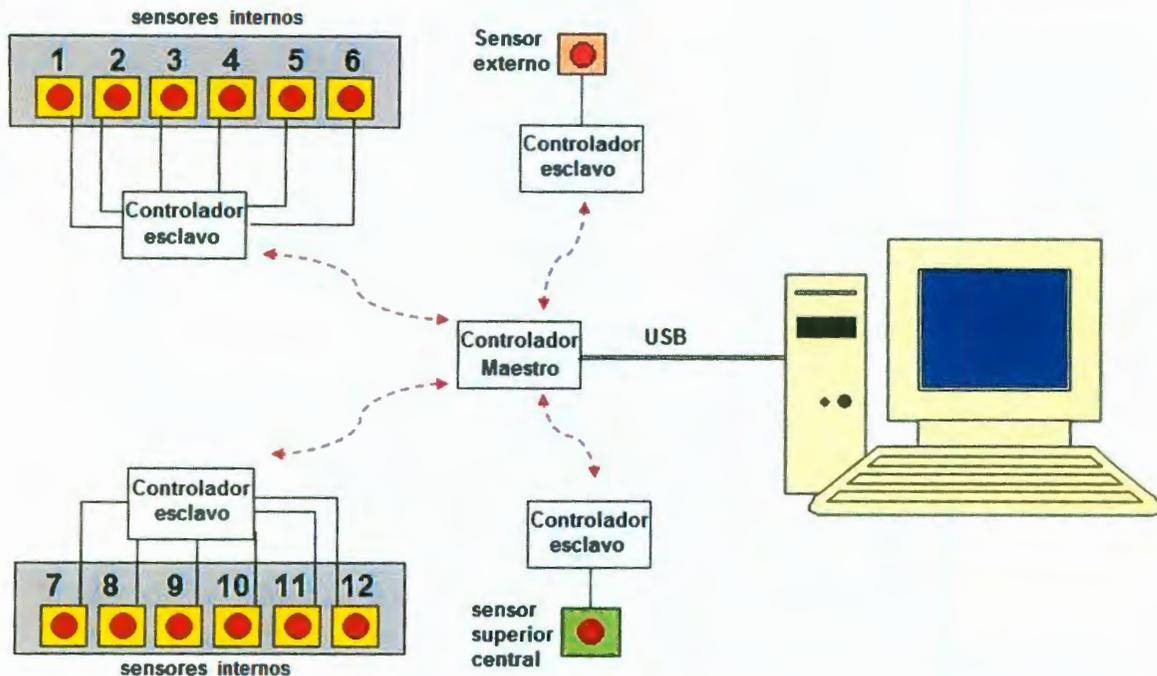


Figura 3.8 Sistema de monitoreo lumínico implementado.

3.2.2.3 Monitoreo y registro de índices de iluminación

Para el monitoreo de variable lumínicas se utilizó una aplicación que permite tener una interfaz entre la computadora y el usuario de forma accesible y relativamente simple.

Utilizando las herramientas y los componentes disponibles por el lenguaje de programación gráfico C# (tales como: cuadros de texto, botones, logotipos y gráficos) fue diseñada la interfaz necesaria para establecer comunicación entre el usuario y la computadora de tal forma que los datos sean de fácil acceso. La velocidad de transmisión de datos y el uso del puerto USB, son características que hacen de este lenguaje de programación el idóneo.

La forma en que son desplegados los datos es de fácil acceso y entendimiento a cualquier persona que necesite conocer de esta información. Esto debido a que la aplicación es relativamente sencilla. Los datos de iluminación se acompañan de la hora y la fecha en que fueron monitoreados.

3.2.2.3.1 Características de la aplicación

- Ventana principal de visualización.
- Despliegue de información accesible al operador.
- Interfaz de aplicación simple y de fácil entendimiento.
- Posibilidad de controlar la intensidad de la iluminación emitida por las luminarias de una forma remota (figura 3.9).



Figura 3.9 Interfaz de los niveles de iluminación.

La lectura mostrada en los cuadros de texto representa el nivel de iluminación (lux) presente en cada punto de censado. Por medio del botón que muestra la última lectura de medición (figura 3.8) se obtienen los últimos datos de iluminación monitoreados guardados por última vez.

En general el sistema de monitoreo de variables lumínicas requiere de una operación relativamente sencilla ya que cada lectura de los sensores se observa en su respectivo cuadro de texto, presionando el botón “Leer sensores” donde es creado un archivo de texto que muestra los datos pertenecientes al censo realizado por el sistema en ese instante.

En el archivo de texto contiene la siguiente información:

- Número de sensor que monitorea la iluminancia.
- Hora de monitoreo de la fecha en que se realizó.
- Por cada sensor se despliega el nivel de iluminación y la salida presente por el sensor (Tabla 3.1).

Hora de monitoreo: 12:07:53		
N° de sensor	Iluminancia (lux)	Salida del sensor (V)
1	243	4.9
2	447	8.9
3	213	4.2
4	343	6.8
5	219	4.3
6	337	6.8
7	152	3.2
8	201	3.9
9	231	4.6
10	392	8.2
11	394	7.9
12	419	8.7
13(central superior)	298	6
14 (externo)	1127	21.2

Tabla 3.1 Niveles de iluminación adquiridos por el sistema de monitoreo.

Para hacer un control de forma remota de la intensidad de la iluminación, basta con desplazar la barra para poder incrementar o atenuar la intensidad de luz proporcionada por las luminarias generando diversos escenarios que ayudan en el análisis y permite establecer en nivel óptimo requerido al interior del aula o edificio de análisis.

El registro del monitoreo de la iluminación se da mediante un archivo de texto generado, el cual contiene los valores de los censados en el día y horario en que es realizado el monitoreo. La consulta del registro se facilita mediante el calendario ubicado en la esquina superior izquierda de la ventana, donde se selecciona el día del cual se requiera conocer los resultados de el monitoreo, siempre que este haya sido realizado en la fecha seleccionada.

El sistema de monitoreo muestra los datos verídicos, esto se conoce debido a que las lecturas que se presentan en los cuadros de texto se verificaron mediante la comparación de estos datos con los proporcionados con luxómetros HANNA HI97500 y el LI-COR 250. Esta verificación fue realizada considerando que estos instrumentos de medición son de alta precisión ($\pm 6\%$).

3.3 Estrategia de monitoreo y registro de los índices de iluminación

Los 4 índices son medidos en base a las consideraciones teóricas mostradas en el capítulo 2.

El monitoreo de variables luminicas se lleva a cabo de una forma mucho más simple que el método común de adquisición de datos, el cual es llevado a cabo de una forma manual tal y como se menciona en las consideraciones teóricas. El sistema de monitoreo de índices de iluminación permite la adquisición de datos automáticamente, reduciendo la dificultad, el tiempo y mejorando la exactitud y confiabilidad de los resultados.

Mediante el sistema de monitoreo son censadas y registradas las variables luminicas, cada una por separado, esto debido a que cada medición se realiza de una forma distinta pero todas bajo el mismo principio de medición.

La adquisición de datos de iluminación se realizó en día diferente para cada aula de monitoreo a la misma hora y con características de clima similares, con la finalidad de que la iluminación proveniente del exterior del edificio no afecte los valores adquiridos.

Se realizó la adquisición de los datos pertenecientes a los cuatro índices de iluminación. De tres diferentes métodos:

- 1) Luminarias apagadas con persianas y puerta abiertas.
- 2) Luminarias prendidas con persianas y puerta abiertas.
- 3) Luminarias prendidas con persianas y puerta cerradas.

Para el monitoreo de variables lumínicas no es necesario realizar el monitoreo con un periodo de muestreo, ya que los índices de iluminación son características cualitativas propias del interior del edificio. Realizar la adquisición de datos con un periodo de muestreo no genera la variación en magnitud de los índices de iluminación.

3.3.1 Iluminancia

Es la variable con mayor facilidad de monitoreo, esto debido a que se solo necesita realizar la adquisición de valores con los sensores colocados en posición del área de trabajo y se prosigue a censar el nivel de iluminación presente mediante el sistema de monitoreo (Figura 3.10).

Originalmente esta variable es medida mediante un sensor de luz común o mediante un luxómetro, de forma manual en cada punto de censado, lo cual hubiera sido más tedioso, tardado y con muchos errores inherentes al método manual. Es por ello que el sistema de monitoreo facilita la adquisición de datos y otorga una mayor precisión.

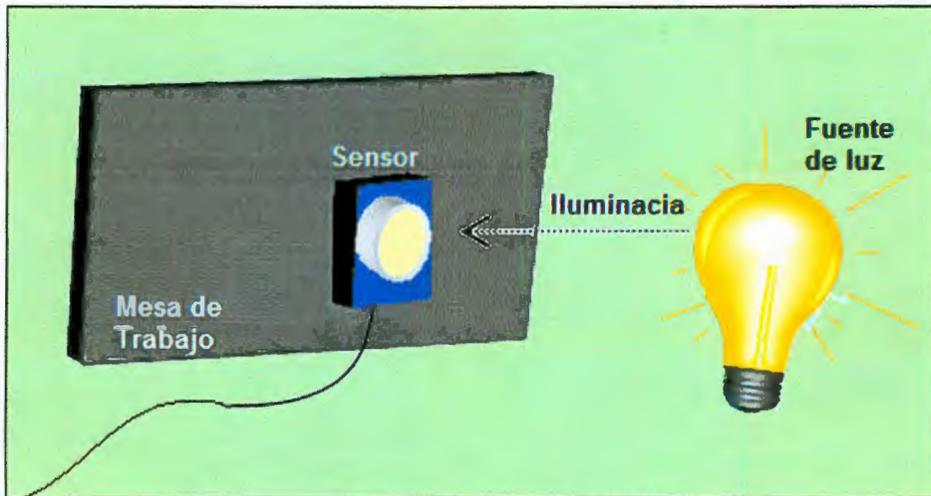


Figura 3.10 Medición del nivel de la iluminación.

Esta metodología es aplicada tanto para el sensor externo como para el sensor central superior ubicado en el techo.

3.3.2 Reflectancia

Para medir el índice de reflexión o reflectancia de una superficie, los 12 sensores de luz colocados en área de trabajo (mesas de trabajo) son colocados a una distancia de entre 5 y 10 cm de la superficie, con la parte sensible del sensor señalando a la mesa de trabajo. El objetivo es poder medir la luminancia reflejada por la superficie del área de trabajo (mesas al interior del aula).

Se hace el monitoreo de luminancia L_A en todos los puntos y se registra (Figura 3.11).

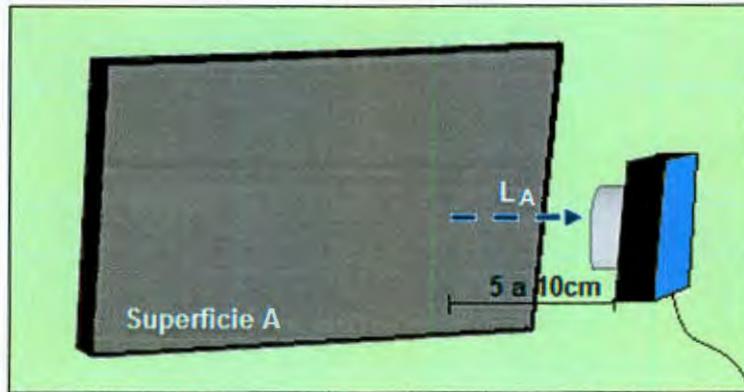


Figura 3.11 Medición de la iluminancia de la superficie A (mesa de trabajo).

Posteriormente se coloca una cartulina blanca de superficie $\geq 35 \times 35$ en cada punto de censado y se vuelven a medir y registrar los niveles de luminancia L_B (Figura 3.12).

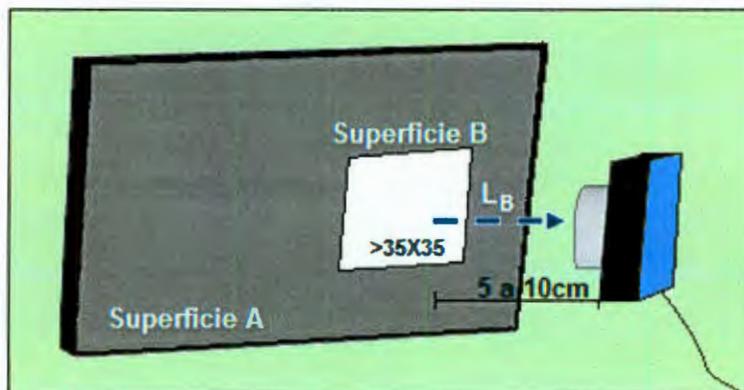


Figura 3.12 Medición de la iluminancia de la superficie B (cartulina blanca).

La reflectancia para cada punto será: $\text{Reflectancia} = 0.8 (L_A/L_B)$. Esta metodología no es aplicada para el sensor externo ni para el superior central.

3.3.3 Distribución de la luminancia en el campo visual

Los sensores del área de trabajo (sensores 1-12) son colocados en sus respectivos puntos de monitoreo. La distancia del sensor a la superficie ahora será la que existe entre la superficie de trabajo y los ojos de los usuarios.

Es realizado el monitoreo y se registró al nivel de los ojos en tres diferentes formas (Figura 3.13):

1. Con la cara sensible del sensor dirigida al centro de la superficie de trabajo.
2. Con la cara sensible del sensor dirigida a los alrededores inmediatos de la superficie de trabajo.
3. Con la cara sensible del sensor dirigida a los alrededores mediatos de la superficie de trabajo.

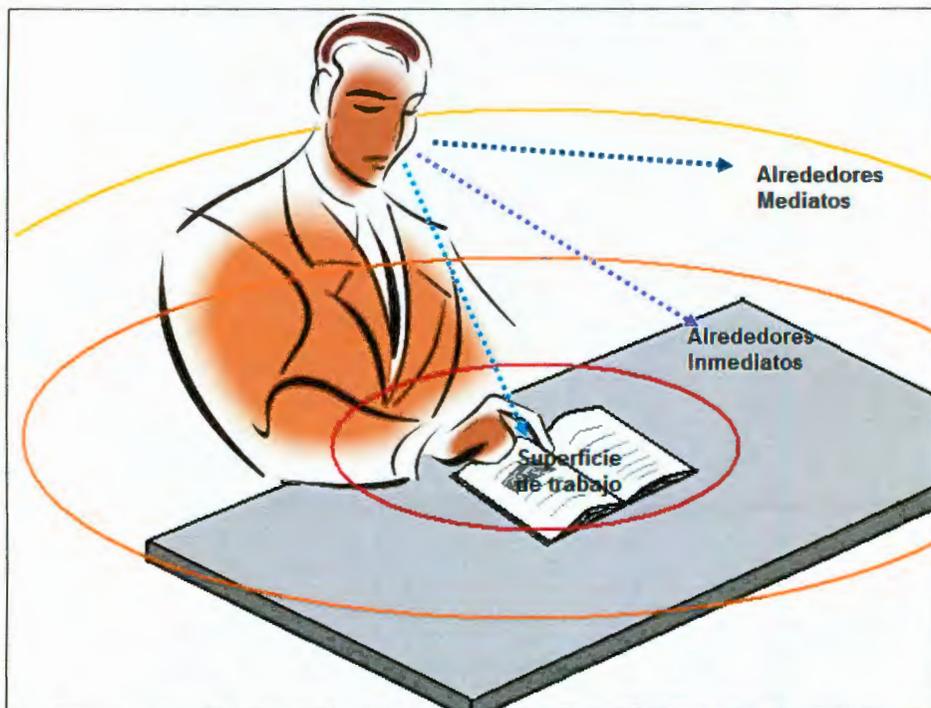


Figura 3.13 Medición de la distribución de la luminancia en el campo visual realizado para cada punto de monitoreo.

Son importantes las luminancias de todas de las superficies y serán determinadas por la reflectancia y la iluminancia en las superficies. Esta metodología no es aplicada para el sensor externo ni para el superior central.

3.3.4 Uniformidad de la luminancia

En cada punto de monitoreo se colocó una cartulina de color negro mate con una forma de ángulo rectángulo (90°). Se colocaron los sensores en encima de su respectiva cartulina y esta se va girando cada 20° hasta completar la vuelta completa. En cada una de las posiciones se realiza el monitoreo y registro de las lecturas para cada sensor (figura 3.14).

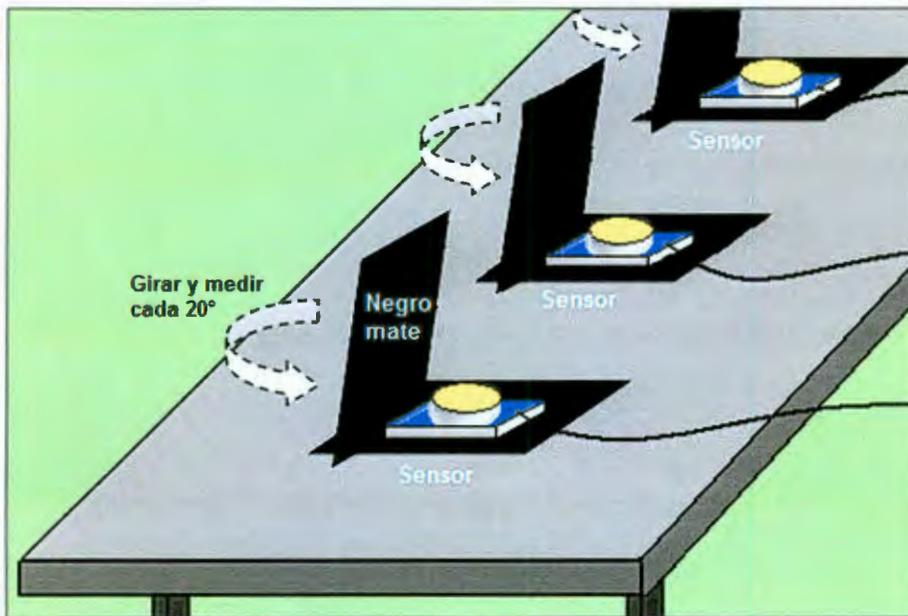


Figura 3.14 Medición de la Uniformidad de la iluminancia en cada punto de monitoreo.

Con la lectura menor y la media de las lecturas en cada punto se obtiene:
Uniformidad de iluminancia = (Lectura menor/Lectura media).

Por las características de esta variable, esta medición no es aplicada para el sensor externo ni para el sensor central superior.

Capítulo 4

RESULTADOS

La metodología utilizada para la adquisición de datos de iluminación fue especificada en el capítulo 3 donde se describe la forma, método y características del monitoreo de una forma más detallada.

Se presentan los resultados obtenidos del monitoreo realizado en 3 aulas de 3 edificios distintos en la Universidad Autónoma de Querétaro; estas son:

1. Aula 21, edificio G de posgrado; Facultad de ingeniería.
2. Aula 2, edificio B de licenciatura; Facultad de ingeniería.
3. Aula 4, edificio F de licenciatura; Facultad de Ciencias Políticas y Sociología.

En cada aula, los datos lumínicos se realizaron en tres combinaciones de iluminación, con la finalidad de simular diferentes escenarios que se presentan en la iluminación interior de los edificios. Esta combinación se realizó mediante el uso de las luminarias y el uso de las persianas.

La primera medición se realizó utilizando solo la luz exterior a través de la puerta y ventanas “Luminarias apagadas con persianas y puertas abiertas” (medición 1), simulando un escenario donde solo la luz diurna ilumina el interior del aula. La medición de los niveles de iluminación con “luminarias prendidas y puerta y ventanas abiertas” (medición 2), que permite mostrar un escenario donde tanto la luz diurna como la proporcionada por las luminarias iluminan el aula. El nivel de iluminación proporcionado solo por las luminarias se puede visualizar como “Luminarias prendidas con persianas y puertas cerradas” (medición 3)

donde simula el escenario que se tiene cuando el aula es utilizada en horario nocturno.

4.1 Índices del entorno luminoso al interior de los edificios

4.1.1 Iluminancia o nivel de la iluminación

Considerando lo establecido en el capítulo 2, donde se establece normativamente que el rango requerido del nivel de iluminación óptimo se encuentra entre los 200 a 500 lux para interiores de aulas educativas, las tablas 4.1, 4.2, 4.3 muestran los niveles de iluminación de las aulas F-4, B-2 y G-21 respectivamente.

4.1.1.1 Iluminancia interior del aula F-4

Tabla 4.1 Niveles de Iluminación registrados al interior del aula F-4.

Punto de Monitoreo	Luminarias <u>apagadas</u> con persianas y puerta <u>abiertas</u> (Medición 1)	Luminarias <u>prendidas</u> con persianas y puertas <u>abiertas</u> (Medición 2)	Luminarias <u>prendidas</u> con persianas y puertas <u>cerradas</u> (Medición 3)
	Iluminancia (lux)		
S1	450	712	304
S2	405	697	336
S3	396	651	310
S4	447	671	309
S5	565	824	341
S6	755	838	322
S7	835	926	233
S8	726	881	247
S9	602	766	235
S10	533	726	244
S11	567	766	258
S12	614	186	232
Sensor Central	594	793	302
Sensor Exterior	122 K	118 K	116 K

Graficando los datos obtenidos (Figura 4.1) se visualiza el comportamiento de la iluminancia en el aula F-4.

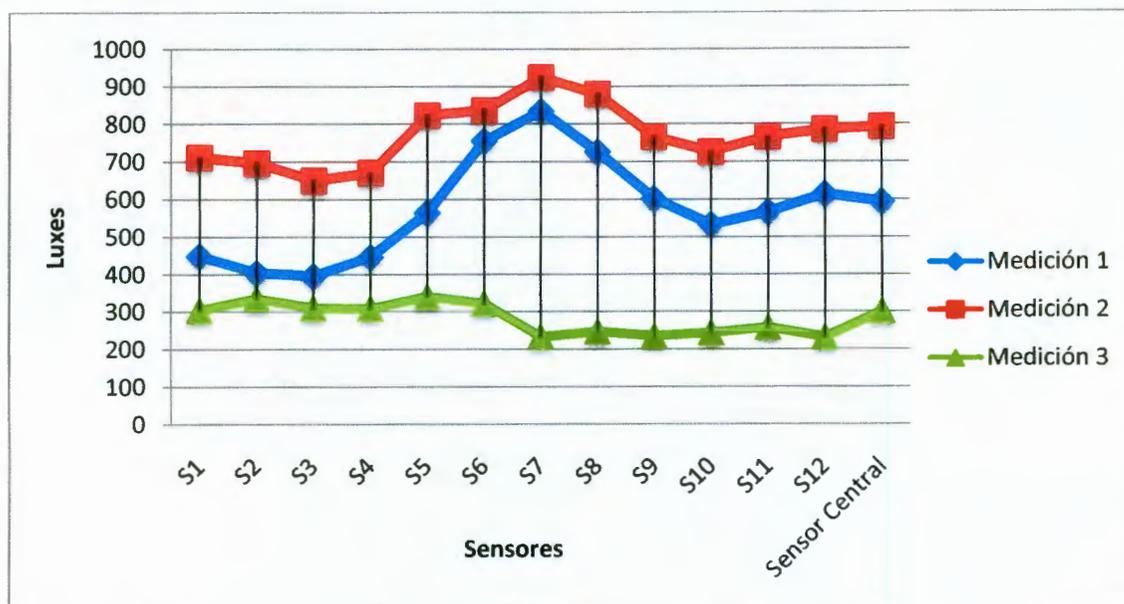


Figura 4.1 Iluminancia interior del aula F-4.

4.1.1.1.1 Análisis de iluminancia del aula F-4

La medición 1 muestra que la puerta y ventanas proporcionan un nivel de iluminación excesivo, esto cuando las luminarias se encuentran apagadas, es por ello que se puede decir que la luz natural que entra al interior del edificio es demasiada y es causa de incomodidad visual para los usuarios del aula, por lo que se debe optar por el uso de persianas a lo largo del día para disminuir la iluminancia generada, considerando que la luz natural es mayormente benéfica tanto psicológica como físicamente para los usuarios.

La medición 3 muestra un escenario de uso del aula en horario nocturno, mantiene el nivel de iluminación estable dentro de los 200 y 350 luxes, por lo que las luminarias por si solas proporcionan un nivel de iluminación adecuado, y por lo tanto no se presenta problemática alguna.

Por otro lado la medición 2 indica que las luminarias encendidas y las persianas y puerta abiertas proporcionan excesiva iluminación considerando que los valores de iluminación sobrepasan por mucho los 500 luxes. Analizando esta medición en conjunto con la medición 1, se puede concluir que a lo largo de un día normal, la luz natural aprovechada de forma eficaz por medio del uso de persianas puede permitir mejorar la comodidad y eficiencia de los usuarios al interior del aula.

4.1.1.2 Iluminancia interior del aula B-2

Tabla 4.2 Niveles de Iluminación registrados al interior del aula B-2.

Punto de Monitoreo	Luminarias <u>apagadas</u> con persianas y puerta <u>abiertas</u> (Medición 1)	Luminarias <u>prendidas</u> con persianas y puertas <u>abiertas</u> (Medición 2)	Luminarias <u>prendidas</u> con persianas y puertas <u>cerradas</u> (Medición 3)
	Iluminancia (lux)		
S1	364	615	271
S2	346	507	262
S3	287	556	272
S4	366	663	309
S5	517	852	321
S6	710	1035	312
S7	382	546	182
S8	324	514	192
S9	262	556	199
S10	228	407	204
S11	216	392	201
S12	332	477	186
Sensor Central	416	673	402
Sensor Exterior	112K	102K	97K

Graficando los datos obtenidos (Figura 4.2) se visualiza el comportamiento de la iluminancia en el aula B-2.

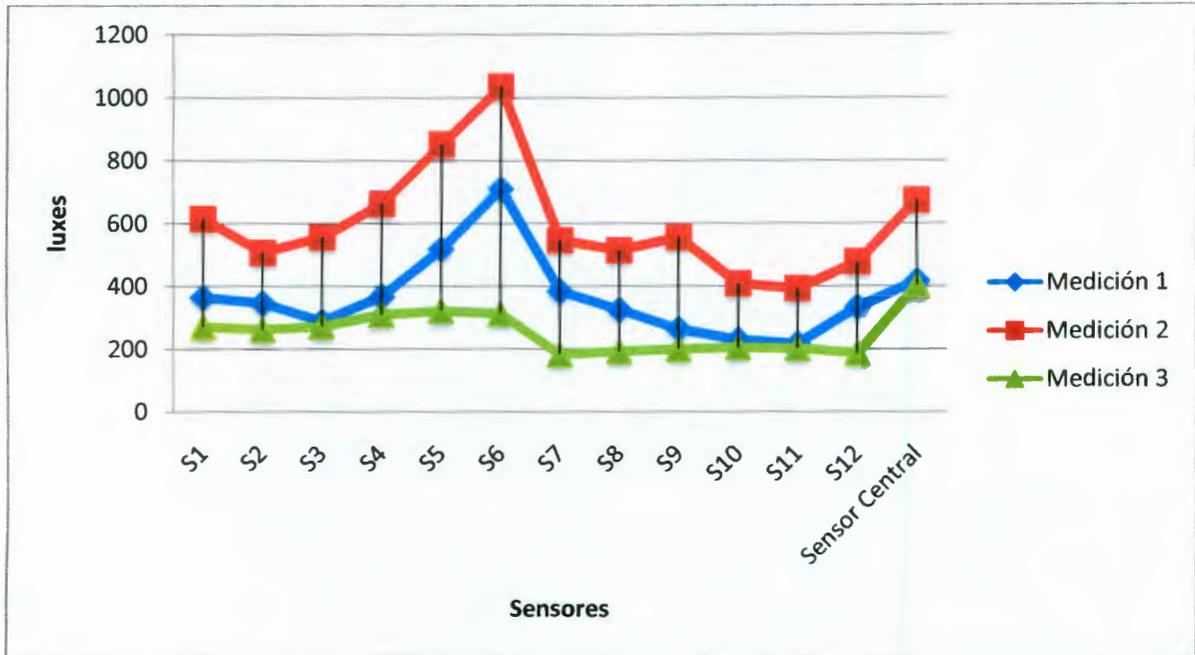


Figura 4.2 Iluminancia interior del aula B-2.

4.1.1.2.1 Análisis de iluminancia del aula B-2

La medición 1 en general muestra que la puerta y ventanas proporcionan un nivel de iluminación adecuado, esto cuando las luminarias se encuentran apagadas. Los picos mostrados en esta medición (Figura 4.2) son debidos al contacto directo con la luz del sol en dichos puntos, esto indica que la orientación geográfica del aula influye en el comportamiento de la iluminación al interior del edificio proporcionada por la luz exterior; es decir, debido a que las ventanas y puerta se encuentran en dirección hacia el poniente y oriente, la luz que entra a través las ventanas incide directamente en algunos puntos de medición.

La medición 3 muestra un escenario de uso del aula en horario nocturno, presenta el nivel de la iluminación bajo ya que en promedio, los valores de iluminancia se encuentran en los 200 lux, el cual es el límite inferior mínimo, debido a ello se puede decir que el nivel de iluminación proporcionado por las luminarias proporciona el nivel de iluminación mínimo requerido.

La medición 2 indica que las luminarias encendidas y las persianas y puerta abiertas proporcionan excesiva iluminación considerando que los valores de iluminación sobrepasan por mucho los 500 luxes en varios puntos de medición. Por lo que es necesario compensar el nivel de iluminación con el uso de las persianas.

Considerando la trayectoria conocida que tiene el sol a lo largo del día, fue seleccionado el aula B-2 debido a su orientación geográfica (ubicación de las ventanas en oriente y poniente). Observando los resultados se puede concluir que la orientación geográfica de los edificios influye en la iluminación natural adquirida por medio de las ventanas, produciendo picos de iluminación excesiva en varios puntos de incidencia.

4.1.1.3 Iluminancia interior del aula G-21

Tabla 4.3 Niveles de Iluminación registrados al interior del aula G-21.

Punto de Monitoreo	Luminarias <u>apagadas</u> con persianas y puerta <u>abiertas</u> (Medición 1)	Luminarias <u>prendidas</u> con persianas y puertas <u>abiertas</u> (Medición 2)	Luminarias <u>prendidas</u> con persianas y puertas <u>cerradas</u> (Medición 3)
	Iluminancia (luxes)		
S1	295	480	311
S2	276	432	293
S3	238	344	237
S4	215	337	252
S5	196	380	292
S6	184	330	258
S7	203	317	237
S8	217	373	278
S9	247	351	231
S10	290	395	218
S11	320	540	275
S12	405	584	294
Sensor Central	232	391	223
Sensor Exterior	99K	98K	122K

Graficando los datos obtenidos (figura 4.3) es posible visualizar el comportamiento de la iluminancia en el aula G-21.

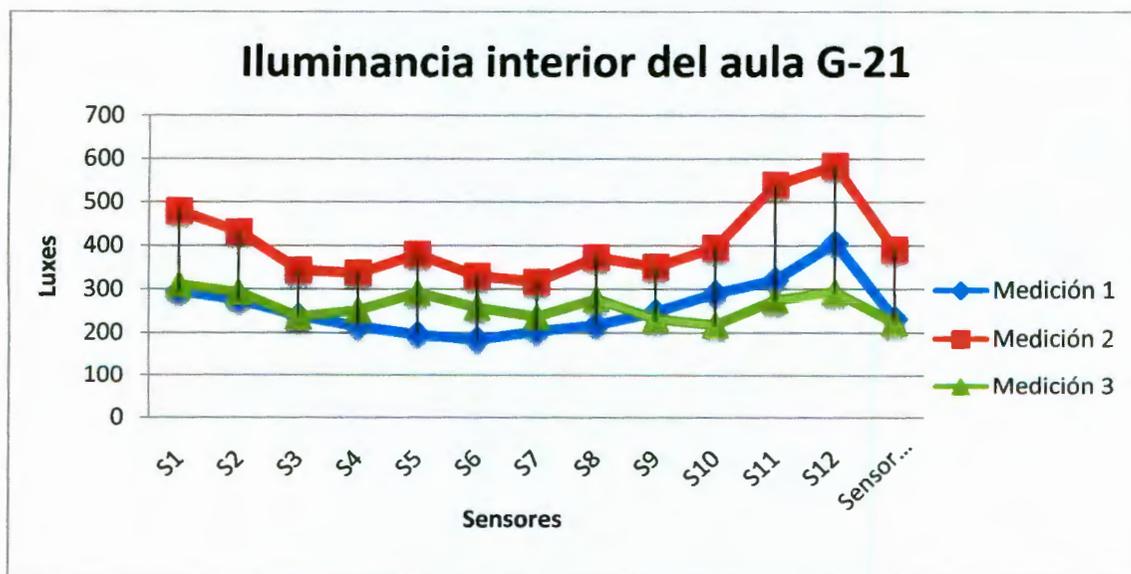


Figura 4.3 Iluminancia interior del aula G-21.

4.1.1.3.1 Análisis de iluminancia del aula G-21

La medición 1 muestra que la puerta y ventanas apenas y proporcionan los niveles de iluminación adecuados cuando las luminarias se encuentran apagadas y las persianas y puerta se encuentran abiertas, es por ello que la insuficiencia de luz debe de ser compensada con el uso de la luz artificial.

La medición 3 mantiene el nivel de iluminación apenas por arriba de los 200 luxes por lo que las luminarias por si solas proporcionan un nivel de iluminación adecuado pero se tiene la desventaja de que apenas y se alcanzan dichos niveles.

Por otro lado la medición 2 indica que las luminarias encendidas y las persianas y puerta abiertas proporcionan el nivel de iluminación óptimo ya que los valores de iluminación se encuentran por arriba de los 200 luxes y aunque existen puntos donde se superan los 500 lux debido al contacto directo con la luz exterior a través de las ventanas, es aceptable considerando el nivel de iluminación de todos los puntos en promedio.

En cuanto a niveles de iluminación; el edificio G-21 presenta la problemática de insuficiencia de luz natural, lo cual produce un mayor uso de la luz artificial y genera un mayor consumo de energía eléctrica e influye en el estado de ánimo y de alerta de los usuarios.

La orientación del edificio es adecuada, considerando los resultados obtenidos en el aula B-2, donde los niveles de iluminación fueron afectados.

4.1.2 Reflectancia en la superficie de trabajo

La metodología de monitoreo referente a la reflectancia mostrada en el capítulo 3, especifica que este índice es medido a la altura de la zona de trabajo, por lo que solo son considerados los puntos de censado correspondiente.

La cantidad de luz reflejada por una superficie u objeto (mesa, pared, etc.) que es recibida por el ojo humano, se refiere a una luminancia indirecta. Los valores de reflectancia óptimos para los planos de trabajo de interiores según la norma, se encuentran entre un 20% y un 60%.

La finalidad del análisis de esta variable es establecer el equilibrio necesario entre el contraste y el deslumbramiento ya que son parámetros que se encuentran muy relacionados con el brillo del objeto y el brillo del fondo del mismo. De forma general se puede afirmar que a mayor contraste se requiere menor tiempo para distinguir un objeto y la percepción es mejor. Esta afirmación debe orientar tanto el diseño como el reacondicionamiento ya que si se generan contrastes demasiado elevados entre las diferentes superficies se puede caer en el deslumbramiento.

El índice de reflexión de la luz en el área de trabajo se da en base a las características propias del área. Es decir la variación de los niveles de iluminación prácticamente no afecta esta variable debido a que esta se da en base al cociente de dos valores de iluminancias de un mismo punto con características de adquisición distintas. Es posible visualizar esto al comparar los valores en las columnas de la tabla de valores registrados de cada aula; Se observa que sin importar que las luminarias del aula estén encendidas o apagadas y las persianas y puerta estén abiertas o cerradas la reflexión de la luz en las mesas de trabajo prácticamente se conserva. Es necesario aclarar que no se está afirmando que la reflectancia es la misma a cualquier nivel de iluminación, si no que los niveles de iluminación no afectan esta variable.

El índice de reflexión de la luz es afectada por la opacidad, el color de la superficie de trabajo y paredes, así como también del ángulo en que la luz impacta en la superficie del área de trabajo, es por ello que al modificar las características de la iluminación por medio de las ventanas, luminarias y persianas, genera una variación de los valores de reflectancia considerando que las ventanas y puerta se encuentran ubicadas lateralmente y las luminarias se encuentran ubicadas en el techo del aula.

4.1.2.1 Índice de reflectancia al interior del aula F-4

Tabla 4.4 Reflectancia registrada al interior del aula F-4.

Punto de Monitoreo	Luminarias <u>apagadas</u> con persianas y puerta <u>abiertas</u>			Luminarias <u>prendidas</u> con persianas y puertas <u>abiertas</u>			Luminarias <u>prendidas</u> con persianas y puertas <u>cerradas</u>		
	LA	LB	Reflectancia (R1)	LA	LB	Reflectancia (R2)	LA	LB	Reflectancia (R3)
S1	380	305	89.67%	415	460	72.17%	154	173	71.21%
S2	367	280	94.86%	433	453	76.47%	202	196	82.45%
S3	269	260	82.77%	427	450	75.91%	196	194	80.82%
S4	205	290	56.55%	325	454	57.27%	141	190	59.37%
S5	260	353	58.92%	338	490	55.18%	145	187	62.03%
S6	310	380	65.26%	451	518	69.65%	167	178	75.06%
S7	357	508	56.22%	409	547	59.82%	96	125	61.44%
S8	480	512	75.00%	549	463	94.86%	141	141	80.00%
S9	365	445	65.62%	402	413	77.87%	130	149	69.80%
S10	385	404	76.24%	446	417	85.56%	163	159	82.01%
S11	383	388	78.97%	320	286	89.51%	163	159	82.01%
S12	400	404	79.21%	234	236	79.32%	143	141	81.13%

Al graficar los datos obtenidos (figura 4.4) se visualiza el comportamiento del índice de reflectancia en el aula F-4.

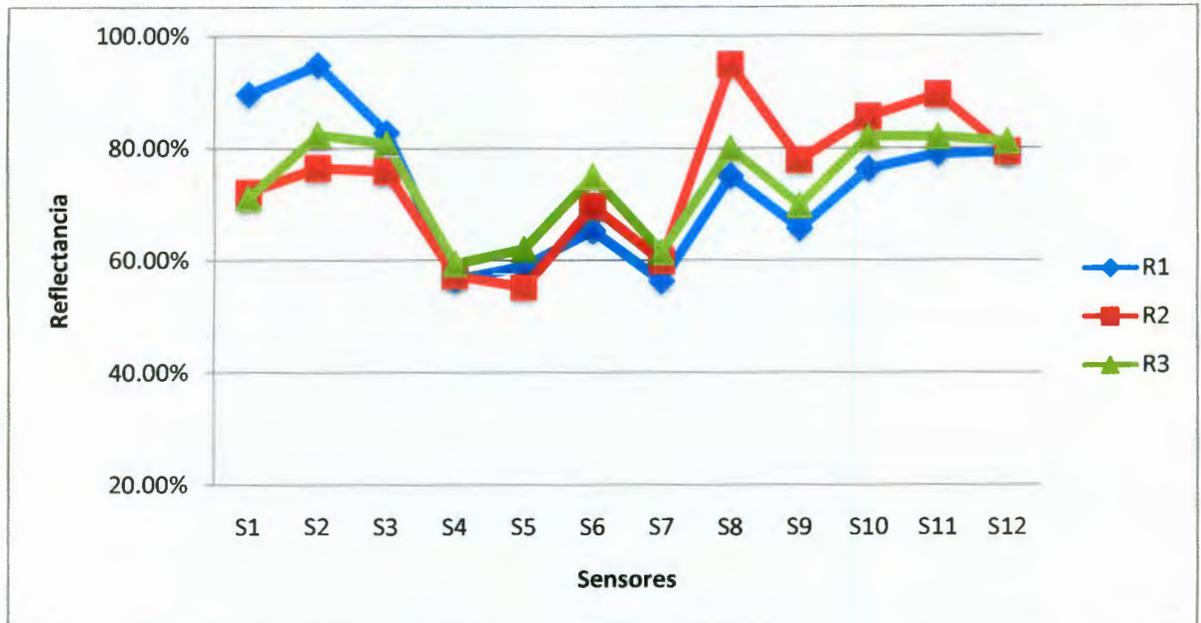


Figura 4.4 Índice de reflectancia al interior del aula F-4.

4.1.2.1.1 Análisis de la reflectancia al interior del aula F-4

En la figura 4.4 se observa el comportamiento de las tres reflectancias al interior del aula F-4 para los puntos de monitoreo. Las tres líneas de la grafica tienen un comportamiento muy similar, esto debido que el nivel de iluminación variante en los diferentes modos de medición, afecta de forma mínima el índice de reflectancia.

El aula presenta una ligera variación con respecto al rango óptimo requerido (reflectancia de entre 20 y 60%) ya que varios puntos tienen un índice de reflectancia por arriba del 60%.

Considerando las características de aula, los resultados son esperados, esto debido a que al interior del aula F-4 se tiene colores con tonalidades demasiado claras, las paredes tienen un color amarillo claro con persianas de tela que impiden el paso de luz de forma parcial cuando cubren las ventanas. La tonalidad clara de la madera y el barnizado que presentan las mesas propicia que la luz se refleje demasiado cuando esta incide sobre la superficie de trabajo.

Utilizando mesas con color claro pero con tonalidades opacas, elimina el brillo que se genera en la superficie de las mesas de trabajo, disminuyendo notoriamente la reflectancia en la superficie.

4.1.2.2 Índice de reflectancia al interior del aula B-2

Tabla 4.5 Reflectancia registrada al interior del aula B-2.

Punto de Monitoreo	Luminarias <u>apagadas</u> con persianas y puerta <u>abiertas</u>			Luminarias <u>prendidas</u> con persianas y puertas <u>abiertas</u>			Luminarias <u>prendidas</u> con persianas y puertas <u>cerradas</u>		
	L1	L2	Reflectancia (R1)	L1	L2	Reflectancia (R2)	L1	L2	Reflectancia (R3)
S1	150	278	43.17%	211	394	42.84%	57	120	38.00%
S2	99	191	41.47%	173	363	38.13%	67	129	41.55%
S3	111	211	42.09%	191	360	42.44%	69	147	37.55%
S4	133	272	39.12%	226	425	42.54%	64	146	35.07%
S5	193	359	43.01%	293	581	40.34%	74	151	39.21%
S6	283	566	40.00%	436	765	45.59%	69	130	42.46%
S7	138	282	39.15%	161	342	37.66%	50	99	40.40%
S8	147	257	45.76%	165	302	43.71%	53	107	39.63%
S9	111	197	45.08%	157	276	45.51%	53	110	38.55%
S10	98	176	44.55%	148	278	42.59%	55	117	37.61%
S11	89	161	44.22%	135	262	41.22%	55	115	38.26%
S12	112	221	40.54%	158	327	38.65%	51	108	37.78%

Al graficar los datos obtenidos (figura 4.5) es posible visualizar el comportamiento del índice de reflectancia en el aula B-2.

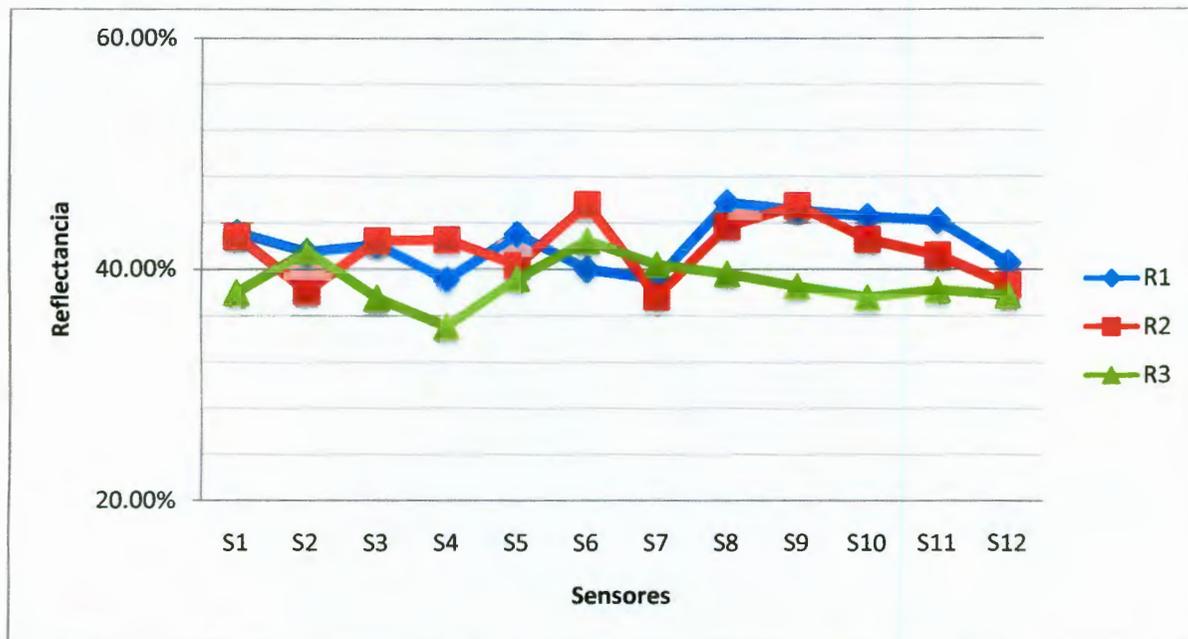


Figura 4.5 Índice de reflectancia al interior del aula B-2.

4.1.2.2.1 Análisis de la reflectancia al interior del aula B-2

El aula B-2 presenta los mejores resultados con respecto a esta variable, esto debido a que todos los valores de reflectancia adquiridos se encuentran dentro de lo establecido por la norma.

Al interior del aula se tiene mesas con una tonalidad en madera clara aparente al igual que en el aula F-4, la diferencia que tiene la superficie de las mesas con respecto al aula F-4 es el brillo. Las mesas opacas del aula B-2 con tonalidad en madera clara genera una reflectancia óptima para la superficie de trabajo, concluyendo que lo ideal para las aulas de clase, es mesas de trabajo con estas características en su superficie.

4.1.2.3 Índice de reflectancia al interior del aula G-21

Tabla 4.6 Reflectancia registrada al interior del aula G-21.

Punto de Monitoreo	Luminarias <u>apagadas</u> con persianas y puerta <u>abiertas</u>			Luminarias <u>prendidas</u> con persianas y puertas <u>abiertas</u>			Luminarias <u>prendidas</u> con persianas y puertas <u>cerradas</u>		
	L1	L2	Reflectancia	L1	L2	Reflectancia	L1	L2	Reflectancia
S1	18	122	11.80%	49	306	12.81%	0.028	0.191	11.73%
S2	23	114	16.14%	69	321	17.20%	0.026	0.173	12.02%
S3	23	97	18.97%	75	266	22.56%	0.021	0.147	11.43%
S4	21	80	21.00%	54	236	18.31%	0.023	0.16	11.50%
S5	20	67	23.88%	42	228	14.74%	0.025	0.18	11.11%
S6	13	56	18.57%	46	210	17.52%	0.022	0.14	12.57%
S7	12	71	13.52%	30	191	12.57%	0.019	0.133	11.43%
S8	20	87	18.39%	39	232	13.45%	0.02	0.148	10.81%
S9	21	108	15.56%	46	238	15.46%	0.02	0.132	12.12%
S10	35	151	18.54%	56	271	16.53%	0.021	0.136	12.35%
S11	49	221	17.74%	68	342	15.91%	0.025	0.161	12.42%
S12	57	348	13.10%	77	492	12.52%	0.027	0.158	13.67%

Al graficar los datos obtenidos (figura 4.6) es posible visualizar el comportamiento del índice de reflectancia en el aula G-21.

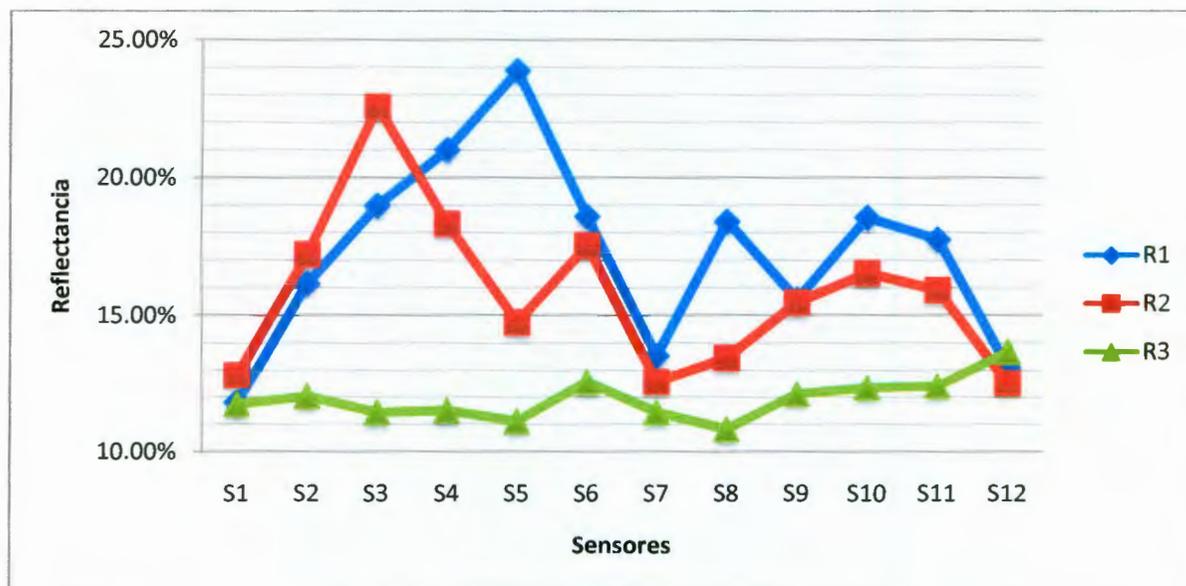


Figura 4.6 Índice de reflectancia al interior del aula G-21.

4.1.2.3.1 Análisis de la reflectancia al interior del aula G-21

En la figura 4.6 se observa que varios puntos del índice de reflectancia se encuentran por debajo del 20%. Esto es esperado debido a que a pesar de que al interior del edificio las paredes son de un color blanco, las mesas son de color gris opaco, lo cual genera que la reflexión de la luz disminuya con respecto a la reflectancia obtenida de las otras aulas de monitoreo.

Es necesario que el área de trabajo en los edificios tenga colores con tonalidades claras que permitan la reflexión. La opacidad de la superficie es importante ya que una superficie que genera brillo genera también mayor reflexión de la luz, en cambio las superficies opacas con tonalidad clara producen los índices de reflectancia en apoyo a la comodidad lumínica visual, como ejemplo de ello se tiene el aula B-2 que presenta estas características obteniendo con ello los niveles de reflectancia requerido.

La reflexión de las fuentes de luz sobre superficies reflectantes como planos de trabajo, genera deslumbramientos que ocasiona molestia a la visión y provoca una disminución en la percepción visual de los usuarios.

Se deben eliminar los reflejos molestos utilizando superficies de trabajo mates y asegurar una buena distribución de las luminarias esto con la finalidad de reducir los efectos deslumbramiento indirecto.

Deberían evitarse luminancias demasiado elevada que pueden dar lugar a deslumbramientos así como contrastes de luminancia demasiado altos que causarán fatiga debido a la readaptación constante de los ojos. Luminancias demasiado bajas y contrastes de luminancias demasiado bajas que dan como resultado un ambiente de trabajo monótono y no estimulante.

Para reducir los efectos de deslumbramiento producido por la reflexión se deben eliminar los reflejos molestos utilizando superficies de trabajo mates y asegurar una buena distribución de las luminarias.

4.1.3 Distribución de la luminancia en el campo visual

La distribución de la luminancia al interior de un edificio, es una característica del área de trabajo al interior del edificio. En el caso de las aulas educativas, las mesas de trabajo y sus alrededores son el lugar donde las personas concentran mayormente la atención visual. Considerando esto, la adquisición de datos se da solo en los puntos de la superficie del área de trabajo.

Al igual que el índice de reflectancia en una superficie, una distribución de la luminancia pobre genera deslumbramiento indirecto, es decir deslumbramientos producidos por la reflexión de la luz en las superficies.

En relación a esta variable son consideradas aceptables las relaciones de luminancias entre el plano de trabajo y los alrededores inmediatos y mediatos inferiores o iguales a 1:3:10 cuando la superficie de trabajo es la de menor luminancia respecto a los alrededores y inferiores o iguales a 10:3:1 cuando la superficie de trabajo es la de mayor luminancia respecto a los alrededores.

Las luminancias indirectas presentes en el campo visual al interior de los edificios analizados presentan buena distribución. En las tablas 4.7, 4.8 y 4.9 se observa los valores de luminancia obtenidos para los diferentes modos de adquisición de datos en cada edificio respectivamente. La columna "relación de luminancias" indica la distribución existente para cada punto de monitoreo donde se observa que la luminancia del área de trabajo es menor con respecto a los alrededores inmediatos y mediatos por lo que se considera la relación menor o igual 1:3:10 debido a que la superficie de trabajo es la de menor luminancia respecto a los alrededores.

4.1.3.1 Distribución de la luminancia al interior del aula F-4

Tabla 4.7 Registro de la distribución de la luminancia en el aula F-4.

Luminarias <u>apagadas</u> con persianas y puerta <u>abiertas</u>				
Punto de Monitoreo	Superficie de Trabajo (lux)	Alrededores inmediatos (lux)	Alrededores mediatos (lux)	Relación de luminancia
S1	303	426	500	1 : 1.4 : 1.7
S2	412	450	472	1 : 1.1 : 1.1
S3	350	423	450	1 : 1.2 : 1.3
S4	300	440	456	1 : 1.5 : 1.5
S5	262	286	422	1 : 1.1 : 1.6
S6	407	437	627	1 : 1.1 : 1.5
S7	445	472	697	1 : 1.1 : 1.6
S8	477	534	624	1 : 1.1 : 1.3
S9	481	608	745	1 : 1.3 : 1.5
S10	460	695	653	1 : 1.5 : 1.4
S11	430	563	634	1 : 1.3 : 1.5
S12	508	543	664	1 : 1.1 : 1.3

Luminarias <u>prendidas</u> con persianas y puertas <u>abiertas</u>				
Punto de Monitoreo	Superficie de Trabajo (lux)	Alrededores inmediatos (lux)	Alrededores mediatos (lux)	Relación de luminancia
S1	395	546	622	1 : 1.4 : 1.6
S2	451	470	685	1 : 1 : 1.5
S3	394	592	625	1 : 1.5 : 1.6
S4	413	693	708	1 : 1.7 : 1.7
S5	426	566	754	1 : 1.3 : 1.8
S6	546	680	995	1 : 1.2 : 1.8
S7	416	508	761	1 : 1.2 : 1.8
S8	573	602	691	1 : 1.1 : 1.2
S9	517	561	603	1 : 1.1 : 1.2
S10	512	711	850	1 : 1.4 : 1.7
S11	644	742	819	1 : 1.2 : 1.3
S12	600	676	888	1 : 1.1 : 1.5

Luminarias <u>prendidas</u> con persianas y puertas <u>cerradas</u>				
Punto de Monitoreo	Superficie de Trabajo (lux)	Alrededores inmediatos (lux)	Alrededores mediatos (lux)	Relación de luminancia
S1	149	162	225	1 : 1.1 : 1.5
S2	152	169	243	1 : 1.1 : 1.6
S3	158	163	225	1 : 1 : 1.4
S4	141	153	209	1 : 1.1 : 1.5
S5	131	183	240	1 : 1.4 : 1.8
S6	138	164	222	1 : 1.2 : 1.6
S7	83	102	165	1 : 1.2 : 2
S8	119	142	176	1 : 1.2 : 1.5
S9	128	137	177	1 : 1.1 : 1.4
S10	133	158	190	1 : 1.2 : 1.4
S11	146	168	204	1 : 1.2 : 1.4
S12	131	145	178	1 : 1.1 : 1.4

4.1.3.1.1 Análisis de la Distribución de la luminancia al interior del aula F-4

En promedio la distribución de la luminancia para esta aula se encuentra dentro del intervalo de valores requerido, por lo que no se presentan problemas de deslumbramiento indirecto que pudiera ser producido por esta variable.

Las mediciones realizadas mediante la combinación de persianas puerta y luminarias, no muestran una variación los datos registrados por lo que se puede concluir que la forma de iluminación del las aulas no afecta la distribución de la luminancia.

4.1.3.2 Distribución de la luminancia al interior del aula B-2

Tabla 4.8 Registro de la distribución de la luminancia en el aula B-2.

Luminarias <u>apagadas</u> con persianas y puerta <u>abiertas</u>				
Punto de Monitoreo	Superficie de Trabajo (lux)	Alrededores inmediatos (lux)	Alrededores mediatos (lux)	Relación de luminancia
S1	132	210	268	1 : 1.6 : 2
S2	135	169	350	1 : 1.3 : 2.6
S3	130	166	178	1 : 1.3 : 1.4
S4	142	160	189	1 : 1.1 : 1.3
S5	170	189	220	1 : 1.1 : 1.3
S6	200	226	277	1 : 1.1 : 1.4
S7	152	166	211	1 : 1.1 : 1.4
S8	150	175	195	1 : 1.2 : 1.3
S9	112	145	171	1 : 1.3 : 1.5
S10	103	134	152	1 : 1.3 : 1.5
S11	102	145	163	1 : 1.4 : 1.6
S12	135	181	193	1 : 1.3 : 1.4

Luminarias <u>prendidas</u> con persianas y puertas <u>abiertas</u>				
Punto de Monitoreo	Superficie de Trabajo (lux)	Alrededores inmediatos (lux)	Alrededores mediatos (lux)	Relación de luminancia
S1	206	267	323	1 : 1.3 : 1.6
S2	205	315	390	1 : 1.5 : 1.9
S3	213	227	280	1 : 1.1 : 1.3
S4	237	272	315	1 : 1.1 : 1.3
S5	257	276	358	1 : 1.1 : 1.4
S6	246	314	408	1 : 1.3 : 1.7
S7	195	227	333	1 : 1.2 : 1.7
S8	198	236	296	1 : 1.2 : 1.5
S9	171	266	290	1 : 1.6 : 1.7
S10	154	187	256	1 : 1.2 : 1.7
S11	159	246	270	1 : 1.5 : 1.7
S12	153	221	261	1 : 1.4 : 1.7

Luminarias <u>prendidas</u> con persianas y puertas <u>cerradas</u>				
Punto de Monitoreo	Superficie de Trabajo (lux)	Alrededores inmediatos (lux)	Alrededores mediatos (lux)	Relación de luminancia
S1	74	78	104	1 : 1.1 : 1.4
S2	79	91	123	1 : 1.2 : 1.6
S3	80	90	121	1 : 1.1 : 1.5
S4	79	98	109	1 : 1.2 : 1.4
S5	78	93	106	1 : 1.2 : 1.4
S6	76	83	85	1 : 1.1 : 1.1
S7	46	74	93	1 : 1.6 : 2
S8	53	67	107	1 : 1.3 : 2
S9	50	66	105	1 : 1.3 : 2.1
S10	55	86	107	1 : 1.6 : 1.9
S11	53	67	100	1 : 1.3 : 1.9
S12	60	83	105	1 : 1.4 : 1.8

4.1.3.2.1 Análisis de la distribución de la luminancia al interior del aula B-2

Al igual que el aula F-4, la distribución de la luminancia para esta aula se encuentra dentro del lo establecido normativamente debido que todas las relaciones de luminancias son menores a 1:3:10, cuando la superficie de trabajo es la menor luminancia, por lo que no se presentan problemas de deslumbramiento indirecto que pudiera ser producido por este índice de iluminación.

La orientación geográfica de los edificios no es un factor que influya en los en los deslumbramiento producidos las luminancias en las superficies de trabajo. La tabla 4.8 la cual pertenece al aula B-2, muestra que no hay una diferencia en los valores adquiridos de esta aula con respecto a las otras, que pudiera ser producida por la orientación geográfica del aula, considerando que si existiera una variación, esta tendría un efecto solo en los datos lumínicos con persianas y puertas abiertas.

4.1.3.3 Distribución de la luminancia al interior del aula G-21

Tabla 4.9 Registro de la distribución de la luminancia del aula G-21.

Luminarias <u>apagadas</u> con persianas y puerta <u>abiertas</u>				
Punto de Monitoreo	Superficie de Trabajo (lux)	Alrededores inmediatos (lux)	Alrededores mediatos (lux)	Relación de luminancia
S1	80	88	170	1 : 1.1 : 2.1
S2	79	80	155	1 : 1 : 2
S3	69	77	126	1 : 1.1 : 1.8
S4	59	87	106	1 : 1.5 : 1.8
S5	61	88	96	1 : 1.4 : 1.6
S6	65	84	90	1 : 1.3 : 1.4
S7	57	93	99	1 : 1.6 : 1.7
S8	61	125	95	1 : 2 : 1.6
S9	61	97	108	1 : 1.6 : 1.8
S10	72	86	153	1 : 1.2 : 2.1
S11	98	81	181	1 : 0.8 : 1.8
S12	122	96	242	1 : 0.8 : 2

Luminarias <u>prendidas</u> con persianas y puertas <u>abiertas</u>				
Punto de Monitoreo	Superficie de Trabajo (lux)	Alrededores inmediatos (lux)	Alrededores mediatos (lux)	Relación de luminancia
S1	149	192	265	1 : 1.3 : 1.8
S2	145	183	258	1 : 1.3 : 1.8
S3	148	166	217	1 : 1.1 : 1.5
S4	130	206	233	1 : 1.6 : 1.8
S5	121	166	200	1 : 1.4 : 1.7
S6	123	180	202	1 : 1.5 : 1.6
S7	125	208	229	1 : 1.7 : 1.8
S8	136	213	293	1 : 1.6 : 2.2
S9	139	153	197	1 : 1.1 : 1.4
S10	140	142	250	1 : 1 : 1.8
S11	195	253	294	1 : 1.3 : 1.5
S12	302	360	410	1 : 1.2 : 1.4

Luminarias <u>prendidas</u> con persianas y puertas <u>cerradas</u>				
Punto de Monitoreo	Superficie de Trabajo (lux)	Alrededores inmediatos (lux)	Alrededores mediatos (lux)	Relación de luminancia
S1	83	92	125	1 : 1.1 : 1.5
S2	69	102	133	1 : 1.5 : 1.9
S3	52	65	111	1 : 1.3 : 2.1
S4	54	73	117	1 : 1.4 : 2.2
S5	56	70	115	1 : 1.3 : 2.1
S6	56	77	107	1 : 1.4 : 1.9
S7	58	67	114	1 : 1.2 : 2
S8	51	64	101	1 : 1.3 : 2
S9	58	82	102	1 : 1.4 : 1.8
S10	63	75	114	1 : 1.2 : 1.8
S11	69	73	138	1 : 1.1 : 2
S12	67	79	155	1 : 1.2 : 2.3

4.1.3.3.1 Análisis de la Distribución de la luminancia al interior del aula G-21

De igual forma como se dio en las otras aulas de monitoreo, la distribución de la luminancia para esta aula se encuentra dentro de lo establecido normativamente debido que todas las relaciones de luminancias son menores a 1:3:10, por lo que no se presentan problemas de deslumbramiento indirecto que pudiera ser por una mala distribución de la luminancias en el campo visual.

En la tabla 4.9 se observa que la luminancia varía cuando se realiza la combinación de luminarias encendidas o apagadas y persianas y puerta abiertas o cerradas. Esto es de esperarse debido a que la iluminancia que llega a las mesas de trabajo es variada con dicha combinación, pero la distribución de la luminancia en el campo visual no se ve afectado por estas variaciones, por lo tanto utilizando la luz natural, luz artificial al caer la noche o una combinación de estas, el campo visual de los usuarios en los salones clase no presentara deslumbramientos molestos al nivel del área de trabajo.

No es suficiente contar solo con buenos niveles de iluminación, para asegurar tener una comodidad visual se debe mantener un equilibrio entre la luminancia del objeto y las correspondientes a las diferentes superficies comprendidas dentro del campo visual.

4.1.4 Uniformidad de la iluminancia

Es realizado el análisis basándose en lo que establece la norma de iluminación la cual establece que la uniformidad de iluminancia al interior de las aulas de clase debe estar por arriba del 70%.

La metodología utilizada para la adquisición los datos lumínicos se mostro en el capítulo 3. Las tablas 4.10, 4.11 y 4.12 muestran los datos adquiridos de la uniformidad de la luminancia para las aulas F-4, B-2 y G-21 respectivamente.

Cada columna de las tablas muestra la posición en grados de la cartulina de color negro mate con una forma de ángulo rectángulo que fue girada cada 20° en todos los puntos de monitoreo en las mesas de trabajo. La uniformidad de la luminancia mostrada en las tablas fue calculada en base las consideraciones teóricas.

Cada fila de las tablas muestra los valores de luminancia de los puntos de 1 al 12 respectivamente, adquiridos en cada posición angular de la cartulina negro mate utilizada en el monitoreo de esta variable lumínica.

De la misma forma como se realizaron las 3 mediciones de los índices de iluminación vistos anteriormente, se simulan los diferentes escenarios que se presentan en las aulas a lo largo del día, mediante una combinación de persianas abiertas y cerradas y luminarias encendidas y apagadas, La uniformidad de la iluminancia se realiza de la misma forma, identificándose en las tablas y graficas de cada aula como sigue:

Uniformidad de la iluminancia con:

1. Luminarias apagadas con persianas y puerta abiertas → U1.
2. Luminarias prendidas con persianas y puertas abiertas → U2.
3. Luminarias prendidas con persianas y puertas cerradas → U3.

4.1.4.1 Uniformidad de la iluminancia al interior del aula F-4

Tabla 4.10. Registros de de la Uniformidad la luminancia al interior Aula F-4.

Luminarias <u>apagadas</u> con persianas y puerta <u>abiertas</u>																	
Posición angular de adquisición de luminancia de Sensor 1 al Sensor 12 respectivamente																	
40°	60°	80°	100°	120°	140°	160°	180°	200°	220°	240°	260°	280°	300°	320°	340°	360°	U1
420	366	346	340	346	391	427	483	416	512	510	500	479	458	449	444	462	78.24%
340	354	377	340	348	352	389	416	415	416	415	420	392	361	341	343	367	90.59%
366	356	349	366	399	409	413	406	381	349	318	312	323	328	347	348	373	86.36%
304	402	394	394	407	417	426	446	453	457	460	456	394	341	496	495	397	72.68%
574	571	567	561	550	549	572	576	582	508	522	517	505	537	508	531	497	91.55%
808	807	793	797	803	809	822	843	853	845	590	502	498	540	603	595	790	68.42%
910	894	888	882	887	820	832	863	815	730	690	630	611	670	735	780	890	76.18%
580	573	569	572	573	595	605	592	488	485	410	362	370	410	476	421	605	70.21%
500	484	484	480	477	512	533	541	547	516	482	413	395	410	446	468	537	81.29%
450	428	430	439	472	492	506	516	519	510	485	456	422	424	449	469	471	90.20%
415	401	409	431	460	490	524	532	537	525	514	479	462	456	453	459	451	85.45%
450	385	405	425	445	474	578	577	578	568	552	525	519	511	509	496	480	77.41%

Luminarias <u>prendidas</u> con persianas y puertas <u>abiertas</u>																	
Posición angular de adquisición de luminancia de Sensor 1 al Sensor 12 respectivamente																	
40°	60°	80°	100°	120°	140°	160°	180°	200°	220°	240°	260°	280°	300°	320°	340°	360°	U2
794	758	730	689	719	805	847	840	872	855	820	804	705	769	754	794	847	86.98%
747	716	693	719	723	743	735	733	768	770	767	753	712	706	710	691	750	94.23%
700	665	669	691	700	723	731	721	731	670	647	636	632	628	627	693	710	91.79%
751	725	707	720	723	757	747	751	753	723	600	620	594	610	660	707	714	84.86%
880	909	892	894	915	901	883	876	886	878	801	650	668	642	633	677	657	78.60%
828	833	860	880	885	924	963	1074	1107	1013	849	682	660	643	625	730	930	73.36%
964	1063	1071	1090	1106	1101	1074	1024	977	909	880	872	700	738	744	752	930	74.39%
949	921	901	890	893	939	937	918	904	852	832	828	720	719	731	734	921	83.48%
783	761	764	757	793	813	815	758	726	710	677	654	671	671	711	766	825	87.17%
659	627	647	673	715	735	743	747	741	753	738	670	674	688	686	703	672	89.89%
657	659	654	693	732	771	798	798	796	820	811	787	777	728	720	722	700	88.60%
730	714	705	752	803	870	950	921	908	915	917	900	898	880	870	824	750	84.41%

Luminarias <u>prendidas</u> con persianas y puertas <u>cerradas</u>																	
Posición angular de adquisición de luminancia de Sensor 1 al Sensor 12 respectivamente																	

40°	60°	80°	100°	120°	140°	160°	180°	200°	220°	240°	260°	280°	300°	320°	340°	360°	U3
292	299	302	305	303	300	276	235	256	235	255	275	279	275	273	282	289	84.30%
316	316	323	325	320	293	261	260	280	301	306	307	313	313	315	314	316	85.17%
293	270	264	278	265	254	252	260	280	260	265	273	272	274	286	298	288	92.20%
288	258	257	257	248	260	266	254	244	247	249	252	254	261	259	254	287	93.85%
320	314	315	308	306	313	303	273	256	271	294	313	328	323	320	319	320	83.60%
296	285	288	286	291	282	264	235	245	267	288	300	301	301	302	289	301	82.62%
160	173	187	198	201	195	171	168	176	192	204	214	216	219	221	222	152	78.97%
198	213	215	206	208	210	188	172	170	174	192	206	199	227	220	209	175	86.10%
181	180	176	184	188	192	191	182	182	183	185	196	203	198	180	177	202	93.51%
156	194	212	210	187	181	181	195	206	208	208	203	206	211	210	209	175	79.89%
192	211	230	245	235	217	194	178	187	210	222	227	227	220	210	194	165	75.95%
205	215	221	222	218	218	196	176	164	169	187	200	208	199	188	166	161	83.25%

Graficando los datos de la uniformidad de la iluminancia (figura 4.7) se puede observar de forma más clara el comportamiento de esta variable el interior del aula F-4.

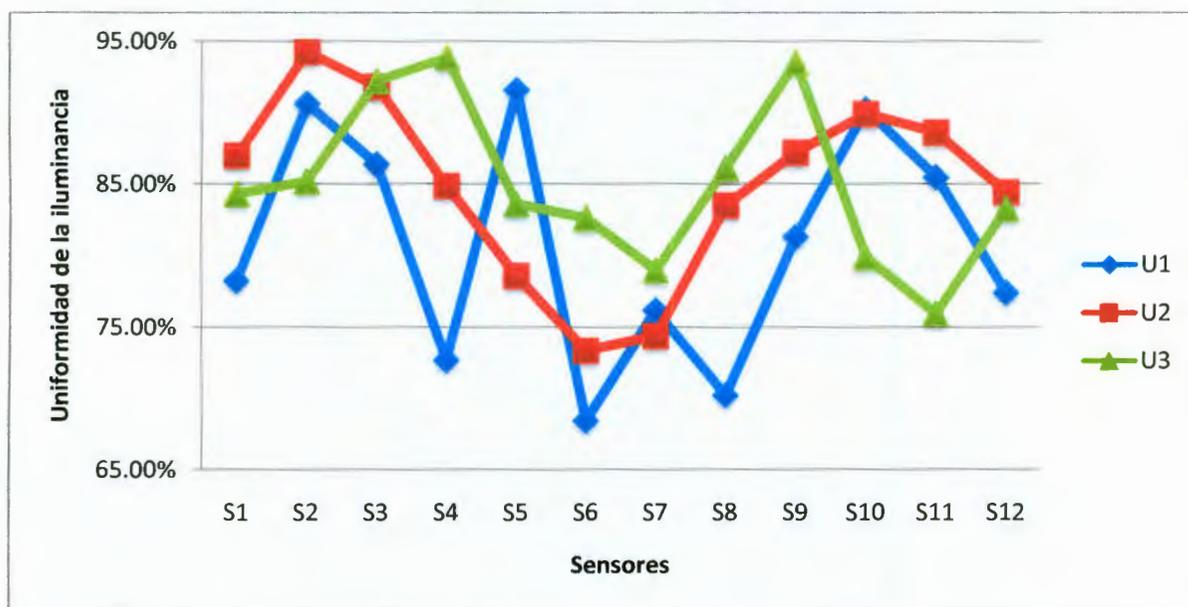


Figura 4.7 Uniformidad de iluminancia al interior del aula F-4.

4.1.4.1.1 Análisis de la Uniformidad de la iluminancia al interior del aula F-4

Los resultados obtenidos de esta variable son satisfactorios (figura 4.7). Los datos adquiridos de las tres formas de medición se encuentran por arriba de 70% por lo que se puede decir que la iluminancia del área de trabajo de esta aula presenta uniformidad correcta, lo cual es benéfico para el confort lumínico visual interior.

En la grafica, en la medición U2 y U3 se puede apreciar que el uso de las luminarias genera una mejor estabilidad en la uniformidad de iluminancia. La medición U1 presenta una variación entre cada punto de monitoreo, esto es debido a que la iluminación de la luz natural proveniente de las ventanas es afectada por la ubicación de las mismas.

4.1.4.2 Uniformidad de la iluminancia al interior del aula B-2

Tabla 4.11. Registros de de la Uniformidad la luminancia al interior Aula B-2.

Luminarias <u>apagadas</u> con persianas y puerta <u>abiertas</u>																	
Posición angular de adquisición de luminancia de Sensor 1 al Sensor 12 respectivamente																	
40°	60°	80°	100°	120°	140°	160°	180°	200°	220°	240°	260°	280°	300°	320°	340°	360°	U1
317	307	266	247	228	220	213	248	329	321	315	310	315	330	356	361	362	71.08%
217	251	217	221	225	234	244	208	204	186	190	186	175	203	265	262	271	78.57%
273	266	261	259	258	258	262	277	231	241	230	220	190	232	253	265	280	75.53%
390	386	378	367	364	353	373	360	305	262	250	254	272	328	353	377	333	73.89%
486	483	480	435	469	465	446	434	337	310	305	305	412	462	498	507	513	70.00%
608	609	614	614	603	596	579	517	449	394	367	372	380	443	472	543	620	70.43%
393	393	392	389	384	374	369	309	321	383	346	266	264	299	336	364	379	74.76%
323	321	317	314	314	311	307	289	257	226	243	221	246	272	282	312	316	76.63%
258	254	251	247	243	243	239	205	182	175	174	167	204	210	227	232	241	75.00%
218	213	213	209	206	207	211	210	177	170	160	156	174	193	199	208	210	79.12%
199	180	178	172	168	170	179	178	178	176	167	158	148	177	184	189	198	83.22%
265	198	178	180	174	192	255	259	259	278	269	248	245	262	268	274	265	71.98%

Luminarias prendidas con persianas y puertas abiertas

Posición angular de adquisición de luminancia de Sensor 1 al Sensor 12 respectivamente

40°	60°	80°	100°	120°	140°	160°	180°	200°	220°	240°	260°	280°	300°	320°	340°	360°	U2
575	516	474	332	423	435	461	587	554	568	526	507	509	536	561	577	587	64.17%
492	486	480	465	427	388	404	431	455	477	486	470	408	383	387	468	479	85.45%
532	529	521	506	512	511	514	526	445	375	355	344	364	469	507	517	520	72.32%
657	663	668	639	622	620	613	602	605	618	587	509	461	463	509	623	640	77.18%
838	851	849	834	846	842	837	835	824	718	616	520	532	617	740	867	827	67.75%
1127	1144	1139	1115	1056	1057	1055	1010	801	713	661	666	814	972	1041	1088	1114	67.29%
528	531	524	535	519	519	451	417	459	378	382	396	413	430	416	512	525	80.51%
498	489	494	495	476	477	442	357	346	314	418	412	434	473	480	488	494	69.92%
409	393	393	404	412	417	384	336	315	316	326	303	359	355	353	367	397	82.09%
365	365	348	352	342	330	322	312	286	296	282	279	320	332	332	340	363	84.73%
320	307	306	310	327	320	312	319	306	300	298	295	304	298	336	324	350	93.98%
393	369	343	374	334	338	328	331	336	319	336	347	340	331	340	355	357	91.54%

Luminarias prendidas con persianas y puertas cerradas

Posición angular de adquisición de luminancia de Sensor 1 al Sensor 12 respectivamente

40°	60°	80°	100°	120°	140°	160°	180°	200°	220°	240°	260°	280°	300°	320°	340°	360°	U3
251	253	250	253	249	245	247	248	250	241	225	203	202	200	232	248	241	83.97%
233	233	223	187	169	171	170	193	231	248	208	207	208	209	232	236	232	79.68%
246	245	234	215	220	226	250	251	256	180	173	188	241	252	246	247	239	75.07%
271	253	234	231	235	236	248	272	263	228	251	253	249	251	276	276	275	89.78%
293	293	282	274	276	277	277	268	288	295	269	228	219	219	269	290	292	80.48%
275	280	257	221	193	196	233	268	283	285	280	276	272	274	279	278	280	73.80%
162	147	128	126	128	141	146	133	147	150	164	166	156	151	155	159	169	84.22%
175	174	172	161	161	158	154	144	149	165	147	152	148	149	149	157	170	90.66%
166	141	142	141	138	150	169	145	154	158	160	162	170	168	164	174	180	86.97%
184	171	173	173	166	164	164	166	160	162	168	163	152	151	151	176	183	90.21%
173	175	161	146	148	184	174	163	163	158	157	165	170	166	163	176	182	87.48%
163	167	169	169	169	170	171	155	156	152	149	150	125	130	131	156	168	79.84%

Al graficar los datos (Figura 4.8) de la uniformidad de Tabla 4.11 se puede observar de forma más clara el comportamiento que presenta el índice de uniformidad de luminancias dentro del aula B-2.

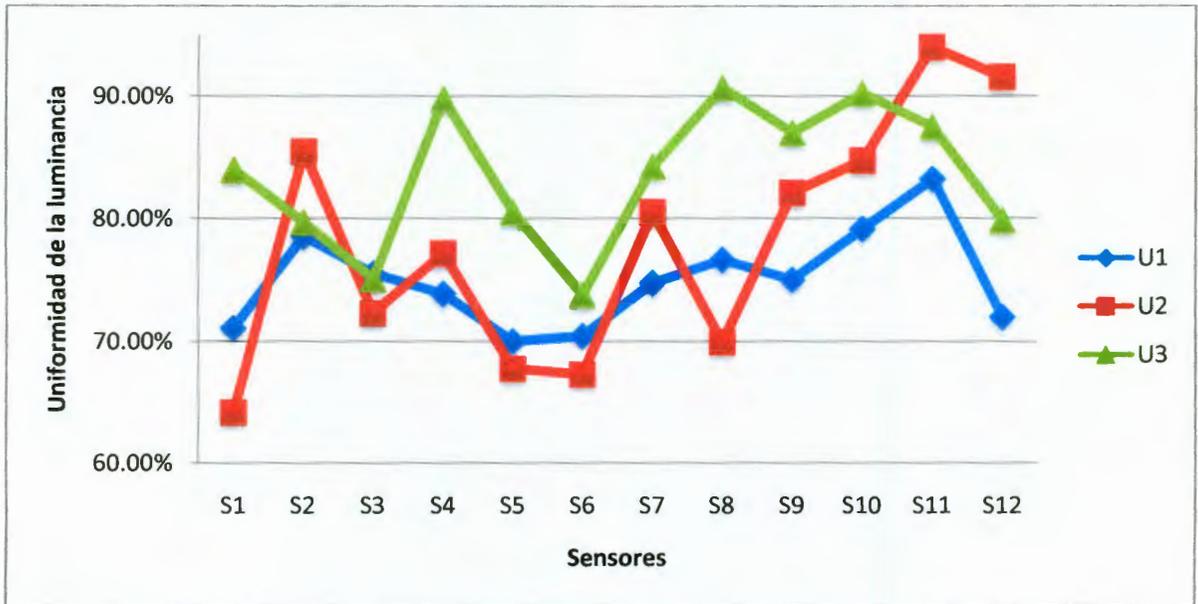


Figura 4.8 Uniformidad de iluminancia al interior del aula B-2.

4.1.4.2.1 Análisis de la Uniformidad de la iluminancia al interior del aula B-2

Dentro del aula F-4, se presentan pocas variaciones en el índice de uniformidad, esto de acuerdo medición U2, la cual se realizó utilizando luz natural y luz artificial. Esta medición presenta puntos con uniformidad por un poco debajo del 70% y aunque es cierto que la variación es mínima y son muy pocos puntos que presentan este problema, se recomendaría evitar el uso de las dos fuentes luz al mismo tiempo, lo cual es benéfico para el confort visual de los del aula.

En cuanto a las uniformidades U1 y U3 mantiene los valores de los puntos de monitoreo por arriba de 70%, lo cual satisface lo requerido normativamente.

Por otro lado la orientación geográfica de las aulas de clase no afecta la uniformidad de la luminancia interior. Esto se aprecia aula B-2 la cual a pesar de tener una orientación opuesta a las otras aulas, no presenta diferencias en el índice de uniformidad. Los puntos con luminancias muy elevadas son producidos por los rayos del sol, los cuales inciden de forma directa en algunos puntos de la superficie de trabajo.

La variación de luminancias producidas por la iluminación directa en varios puntos se presenta también en las aulas F-4 y B-2. Por la que se puede decir que la orientación geográfica de los edificios no es un factor de impacto en la uniformidad de luminancia.

4.1.4.3 Uniformidad de la iluminancia al interior del aula G-21

Tabla 4.12. Registros de de la Uniformidad la luminancia al interior Aula G-21.

Luminarias <u>apagadas</u> con persianas y puerta <u>abiertas</u>																		
Posición angular de adquisición de luminancia del Sensor 1 al Sensor 12																		
	40°	60°	80°	100°	120°	140°	160°	180°	200°	220°	240°	260°	280°	300°	320°	340°	360°	U1
6	116	113	120	118	136	154	156	164	161	168	159	157	132	130	130	126	124	81.69%
5	112	94	94	98	106	116	147	146	144	144	145	139	147	133	130	131	126	74.31%
5	114	92	88	93	98	120	104	130	128	129	130	122	113	115	95	118	122	77.80%
5	110	124	84	86	98	117	116	117	117	117	104	106	105	112	116	118	121	76.25%
7	116	104	98	100	102	113	111	112	114	118	110	97	94	93	94	94	116	87.97%
3	114	106	105	105	105	105	111	110	108	119	118	118	98	89	88	98	114	82.33%
0	147	134	130	129	131	133	145	147	144	128	146	136	138	110	131	140	146	80.32%
7	136	124	110	108	108	108	127	135	136	133	128	114	107	106	108	122	136	87.40%
1	138	122	102	101	102	119	142	144	145	144	133	125	127	126	128	144	143	78.16%
2	158	138	132	121	127	129	168	176	176	170	162	162	161	160	162	170	174	77.29%
2	218	182	165	157	143	162	192	225	226	228	229	220	192	196	209	212	220	71.54%
1	345	268	216	222	199	278	363	381	319	352	326	318	312	393	322	277	310	64.40%

Luminarias <u>prendidas</u> con persianas y puertas <u>abiertas</u>																		
Posición angular de adquisición de luminancia de Sensor 1 al Sensor 12																		
	40°	60°	80°	100°	120°	140°	160°	180°	200°	220°	240°	260°	280°	300°	320°	340°	360°	U2
0	336	338	362	385	401	464	468	306	308	312	312	311	313	321	323	330	366	87.21%
0	309	293	326	343	362	380	382	386	392	404	409	403	397	394	403	378	347	79.21%
4	278	257	261	242	265	286	300	304	331	329	317	311	304	294	305	307	309	81.97%
5	285	272	272	259	275	304	314	328	331	322	304	292	299	298	288	295	308	87.11%
2	315	311	309	308	313	340	340	337	340	344	347	333	328	321	305	302	305	93.72%
0	271	256	267	287	290	288	298	304	335	340	320	317	297	282	281	286	274	87.39%
5	325	307	301	299	296	304	298	311	318	321	322	298	286	287	291	302	323	93.36%
0	337	307	308	305	308	317	344	344	349	354	340	340	340	349	361	362	354	90.46%
0	344	293	274	272	267	279	326	352	349	356	350	319	322	326	333	357	361	82.29%
5	402	358	299	281	298	304	407	409	415	413	383	384	389	386	388	416	413	74.82%
5	531	499	443	378	388	422	457	547	539	551	542	539	527	525	510	520	511	75.90%
6	638	615	556	472	418	435	503	618	690	642	637	682	684	680	698	705	684	68.10%

Luminarias <u>prendidas</u> con persianas y puertas <u>cerradas</u>																		
Posición angular de adquisición de luminancia de Sensor 1 al Sensor 12																		
	40°	60°	80°	100°	120°	140°	160°	180°	200°	220°	240°	260°	280°	300°	320°	340°	360°	U3

7	226	239	279	294	300	296	298	286	282	283	280	279	285	298	295	266	229	82.31%
0	219	231	274	256	232	228	234	268	273	269	268	263	261	261	275	272	221	87.12%
3	191	192	192	165	174	161	159	165	221	197	197	195	175	202	209	208	224	82.96%
9	225	226	217	198	209	211	216	233	170	176	202	211	205	201	200	200	198	82.77%
0	225	268	270	268	270	272	267	270	280	282	284	288	291	293	294	283	221	81.72%
1	187	189	198	228	229	211	204	234	246	250	250	249	250	252	255	241	194	82.95%
9	227	220	219	217	221	213	198	202	208	229	235	235	233	233	231	228	228	88.97%
3	265	256	255	248	249	256	233	233	234	257	274	274	275	274	272	268	265	90.08%
2	221	194	191	190	179	177	202	193	195	197	159	187	200	224	224	222	223	79.50%
9	205	177	153	147	144	165	187	182	195	171	161	163	174	173	173	207	206	81.20%
2	256	257	259	254	261	252	237	239	256	254	253	255	258	257	256	264	264	92.86%
4	278	279	282	288	296	291	286	252	249	264	286	288	287	291	289	292	283	88.49%

La uniformidad de la iluminancia del aula G-21 observa en la figura 4.9 donde U1, U2 y U3 representan la uniformidad en cada medición realizada.

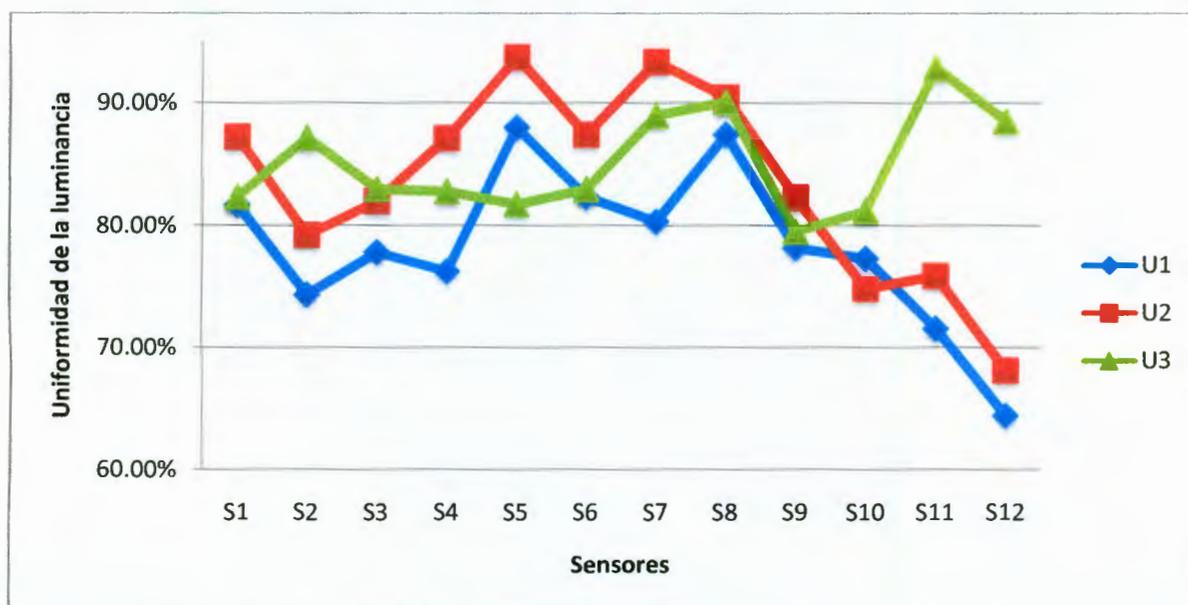


Figura 4.9 Uniformidad de iluminancia al interior del aula G-21.

4.1.4.3.1 Análisis de la Uniformidad de la iluminancia al interior del aula G-21

En esta aula no existen problemas en la distribución de los niveles de iluminación interior. Los datos adquiridos de las tres formas de medición se encuentran por arriba de 70% por lo que se puede decir que la iluminancia del área de trabajo tiene una uniformidad correcta y benéfica para el confort lumínico visual de los usuarios.

En general, el ambiente lumínico de las aulas de clase no presentan problemas en la uniformidad de las luminancia, solo se presenta una ligera variación cuando la fuente de luz es la natural, para eliminar este problema se deberían buscar estrategias que permitan un uso de la luz natural más uniforme, ya que la ubicación lateral de las ventanas produce una iluminación no uniforme y es un factor que tiene impacto en los deslumbramientos producidos al interior del edificio.

Capítulo 5

CONCLUSIONES

Para garantizar el confort lumínico visual es necesario considerar los niveles de iluminación, reflectancia, distribución de las luminancias, uniformidad de la iluminancia y características del diseño interior del edificio como son los colores de las paredes, techos, y el área de trabajo, potencia de las luminarias, orientación geográfica del edificio, horario de ocupación y usos en las aulas.

El análisis de la iluminación al interior de las aulas de clase, mediante el monitoreo y registro de los índices del entorno luminoso, permitió saber si las prestaciones visuales que proporcionan las aulas de clase, cumplen con los requerimientos que establece la norma de iluminación UNE EN-12464 para edificios educativos. Se presentan diferentes problemas de iluminación al interior de las aulas de clase, observados al realizar el análisis y el monitoreo de los datos de iluminación adquiridos. El nivel de iluminación que proporcionan las luminarias no es el adecuado, debido a que los valores indican de acuerdo a los resultados, que apenas sobre pasan los 200 luxes, los cuales son el límite inferior del rango óptimo permitido de acuerdo a la norma UNE EN-12464; es por ello, que se recomendaría el uso de luminarias con una mayor potencia o el uso de más luminarias que puedan proporcionar un mayor nivel de la iluminación al interior de los salones de clase.

En cuanto a niveles de iluminación; el edificio G-21 presenta la problemática de insuficiencia de luz natural al tener varios niveles de iluminación apenas por arriba de los 200 luxes, lo cual produce un mayor uso de la luz artificial y genera un mayor consumo de energía eléctrica, se recomendaría que el tamaño de las ventanas fuera alrededor de un 10% a un 15% más grande, de tal forma que la iluminación natural recibida al interior del aula incremente, las aulas F-4 y B-2 no

presentan este problema debido a que el área de las ventanas es mayor, por lo que ingresa una mayor cantidad de luz natural.

La orientación geográfica de los edificios influye en la iluminación natural adquirida por medio de las ventanas, produciendo picos de iluminación excesiva en varios puntos de incidencia, esto considerando los resultados obtenidos del aula B-2 con respecto a las aulas F-4 y G-21, debido a ello es recomendable contar con ventanas y puertas ubicadas al norte y al sur, como se encuentran en las aulas F-4 y G-21.

Al realizar las comparaciones del índice de reflexión de la luz en las mesas de trabajo al interior de las aulas, se puede decir que es necesario utilizar superficies de trabajo mates en colores claros y asegurar una buena distribución de las luminarias, con la finalidad de reducir los efectos de deslumbramiento indirecto, el aula B-2, fue la que presento estas características. Los colores de las paredes deberán de ser de preferencia en color blanco o claro mate para aprovechar mejor la luz recibida al interior del aula a través del incremento de la luminancia generada por la superficie de las paredes, el aula G-21 presenta esta característica.

La distribución de la luminancia en el campo visual de las aulas de clase no presentan problemas, considerando que los datos obtenidos se encuentran dentro de la relación 1:3:10 para áreas de trabajo que tienen la menor luminancia.

La uniformidad de la iluminancia al interior del aula B-2 tiene puntos por debajo del valor permitido por la norma (70%), este problema, al igual que en los niveles de iluminación, es generado por la orientación geográfica que tiene éste edificio ya que la incidencia directa de luz natural a través de las ventanas genera desuniformidad de la iluminación, este problema no se observa en las aulas G-21 y F-4 las cuales tienen una orientación opuesta.

La implementación del sistema de monitoreo de niveles de iluminación fue un aporte tecnológico y una herramienta que facilito la adquisición de datos de una forma confiable y a un bajo costo, tomando como referencia productos existentes en el mercado. El sistema de iluminación presenta la ventaja de ser escalable debido a que es posible utilizarlo en cualquier tipo de edificios para poder realizar el análisis al interior como bibliotecas, oficinas, casas, residencias, establecimientos comerciales, etc.).

Un trabajo a futuro que pudiera resolver la problemática de iluminación en interiores y poder aprovechar al máximo los recurso que la naturaleza nos brinda, seria mediante el uso de un sistema de iluminación que permita el uso eficiente de la luz natural atreves de las ventanas, mediante el control de sombras, deslumbramientos (control de persianas) y control de las luminarias, de tal forma que se puedan tener edificios confortables y más eficientes en cuanto al uso de la luz artificial.

BIBLIOGRAFÍA

- Allard, F., M. Santamouris, S. Alvarez, E. Daskalaki, G. Guarraccino, E. Maldonado, S. Sciuto, and L. Vandaele. 1998. *Natural Ventilation in Buildings*, James & James, UK.
- ASHRAE, 2004. *ASHRAE Standard 55: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*, American Society of Heating, Refrigerating and Air conditioning Engineers.
- Brager, G.S., and R.J. Dear. 1998. Thermal adaptation in the built environment: a literature review, *Energy and Buildings*. 27, 83-96.
- Burton, S. 2001. *Energy efficient office refurbishment*. Londres: James & James, Science Publishers, Ltd.
- Diakaki, C., E. Grigoroudis and D. Kolokotsa. 2008. Towards a multi-objective optimization approach for improving energy efficiency in buildings. *Energy and Buildings*. 40:1747-1754.
- Ghisi, E., and J.A. Tinker. 2005. An Ideal Window Area concept for energy efficient integration of daylight and artificial light in buildings, *Building and Environment* 40:51-61.
- IEA, *Energy Technology Perspectives - Scenarios and Strategies to 2050*, 2006, ISBN: 926410982-X.
- Kolokotsa, D., K. Niachou, V. Geros, K. Kalaitzakis, G.S. Stavrakakis, and M. Santamouris. 2005. Implementation of an integrated indoor environment and energy management system, *Energy and buildings*. 37:93-97.
- Laurentin, C., V. Berrutto and M. Fontoynt. 2000. Effect of thermal conditions and light source type on visual comfort appraisal, *Lighting Research and Technology*. 32:223-233.
- Leslie, R.P. 2003. Capturing the daylight dividend in buildings: why and how? *Review, Building and Environment*. 38:381-385.
- Llana Álvarez, F. J. 2006. *Ergonomía y psicología aplicada: Manual para la formación del especialista*, Lex Nova.

- Norma de iluminación UNE-EN 12464, 2003. Iluminación de los lugares de trabajo. Parte 1 Lugares de trabajo interiores. UNE-EN 12464.
- Pfeiffer, A., M. Koschenz, and A. Wokaun. 2005. Energy and building technology for the 2000W Society-Potential of residential buildings in Switzerland. *Energy and Buildings*. 37:1158-1174.
- Philips, 1995. Manual de iluminación, Capítulos II, III y IV, Ediciones Philips Iluminación.
- Plan nacional de desarrollo 2007-2012, poder ejecutivo federal, apartado 2.11, Energía, electricidad e hidrocarburos, 2007, 130-133, see <http://www.presidencia.gob.mx/> (in México).
- Puppo, E. 1980. *Un espacio para vivir*, Barcelona: Marcombo-Boixareu editores.
- Serra, R.F., and H.R. Coch. 1995. *Arquitectura y energía natural*. Barcelona: Ediciones UPC.
- Stefano, J.D. 2000. Energy efficiency and the environment: the potential for energy efficient lighting to save energy and reduce carbon dioxide emissions at Melbourne University, Australia, *Energy*. 25 (9): 823-839.
- Swisher, J., L. Christiansson and C. Hedenström. 1994. Dynamics of energy efficient lighting, *Energy Policy*. 22:581-594.
- Taboada, J.A. 1983. *Manual de luminotecnica*. Capítulo II, Visión e iluminación. OSRAM. Editorial Dossat S.A. Madrid.
- Ullah, M.B. 1996. International daylight measurement programme, Singapore data III, Building energy savings through daylighting, *Lighting Research and Technology*. 28:69-74.
- Veitch, J.A. 2001. Lighting Quality Contributions from Biopsychological Processes, *Journal of the Illuminating Engineering Society* Winter. 3-16.
- Veitch, J.A. 2001. Psychological processes influencing lighting quality, *Journal of the Illuminating Engineering Society*. 30,124-140.
- Verbeeck, G., and H. Hens. 2005 .Energy savings in retrofitted dwellings: economically viable? *Energy and Buildings*. 37:747-754.

- Weigel, R.G. 1973. Luminotecnia, sus principios y aplicación. Capítulo 6, Alumbrado interior. Editorial Gustavo Pili S.A. Barcelona.
- WEO, World Energy Outlook 2006, OECD/International Energy Agency, 2006, ISBN: 92-64-10989-7.
- Westinghouse, 1989. Manual del alumbrado. Capítulo 5, Niveles de Iluminación; Capítulo 10, Alumbrado de industrias. Editorial Dossat S.A. Madrid.
- Wood, G., and M. Newborough. 2003. Dynamic energy-consumption indicators for domestic appliances: environment, behaviour and design, Energy and Buildings. 35:821-841.
- Yarnell, K. 2000. Lamp and ballast choice are key to energy savings, Facilities Design and Management. 25:823-839.