



Universidad Nacional Autónoma de México
Programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura
Campo de Tecnología

LUZ NATURAL EN ESPACIOS PARA LA SALUD
Fundamentos y análisis para aumentar la calidad lumínica

Por tesis que para optar por el grado de Maestra en Arquitectura
presenta:

Ambar Gabriela Hernández Castillo

Director de Tesis: Dra. Gemma Luz Sylvia Chirino Verduzco
(Facultad de Arquitectura)

Comité tutor:

- Dr. Enrique Graue Wiechers (Facultad de Medicina)
- Mtro. Leonardo B. Zeevaert Alcántara (Facultad de Arquitectura)
- Mtro. Francisco Reyna Gómez (Facultad de Arquitectura)
- Mtro. Arturo Valeriano Flores (Facultad de Arquitectura)

México D.F., agosto de 2015



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Universidad Nacional Autónoma de México

Programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura • Campo de Tecnología



LUZ NATURAL EN ESPACIOS PARA LA SALUD

Fundamentos y análisis para aumentar la calidad lumínica

Presenta:

Ambar Gabriela Hernández Castillo



CD. MÉXICO

MMXV

• LUZ NATURAL EN ESPACIOS PARA LA SALUD •
• Fundamentos y análisis para aumentar la calidad lumínica •
•

Director de Tesis: Dra. Gemma Luz Sylvia Chirino Verduzco
(Facultad de Arquitectura)

Comité tutor:

- Dr. Enrique Graue Wiechers (Facultad de Medicina)
- Mtro. Leonardo B. Zeevaert Alcántara (Facultad de Arquitectura)
- Mtro. Francisco Reyna Gómez (Facultad de Arquitectura)
- Mtro. Arturo Valeriano Flores (Facultad de Arquitectura)

JURADO

· LUZ NATURAL EN ESPACIOS PARA LA SALUD ·
· Fundamentos y análisis para aumentar la calidad lumínica ·
·

Ésta tesis de maestría, ha requerido esfuerzo y continuidad, pero no habría sido posible sin la cooperación de todas y cada una de las personas y organizaciones que mencionaré;

Mi más sincero agradecimiento a mi tutora la **Dra. Gemma Verduzco** por su apoyo incondicional hacia mi persona, mantener su compromiso académico y escuchar las distintas dudas e ideas que se originaron durante la investigación.

Agradezco especialmente al **Mtro. en Arq. Leonardo B. Zeevaert Alcántara** por brindarme todo lo necesario para la realización del experimento, por medio del Observatorio y Laboratorio de Interacción con el Medio (OLIM) a su digno cargo. Por hacer posible mis inquietudes sobre la luz natural y los espacios para la salud a través del Hospital de la Luz.

Expreso mi gratitud al director del patronato de la Fundación Hospital Nuestra Señora de la Luz I.A.P. (HOL) **Dr. Federico Alejandro Graue Wiechers** quien amablemente me permitió el acceso y ejecución del experimento para ésta tesis que dio pauta a esta investigación.

Agradezco al **Dr. Enrique Graue Weichers** por el honor de formar parte del comité tutor y el vínculo que representa entre la Facultad de Medicina y la Facultad de Arquitectura.

Gracias a Arturo Valeriano, Miriam García y Cecilia Guadarrama por sus valiosas aportaciones y apoyo durante el montaje del experimento.

Finalmente agradezco a CONACYT por la beca otorgada durante el periodo de la maestría, al Observatorio de Radiación Solar (ORS) del Instituto de Geofísica y la Universidad Nacional Autónoma de México por permitir ser parte de su comunidad.

· LUZ NATURAL EN ESPACIOS PARA LA SALUD ·
· Fundamentos y análisis para aumentar la calidad lumínica ·
·

A mi familia;
Rafael, Valentina y Romelia
por motivarme a seguir mis sueños
y culminar ésta etapa profesional.

A mis seres muy queridos;
Martha C., José H., a la familia Ochandarena-Bonilla
por formar parte de mi vida,
a la familia Hernández-Castillo por ser mi soporte
y a los que ya no están conmigo (Gaby y Cuca).

· LUZ NATURAL EN ESPACIOS PARA LA SALUD ·
· Fundamentos y análisis para aumentar la calidad lumínica ·
·

En esta tesis se aborda el estudio del fenómeno de la luz natural y el impacto que genera su aporte lumínico en el personal que labora en un quirófano con iluminación natural difusa. Desde una perspectiva integral, abarcando aspectos cuantitativos, fundamentos sobre su disponibilidad, requerimientos sobre iluminación artificial, colorimetría, aplicado a las salas de cirugía. Indagando sobre los efectos visuales y no visuales que influyen en la salud del ser humano; por medio del sistema visual, sistema circadiano y la percepción. Retomando el concepto de calidad lumínica, es cual nos indica que una condición para que exista una mejor calidad en la iluminación debe considerarse un equilibrio entre las necesidades humanas, la arquitectura, la economía y el medio ambiente. El uso de luz natural en el espacio arquitectónico fomenta la salud al proveer el estímulo circadiano adecuado que detona diversos aspectos fisiológicos y psicológicos, genera una mejor apreciación del color en el ambiente visual y representa un potencial de ahorro de consumo energético.

También se analiza la manera en que se aborda la inclusión de luz natural en modelos de certificaciones para instalaciones médicas internacionales y en modelos de atención médica en nuestro país (cirugía ambulatoria oftalmológica). Identificando situaciones de cambio sobre la actividad quirúrgica y en consecuencia aspectos arquitectónicos que deben responder al nuevo equipamiento médico que se renueva en un hospital. Se aplica un modelo conceptual sobre parámetros de diseño de luz natural con el propósito de exponer de una manera global las variables que influyen de forma determinante en los niveles de iluminación de un espacio como: la orientación, el contexto urbano-arquitectónico, dimensiones del espacio, tamaño del vano, distribución, necesidades visuales y objetivos, entre otros. Mediante la estructuración de un medidor gráfico cromático, simulaciones que apoyan el pronóstico de luz en fechas representativas, aplicable a la etapa de proyecto arquitectónico.

Finalmente se muestra el caso de estudio y el método que se siguió para obtener las mediciones. Los resultados se dirigen hacia dos vertientes; hacia aspectos visuales que son apoyados por la implementación de luz natural en una sala quirúrgica de acuerdo a los niveles registrados, niveles de iluminación precisos que por normatividad no se solventan con el uso de luz natural. Por otro lado, aspectos cualitativos que impactan de manera no-visual en el personal que labora en un quirófano, al favorecer su ciclo circadiano. Concluyendo que el diseño de iluminación debe ser integral (niveles de iluminancia, color, temperatura de color, estímulo circadiano, percepción, uso eficiente) y considerar el balance e interacción de los niveles de luz natural y luz artificial en los nuevos espacios para la salud en función de la capacidad del ojo humano.

· LUZ NATURAL EN ESPACIOS PARA LA SALUD ·
 · Fundamentos y análisis para aumentar la calidad lumínica ·
 ·

The phenomenon of daylight and exploring the impact of daylighting on task performance in staff in an operating room with diffuse daylight addressed was researched. From a holistic perspective, encompassing quantitative aspects, basics about its availability, artificial lighting standars, colorimetry, applied to the operating room. Inquiring about the visual and non-visual effects that influence human health; through the visual system, circadian system and perception. Returning to the concept of light quality, it indicates that a condition for improving better quality lighting should be considered a balance between: human needs, architecture, economy and the environment due to the use of daylight in the architectural space promotes health by providing adequate circadian stimulus that triggers various physiological and psychological functions. Daylight provides better color rendering in the visual environment and represents a potential saving of energy consumption.

This research examines how the inclusion of daylight in models certified for international medical facilities and health care models in our country such as; oftalmologist ambulatory surgery was discussed. Identifying situations of change on surgical activity and consequently architectural aspects that must respond to the new medical equipment that is renewed in a hospital.

A conceptual design metrics for daylight its applied in order to expose in a comprehensive manner the variables that defines lighting levels of a space as; orientation, urban-architectural context, dimensions of space, fenestration, distribution, visual needs and objectives, among others. By structuring a daylighting dashboard, simulating daylight in representative dates, applicable to the conceptual phase of architectural design.

Finally the case study and the method followed to obtain the measurements is shown. The results were directed towards two areas; visual aspects that were supported by the implementation of daylight in an operating room and lighting standars by regulations were not solved by daylight as light source. On the other hand, qualitative aspects impacting non-visual way staff working in an operating room, by promoting their circadian cycle. Concluding that the lighting design must be integral (illuminance levels, color, color temperature, circadian stimulus, perception, efficiency) and should be consider the balance and interaction between daylight and artificial light in new design healthcare facilities and the capability of human eye.

CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO I. FUNDAMENTOS DEL FENÓMENO DE LA LUZ.....	9
1.1 LUZ, UN FENÓMENO DINÁMICO -10	
1.1.1 <i>Magnitudes Fotométricas</i> -11	
1.1.2 <i>Color, resultado de la luz</i> -13	
a) <i>Sistema de colorimetría CIE</i>	
b) <i>Sistemas de ordenación del color</i>	
c) <i>Temperatura de color</i>	
d) <i>Medición de aplicaciones</i>	
1.1.3 <i>Fuentes de iluminación y su interacción</i> -17	
a) <i>Luz natural</i> -19	
• <i>Características Climáticas</i> - 20	
• <i>Características Geométricas</i> - 26	
• <i>Características Constructivas</i> - 28	
• <i>Aspectos cuantitativos</i> - 29	
- <i>Componentes de la Luz Natural</i>	
- <i>Disponibilidad de la Luz Natural</i>	
- <i>Factor de la luz de día</i>	
b) <i>Luz artificial</i> -.35	
• <i>Principios de operación y consideraciones de diseño de los sistemas involucrados en la iluminación artificial, aplicados a quirófanos</i> - 37	
- <i>Lámparas quirúrgica</i> -38	
- <i>Iluminación general del quirófano</i> - 46	
- <i>Sistemas de Iluminación especial, control y automatización</i> - 47	
CAPITULO 2. INFLUENCIA DE LA ILUMINACIÓN EN EL SER HUMANO	51
2.1 SISTEMA VISUAL - 53	
2.1.1 <i>Estructura Sistema Visual</i> - 54	
a) <i>Óptica ocular</i> - 54	
b) <i>Funcionamiento de la retina</i> - 55	
c) <i>Fuentes de desenfoque en la imagen retiniana</i> - 57	
d) <i>Campo Visual</i> -57	
2.1.2 <i>Adaptación, acomodación y apariencia del color</i> -57	
2.1.3 <i>Trastornos del Sistema Visual</i> - 59	
2.1.4 <i>Percepción, procesos psicológicos y preferencias</i> - 61	
2.2. SISTEMA CIRCADIANO - 63	
2.2.1 <i>Impacto del Sistema Circadiano</i> - 63	
a) <i>Modelo de Foto transducción circadiana</i> - 65	
b) <i>Iluminación circadiana</i> - 65	
2.2.2 <i>Desincronización del Sistema Circadiano</i> -66	
a) <i>SAD</i> - 66	
b) <i>Alzheimer</i> - 66	
c) <i>Sueño</i> - 66	
2.3. EFECTOS NO-VISUALES DE LA EXPOSICIÓN A LA LUZ NATURAL - 67	
2.3.1 <i>Estado de alerta</i> - 67	
2.3.2 <i>Efectos del trabajo nocturno</i> - 69	
2.3.3 <i>Vitamina D y su relación con la Luz Natural</i> -69	
CAPITULO 3. CONCEPTO DE CALIDAD LUMÍNICA.....	71
3.1 LA ILUMINACIÓN PARA LAS NECESIDADES HUMANAS -72	
3.1.1 <i>Visibilidad</i> -73	
3.1.2 <i>Rendimiento visual</i> -73	
3.1.3 <i>Confort visual</i> -74	
A) <i>Actividad visual en el quirófano</i> -78	
b) <i>Comunicación</i> -79	
c) <i>Salud y seguridad</i> - 80	
d) <i>Juicio estético</i> -80	
e) <i>Ambiente y atmósfera</i> -80	
3.2 ARQUITECTURA - 80	
3.3 ECONOMÍA Y MEDIO AMBIENTE - 81	

CAPITULO 4. MODELOS TEÓRICOS Y DE SERVICIO DIRIGIDOS A MEJORAR LA CALIDAD DE LOS ESPACIOS PARA LA SALUD.....83

- 4.1 EVIDENCE-BASED DESIGN (EBD - DISEÑO BASADO EN EVIDENCIA CIENTÍFICA) - 84
 - 4.1.1 Reporte de últimos hallazgos - 85
- 4.2 BIOPHILIA - 87
 - 4.2.1 Biophilic Design (Diseño Biofilico) - 88
- 4.3 CERTIFICACIÓN LEED® - 91
- 4.4 TRANSICIÓN DE LOS SERVICIOS E INFRAESTRUCTURA PARA LA SALUD EN MEXICO - 95
 - 4.4.1 Especialidades Médicas de mayor demanda - 97
 - a) Oftalmología -98
 - 4.4.2 Espacios para la salud – “El quirófano”- 100
 - a) Cirugía Ambulatoria -103
 - b) Cirugía con alta tecnología -104

CAPITULO 5. PROPUESTA. MODELO CONCEPTUAL DE UN QUIRÓFANO CON LUZ NATURAL.....107

- 5.1 MODELO DE EVALUACIÓN DE PARÁMETROS DE DISEÑO CONCEPTUALES DE LUZ NATURAL A UN QUIRÓFANO -**108**
 - 5.1.1 Desarrollo de la aplicación -109
 - 5.1.2 Descripción de parámetros -111
 - a) Iluminancia media -111
 - b) Cobertura - 112
 - c) Luz difusa -112
 - d) Autonomía en luz natural -113
 - e) Estimulo circadiano -113
 - f) Área de acristalamiento -114
 - g) Vistas - 114
 - h) Ganancia de calor -115
 - 5.1.3 Cálculo de parámetros -115
 - 5.1.4 Integración y análisis del medidor gráfico -115
 - 5.1.5 Resultados -116

CAPITULO 6. CASO DE ESTUDIO. HOSPITAL DE LA LUZ - QUIRÓFANO OFTALMOLÓGICO.....117

- 6.1 DESCRIPCIÓN DEL EXPERIMENTO -118
 - 6.1.1 Contexto Urbano -119
 - 6.1.2 Características arquitectónicas -119
 - 6.1.3 Equipamiento Médico del quirófano -121
 - 6.1.4 Periodo de estudio -122
 - 6.1.5 Equipo de Medición de luz - 123
- 6.2 MÉTODO DE ANÁLISIS - 126
 - 6.2.1 Instalación - 126
 - 6.2.2 Monitoreo - 130
 - 6.2.3 Procesamiento de datos - 131
- 6.3 RESULTADOS -131
 - 6.3.1 Gráficas -132
 - 6.3.2 Distribución de iluminación en quirófano - 146

CONCLUSIONES.....147**GLOSARIO.....153****REFERENCIAS.....161****ANEXOS.....169**

INTRODUCCIÓN

La estructura que plantea el trabajo de investigación esta ligada al entendimiento del fenómeno¹ de la luz (natural y artificial) y su relación con el hombre, aplicado al diseño de la iluminación de la unidad quirúrgica. La manera en que se abordó en principio fue articular los fundamentos conceptuales que se emplean en la comprensión de la iluminación para explicar la parte medible que aporta la luz natural en un espacio arquitectónico.

La luz es una manifestación que percibimos por medio de los sentidos que nos permite interpretar y constituir el mundo tal y como lo conocemos los seres humanos, condicionando las actividades que se realizan durante el día y la noche. Actualmente estamos expuestos a más iluminación artificial que en el pasado, debido al desarrollo tecnológico de aparatos eléctricos y fuentes de iluminación artificial provocando su uso excesivo en ambientes interiores y exteriores, incluso durante el día cuando disponemos de luz natural. Recientemente esta problemática ha sido una preocupación mundial reconociendo que utilizamos más iluminación artificial de la que necesitamos. En el año 2013 el Gobierno de Francia publicó un decreto para reducir la contaminación lumínica y el consumo energético en el ambiente nocturno debido a que es una fuente de perturbación a los ecosistemas, alterando la comunicación entre especies, la migración, los ciclos de reproducción, entre otros. La Asociación Médica Americana (American Medical Association - AMA) adoptó nuevas políticas debido a los efectos adversos que provoca el exceso de exposición nocturna a la iluminación artificial acentuando los desórdenes en la fase del sueño provocando condiciones inseguras para las personas. Lo cual denota que existe la necesidad de mejorar la calidad lumínica, el 20 de diciembre de 2013 la Asamblea General de la ONU proclamó el 2015 como el Año Internacional de la Luz y las Tecnologías Basadas en la Luz.

El uso de la luz artificial y de la luz natural en las actividades del ser humano a lo largo del tiempo se han ido modificando, en principio la luz natural era considerada como la fuente de iluminación primaria y su inclusión a los espacios para la salud era fundamental por las propiedades germicidas que posee, además de favorecer la absorción de la vitamina D a través de la piel. Su uso data desde la medicina europea en el "Hospital Asclepieion" construido en Epidaurus en la antigua Grecia, donde los cuartos de hospitalización estaban orientados hacia el este por donde sale el sol². Hacia el año de 1928 cuando fue descubierta la penicilina pero aún no se diseminaba la era antibiótica, una cura para los enfermos del pulmón era una combinación de: aire fresco, sol y ejercicio suave, así lo proyectó el arquitecto Finlandés Alvar Aalto en el Sanatorio de Paimio, con fundamentos basados en brindar bienestar al paciente.

En la actualidad existen los Centros Oncológicos Maggie que desde hace 15 años se construyen en el Reino Unido diseñados para convalecientes de cáncer con el enfoque de la calidez de una casa, donde conviven las familias y amigos, estos centros en su diseño

¹ **Fenómeno**, (Del lat. phaenomenon, y este del gr. φαινόμενον). Toda manifestación que se hace presente a la consciencia de un sujeto y aparece como objeto de su percepción. Diccionario de la Real Academia Española (RAE), 23.ª edición (2014). Término inicialmente perteneciente a la astronomía, que pasa a la filosofía ampliando su significado a cualquier tipo de hecho constatado en ciencias (Wikipedia, 2015).

² **(The CHD)** The Center for Health Design (2008). "An introduction to Evidence- Based Design. Exploring Healthcare and Design". p. 3.

consideran a la luz natural como parte del ambiente terapéutico³, debido a que favorece efectos psicológicos y fisiológicos en la salud del paciente. Al día de hoy los espacios para la salud requieren de una mejora en la calidad lumínica mediante la interacción de la luz natural y artificial de acuerdo a ciertas características específicas para potenciar el objetivo de su actividad: la recuperación de la salud.

Anteriormente en el campo de la arquitectura cuando no se hacía investigación formal que relacionara la salud del ser humano con la iluminación, se abordaba el diseño de la iluminación basada en la experiencia adquirida de los arquitectos y mediante la observación se conocían los efectos positivos de la luz natural en la salud del ser humano. Actualmente el campo de la psicología ambiental por medio de evaluaciones post-ocupacionales en hospitales ha detectado aspectos físico-arquitectónicos que se relacionan directamente con la salud del usuario y el espacio arquitectónico en el que se desenvuelve⁴, lo cual ha generado dos amplias vertientes de investigación en diversos campos científicos; por un lado se encuentran los estudios sobre iluminación que consideran los factores humanos enfocados a la productividad y por otro lado aquellos que no los consideran, que se enfocan en conocer los aspectos científicos de la luz como: el aporte lumínico, evaluación del recurso natural, su disponibilidad y componentes. Ya que son la base científica de modelos matemáticos empleados en software de simulación y pronóstico de iluminación.

Los siguientes objetivos dirigieron la presente investigación:

Objetivo General

- Conocer la interacción entre la luz natural y artificial en una unidad quirúrgica, a través del estudio de la iluminación desde dos perspectivas el proceso fisiológico en el ser humano y como recurso natural arquitectónico.

Objetivos Particulares

- Realizar un análisis experimental al interior de un quirófano para conocer los niveles cuantitativos de iluminación y evaluar las implicaciones cualitativas de incorporar luz natural.
- Conocer y analizar los requerimientos arquitectónicos, tecnológicos y operativos de los quirófanos para determinar las limitantes de la implementación de luz natural.

HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN

“La incorporación de luz natural en la unidad quirúrgica favorece la calidad de la iluminación en el espacio arquitectónico propiciando efectos psicológicos y fisiológicos positivos en el personal médico”.

³ Zabalbeascoa A. Reportaje: “Edificios que curan”. Diario El País. Fecha 05, febrero 2012.

⁴ O. Andeane, Mercado D., Martínez R., Estrada R., (2005). “Estrés ambiental en instituciones de salud”. Facultad de Psicología, UNAM. p.15.

La vertiente cuantitativa se enfoca en explicar el fenómeno físico de la luz natural mediante el cálculo de su disponibilidad (*availability*) la cual está en función de la época del año (día del año), la posición geográfica (latitud, altitud y azimut) y el horario local (en tiempo solar verdadero), así como diversos factores climáticos, geométricos y constructivos. La caracterización de los parámetros que la definen como: iluminancia horizontal, iluminancia vertical, nubosidad, contaminación se realiza mediante su medición y la obtención de valores numéricos sirve para determinar la variabilidad y dinamismo del fenómeno en un sitio en particular bajo ciertas condiciones urbano-arquitectónicas. Los cuales sirven para precisar la eficacia luminosa del cielo y establecer modelos sobre las condiciones interiores de iluminación que se generan a partir del recurso exterior. Este tipo de estudios se enfocan en la parte medible y científica que aporta la luz natural como recurso, se auxilian de herramientas tecnológicas como: instrumentos diseñados para la medición del espectro de luz visible como son los fotómetros, piranómetros que miden la radiación solar, uso de software para el monitoreo y recolección de datos.

La búsqueda de conocimiento sobre el fenómeno de la iluminación y su validez, dando lugar a organizaciones especializadas como la Commission Internationale de L'Éclairage (CIE) y la Illuminating Engineering Society of North America (IESNA) las cuales representan una referencia importante en normalización y estandarización de conocimiento y aplicaciones sobre iluminación (natural y artificial). Cabe destacar que CIE ha hecho una clasificación de modelos de tipos de cielo en base a sus características y aporte lumínico, que abarcan condiciones extremas desde cielo nublado hasta cielo despejado con la finalidad de conocer el aporte lumínico en cualquier época del año, principalmente en países con luz diurna limitada por su posición geográfica, como son los países nórdicos. Los valores del modelo de CIE se aplican en programas de simulación como Supertlite y Radiance, entre otros, dicho software sirve para el dimensionamiento de vanos y diseño de fachadas entre otros.

En el caso de IESNA es reconocida como una autoridad técnica sobre buenas prácticas de la iluminación, la cual trasmite conocimiento consensuado entre sus diversos comités técnicos, miembros, investigadores y especialistas en iluminación, a través del Journal Lighting Design + Application (LD+A) y el Journal of the Illuminating Engineering Society (JIES), seminarios, conferencias, simposios y exposiciones a la comunidad interesada en la iluminación. Es importante resaltar que IESNA plantea en su "Lighting Handbook" niveles de iluminación artificial de acuerdo al tipo de actividad que se realiza en cada tipo de espacio (género edilicio).

Al extender las actividades durante la noche o cuando los niveles de iluminación no son suficientes, o bien cuando por alguna razón no es posible disponer de luz natural se tiene la necesidad de iluminar artificialmente los espacios construidos. En función de esta necesidad es que se ha desarrollado tecnológicamente el campo de la luminotecnia, mejorando y ampliando las opciones que ofrece el mercado de la iluminación artificial (consumo energético más eficiente, mayor vida útil, mejor índice de rendimiento del color, diversos diseños, entre otros). Esta condición ha favorecido su uso y saturación en la arquitectura, incluso se presenta como una solución atractiva y novedosa capaz de satisfacer cualquier necesidad lumínica hasta el punto de imitar la luz natural (variabilidad espectral y provocar los mismos niveles

neurofisiológicos)⁵. Recientemente se ha intensificado la postura de mejorar el ambiente interior mediante estos sistemas de iluminación y control artificiales para mejorar perceptivamente la estancia del usuario. Sin embargo, se requiere conocimiento y análisis sobre cada necesidad lumínica ya que una solución óptima esta ligada al conocimiento de diversos temas específicos como: el diseño del espacio en relación a la actividad, diseño propio de la iluminación artificial, cálculo y pronóstico de la iluminación natural, entre otros aspectos que deben ser conjugados.

En principio el **capítulo inicial** de esta investigación parte de los fundamentos que sirvieron como referencia para el entendimiento del fenómeno de la luz natural (variables, características, componentes) para conocer su disponibilidad y pronóstico en el espacio arquitectónico. En cuanto a la iluminación artificial se dirigió a los requerimientos de una unidad quirúrgica (iluminación generalizada y lámpara quirúrgica) la cual requiere obligadamente de iluminación artificial y sistemas de emergencia con niveles precisos de iluminación constante, temperatura de color, intensidad y direccionalidad específicas. Con la finalidad de desempeñar adecuadamente la actividad, evitar la desecación de los tejidos, minimizar las sombras y permitir un buen diagnóstico y resultado médico. Sin embargo, también existen otras condicionantes que deben ser contempladas en el diseño de la iluminación de una unidad quirúrgica como; los fenómenos ópticos, el color, entre otros, las cuales son expuestas en dicho apartado.

En el **capítulo dos** se aborda el estudio de la iluminación desde la perspectiva de R. P. Boyce quien sostiene que la influencia de la iluminación tiene un impacto integral que actúa sobre el ser humano a través de tres sistemas: visual, circadiano y perceptivo provocando efectos fisiológicos y psicológicos. Sin embargo, cada sistema requiere de tiempos de estimulación distinta para activarse debido a la sensibilidad espectral de cada uno, mientras que el sistema visual requiere de fracciones de segundo, el sistema circadiano requiere de minutos. Se retomaron investigaciones realizadas en otros campos científicos como la medicina, la foto-biología que han permitido saber que la iluminación es uno de los factores que influye en el desempeño del ser humano al realizar una actividad o en la manera en que se desenvuelve en un ambiente, debido a los efectos visuales y no visuales de la luz.

La relación que se estableció entre la arquitectura y la influencia de la iluminación que se consideró en este trabajo, partió de la estancia del ser humano en espacios cerrados, iluminados artificialmente durante el día (quirófano tradicional), de actividades que se desempeñan durante la noche y requieren de iluminación artificial (estación de enfermeras solo como referente). Fue lo que propició el estudio y conocimiento del impacto de las condiciones de la iluminación disponible de un espacio arquitectónico sobre el ciclo circadiano de los ocupantes.

El ciclo circadiano (ciclo día/noche) ha cobrado relevancia en los últimos 20 años, debido a la relación que guarda el rendimiento del hombre durante su horario de trabajo con su ciclo circadiano. La salud es influenciada por la iluminación disponible por medio de la visibilidad, la cual detecta y organiza los patrones de iluminación que permiten a cada persona

⁵ **Iluminación Biodinámica** es un concepto desarrollado a profundidad en la tesis del Programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura: "Diseño de sistemas de iluminación Biológico-Dinámica en áreas de oficinas en México (2009).

evaluar y analizar el ambiente en el que se encuentra⁶. El libro “Ecological consequences of artificial night light” indica que el ciclo circadiano debe estar sincronizado con la hora local por medio de una señal en el mismo ambiente, esa señal es el amanecer y el anochecer con el respectivo cambio en la cantidad y calidad espectral de la luz. De lo cual se deduce que la exposición a la luz tiene una influencia fisiológica relacionada al ciclo circadiano del hombre (efectos no visibles), al igual que en el sistema visual (efectos visibles). Conocer sobre el funcionamiento del sistema visual principalmente sobre: sus ajustes, capacidades y adaptación permitieron comprender el fenómeno de la visión humana.

Las investigaciones principales que se consultaron fueron realizadas por M. S. McCuskey publicado por (Health Environments Research & Design Journal – HERD) las cuales se encuentran relacionadas con el impacto de la iluminación en el ser humano en espacios para la salud definidos como: estaciones de enfermeras, unidades de cuidados intensivos y cuartos de hospitalización. Donde el objeto de estudio era el usuario en función del nivel de dolor percibido, tiempos de estancia hospitalaria, errores médicos cometidos y absentismo laboral. La reflexión sobre la mayor frecuencia de uso del quirófano detonó que se privilegiara como objeto de estudio al personal que labora en su interior (personal médico y enfermeras) sobre el paciente.

El **capítulo tres** desglosa los componentes que integran el concepto de la calidad lumínica⁷ establecidos por sus autores precursores y por otros aspectos definidos para esta investigación, se estableció como una forma de correlacionar la interacción de la luz (natural y artificial) y el espacio arquitectónico, como fenómeno dinámico que influye sobre el ser humano. Plantea la aplicación del concepto de calidad lumínica a la unidad quirúrgica, exponiendo como eje central sobre el porque se debe considerar el uso de la luz natural en los quirófanos. El aprovechamiento de la luz natural en el espacio arquitectónico es un indicador del potencial de ahorro energético al contar con sistemas de control y automatización durante horas de luz diurna, en un quirófano no resulta así de simple ya que intervienen otros sistemas que consumen mayores recursos energéticos que la propia iluminación y que resultan indispensables para el funcionamiento y realización de las cirugías (el equipamiento médico y sistemas de emergencia), así como actividades complementarias.

Se determinó que la iluminación es uno de los elementos que afectan el rendimiento humano conforme a lo establecido por E. Colombo, quien considera que para la mayoría de las actividades del rendimiento humano tienen que ver con el balance de tres componentes; visual, cognitiva y motora⁸. Se profundizó en el papel que desempeña la luz natural en el rendimiento visual y a su vez en el desempeño humano, se consultó el modelo del “Rendimiento Visual Relativo” (RVR) el cual calcula el tiempo de reacción para la localización de diferentes estímulos

⁶ (IESNA) The Illuminating Engineering Society of North America (2000). “The IESNA Lighting Hand Book”. 9ª. Ed. United States of America. p. 448. ISBN 0-87995-150-8

⁷ **Calidad Lumínica** es un concepto establecido para esta tesis que se deriva de “Lighting Quality” (Calidad de la Iluminación) término que ha sido tratado de definir por diversos autores como: Boyce, Veitch, Newsham, Brainard que su principal línea de investigación es la iluminación. A lo largo de la tesis se referirá como calidad lumínica a la conjugación de los diversos componentes que se abordan en el capítulo tres. (ver capítulo3).

⁸ **Colombo, O’Donell y Kirshbaum** (2002). “Manual de iluminación. Eficiente. Luz, Color y Visión”. Capítulo 2. ELI Argentina (Efficient Lighting Initiative). Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional UTN-Argentina. Libro electrónico, formato PDF. pág. 7

visuales enfocados en la fovea⁹ en función de la luminancia de adaptación, contraste y tamaño visual.

En el **capítulo cuatro** se conjuntaron los enfoques de la sustentabilidad establecidos por LEED Healthcare, Green Guide for healthcare, se retomó la teoría “Evidence-Based Design” (EBD- Diseño Basado en Evidencia) y modelos de servicios del sistema de salud en nuestro país como; la Cirugía Ambulatoria de especialidades médicas de mayor incidencia, el Modelo Integrador de Atención a la Salud (MIDAS) dirigido a aminorar el atraso en la atención médica y Hospitales – Escuela encargados de la formación de personal médico competente y de la investigación científica referente a la salud que prevalece en nuestro país. Derivado de la situación epidemiológica nacional (principalmente enfermedades crónico-degenerativas) la oftalmología es una de las especialidades médicas de mayor demanda (presente y futura) lo que la ubica en un nivel de alta importancia, destacando así su evolución y trayectoria en nuestro país. Se reconoció la labor de los Hospitales - Fundación; “Instituto de Oftalmología Fundación Conde de Valenciana” y “Fundación Hospital de Nuestra Señora de la Luz (HOL)” por su apoyo altruista a pacientes de escasos recursos y contribuir a la disminución del rezago en la atención oftalmológica de la población más vulnerable del país (Programa de Cirugía-Extramuros). Estos modelos consultados tuvieron como punto en común, el enfoque de mejorar la calidad tanto del servicio para hacerlo más eficiente como de mejorar las instalaciones hospitalarias, ya que existen factores físicos como; el ruido, la temperatura y la iluminación que propician en estrés y afectan el rendimiento laboral de los ocupantes.

El enfoque de mejorar la calidad de la iluminación es considerado y valorado en la actualidad por el “Centro de Diseño de la Salud” (CHD-The Centre for Health Design) el cual es un grupo formado por profesionales de la salud y del campo de la arquitectura, quienes crearon una metodología para la acreditación y certificación llamada guía “EDAC” (Evidence Design Accreditation and Certification) la cual tiene la finalidad de mejorar la calidad de los centros de salud que se construyen en Estados Unidos de Norteamérica y en otros países interesados en la aplicación de este conocimiento. Esta metodología considera dentro de uno de sus apartados el valor de contar con luz natural al interior de un espacio de atención para la salud, debido a la influencia benéfica sobre el ser humano. Se fundamenta en las últimas investigaciones multidisciplinarias de campos como: la medicina, la biología y la arquitectura; principalmente en aspectos sobre Teoría del color, Biofilia (Biophilia)¹⁰ y Biomimesis (Biomimicry)¹¹.

En el **capítulo cinco**, con la finalidad de facilitar la comprensión del fenómeno de la luz natural de una manera global desde un punto de vista teórico y contar con una herramienta que ejemplificara e incluyera los diversos parámetros relacionados al diseño de la luz natural de un espacio arquitectónico en la práctica, se aplicó el modelo conceptual “Parámetros de diseño

⁹ **Fovea**, (del latín, que significa *pozo o trampa*) es una parte central del ojo. Porción pequeña de la retina de los primates, carente de bastones y con gran cantidad de conos, que constituye el punto de máxima agudeza visual. Real Academia Española (RAE).

¹⁰ **Biomimesis** (*Biomimicry*) es un término también conocido como biomimetismo, (*bio-vida* y *mimesis* – imitar) hace referencia al proceso de entender y aplicar a problemas humanos, soluciones procedentes de la naturaleza en forma de principios biológicos, biomateriales, o de cualquier otra índole (Wikipedia).

¹¹ **Biofilia** (*Biophilia*) es un término que se atribuye a la afinidad y apreciación innata de los seres humanos hacia lo viviente, considerado como el sentido de conexión con la naturaleza.

de la luz natural” (Conceptual design metrics for daylighting)¹² para la evaluación de la calidad lumínica de un quirófano con luz natural, con parámetros señalados por normatividad.

El **capítulo seis** presenta el estudio experimental tecnológico que se realizó en la unidad quirúrgica del Hospital Oftalmológico Nuestra Señora de la Luz¹³ (HOL), debido a las condiciones arquitectónicas particulares que guarda al incluir luz natural en su diseño. Se evaluó cuantitativamente la iluminación de un quirófano con equipo de medición especializado (fotómetros¹⁴), se analizó el funcionamiento de una unidad quirúrgica, los procesos operativos del personal médico, el equipamiento médico de la cirugía y las necesidades primordiales al interior de un quirófano, para poder estratificar las variables que determinan la calidad de la iluminación. Lo que permitió explicar mediante diagramas y gráficas la distribución de la iluminación, la valoración cualitativa de contar con luz natural en el bloque quirúrgico, debido a que los valores cuantificados de iluminancia al interior solo corresponden en un promedio al 0.08% de la iluminancia global disponible en el exterior¹⁵. También se correlacionó un experimento realizado en el centro de la Ciudad de México donde se midieron parámetros como: iluminancia global, iluminancia difusa e irradiancia con la finalidad de contar con la referencia de valores en otra zona de la ciudad medidos bajo la misma metodología.

La investigación realizada fue enfocada hacia la unidad quirúrgica debido a que no existe antecedente alguno sobre estudios lumínicos que se hallan realizado a los quirófanos y su estudio permite generar las bases para responder a nuevas necesidades del equipo médico y de los usuarios (enfermeras, médicos y pacientes). Ya que en los próximos años los quirófanos tienden a ser espacios arquitectónicos contenedores de una combinación de: tecnología médica cada vez más sofisticada, de procedimientos quirúrgicos más avanzados. Los cuales han dado lugar a la robotización del equipo quirúrgico y por lo tanto son consumidores de grandes cantidades de energía, lo cual ha propiciado la búsqueda de su ahorro por medio de maximizar la eficiencia del consumo energético y de disminuir el tamaño del equipamiento médico (lámpara quirúrgica, equipo de computo y monitoreo del paciente, microscopios, así como equipo médico diverso).

El bloque quirúrgico y las instalaciones especiales que requiere para su funcionamiento son decisiones de un grupo multidisciplinario de especialistas (arquitectos, ingenieros, biomédicos, médicos) encargados de diseñar, construir y mantener los espacios para la salud, que obedecen normativas nacionales e internacionales que especifican los parámetros

¹² **R.P. Leslie, L.C. Radetsky, A.M. Smith (2012).** “Conceptual design metrics for daylighting”. Lighting Research and Technology September. 44: 277-290, first published on November 8, 2011. Esta herramienta llamada “tablero de iluminación natural” (*daylighting dashboard*) evalúa ocho objetivos del diseño de la luz natural mediante una representación visual del potencial de diseño para cumplir ocho objetivos de diseño: iluminancia media, cobertura, luz difusa, autonomía de la luz natural, estímulo circadiano, área de acristalamiento, vistas y ganancia de calor solar. Aplicado en aulas escolares.

¹³ Desde 1876 se inició como Institución Oftalmológica Valdivieso, ahora **Fundación Hospital Nuestra Señora de la Luz I.A.P. (HOL)**. Con dirección en: Ezequiel Montes #135 C.P. 06030, Del. Cuauhtémoc, México, D.F. Ahora es uno de los tres principales hospitales oftalmológicos de la Cd. de México.

¹⁴ El **fotómetro** es un equipo que mide la iluminancia en luxes, correspondiente a la porción del espectro visible entre los 380 nanómetros y los 750 nanómetros.

¹⁵ El **dato de un día** del experimento (domingo 24 de junio de 2012) de 110 kilolux disponibles en iluminancia global al exterior (considerado como el 100%), la iluminación difusa que incide al interior del quirófano corresponde a solo el 0.08% con 95 lux a la hora de la culminación solar (13:39hrs.). Los requerimientos de una sala de cirugía para las lámparas quirúrgicas son de 100,000 lux y un rango entre 500 y hasta 1000 lux para la unidad quirúrgica (IESNA,00; IDAE,01; CENETEC,05).

necesarios para garantizar la seguridad y calidad del servicio. En consecuencia los espacios para la salud poseerán características y cualidades que repercutirán en el usuario, que se le confieren desde su concepción hasta su operación mediante la percepción en conjunto del espacio por medio de sus componentes como; materiales, circulaciones, iluminación, capacidad, flexibilidad y equipamiento, entre otros.

Este documento se encuentra dirigido a quienes se interesen por el fenómeno de la luz (natural y artificial) y los espacios para la salud (planeación, diseño, construcción, operación y mantenimiento) de manera conjunta o de manera singular de acuerdo a los temas abordados. En el encontrará conceptos y relaciones del análisis de la luz enfocado a los espacios para la salud con una visión integral prevaleciendo la salud del ser humano, estructurado a partir del estudio teórico de las necesidades lumínicas de una sala quirúrgica generalizada y un estudio experimental en un quirófano oftalmológico con luz natural. Con el interés de establecer las bases para mejorar la calidad de la iluminación en unidades quirúrgicas mediante la implementación del uso de luz natural.

1.1 LUZ, UN FENÓMENO DINÁMICO

1.1.1 *Magnitudes Fotométricas*

1.1.2 *Color, resultado de la luz*

- a) *Sistema de colorimetría CIE*
- b) *Sistemas de ordenación del color*
- c) *Temperatura de color*
- d) *Medición de aplicaciones*

1.1.3 *Fuentes de iluminación y su interacción*

a) *Luz natural*

- *Características Climáticas*
- *Características Geométricas*
- *Características Constructivas*
- *Aspectos cuantitativos*
 - *Componentes de la Luz Natural*
 - *Disponibilidad de la Luz Natural*
 - *Factor de la luz de día*

b) *Luz artificial*

- *Principios de operación y consideraciones de diseño de los sistemas involucrados en la iluminación artificial, aplicados a quirófanos.*
 - *Lámparas quirúrgicas*
 - *Iluminación general del quirófano*
 - *Sistemas de Iluminación especial, control y automatización.*



CAPITULO 1

FUNDAMENTOS DEL FENÓMENO DE LA LUZ

1.1 LUZ, UN FENÓMENO DINÁMICO

En principio para conocer las relaciones que se establecen entre el fenómeno de la luz, las actividades que realiza el hombre y la arquitectura, el siguiente capítulo aborda los fundamentos científicos de la luz como un fenómeno físico. Por tanto, requiere ser explicado como un aspecto mensurable como en otras áreas de las ciencias que obedecen leyes matemáticas y físicas.

De modo que, existen diversas teorías que explican la naturaleza de la luz, la teoría cuántica y la electromagnética proveen la explicación de las características de la energía radiante, es decir que son partículas de energía (quantum-fotón) que se propagan en forma de onda, lo cual ha permitido su representación grafica, en un orden de acuerdo a su frecuencia. La energía radiante se transmite a la misma velocidad en el espacio exterior (299,793 km/s, o 186,282 mi/s) aunque difiera su longitud de onda y frecuencia, la velocidad puede ser alterada de acuerdo al medio en el que viaja (IESNA,00).

Sin embargo, para esta investigación se considerará a la luz como una energía radiante capaz de excitar la retina humana y crear la sensación visual (IESNA, 2000). Esta porción de energía radiante del espectro electromagnético es conocida como “el rango visible”, la cual comprende las longitudes de onda desde 380 nanómetros hasta 760 nanómetros aproximadamente, debido a la sensibilidad de los foto receptores (conos, bastones y ρ) del sistema visual humano.

Debido a las diferencias individuales que se pueden llegar a presentar en la sensibilidad espectral, la cual es relativa en el sistema visual humano por la diferente percepción de claridad a cada longitud de onda del espectro visible, la Comisión Internacional de iluminación CIE adoptó dos curvas de sensibilidad espectral relativa $V(\lambda)$ para un observador estándar derivado de diversos experimentos realizados. Una para condiciones fotópicas (altos niveles de iluminación) en el año de 1924 y otra para condiciones escotópicas (niveles bajos de iluminación) en el año 1951 como un acuerdo internacional (Colombo y O’Donell, 02). La relevancia de estas curvas es que ejemplifican los valores máximos de la sensibilidad del ojo en ambas condiciones, 555nm en condiciones fotópicas y 507nm en condiciones escotópicas.

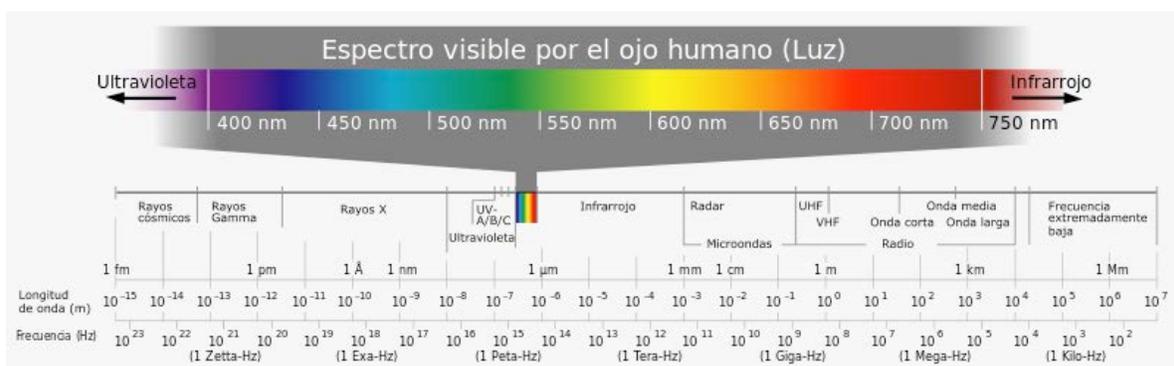


Fig. 1. Espectro electromagnético.

Fuente: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/b/b6/Electromagnetic_spectrum-es.svg/800px-Electromagnetic_spectrum-es.png

1.1.1 MAGNITUDES FOTOMÉTRICAS

La mensurabilidad de la luz requiere de magnitudes que expresen numéricamente su valor, existen diversas magnitudes entre ellas las radiométricas que cuantifican la cantidad de radiación que emite una fuente de energía de ondas electromagnéticas.

El **flujo radiante** es la cantidad de energía emitida por unidad de tiempo, medido en Watt (W) y es la medida fundamental de la radiación electromagnética por una fuente. La **irradiancia** es utilizada para describir la potencia de la radiación incidente en una superficie perpendicular a los rayos solares por una unidad de área (1m^2), en una unidad de tiempo (1seg.) a una distancia media tierra-sol fuera de la atmosfera terrestre, utilizada para definir la constante solar (Zeevaert, 84).

Existe una relación entre las diversas magnitudes y sus unidades sobre las cuales la luz es valorada, tal es el caso del flujo radiante y el flujo luminoso (magnitud radiométrica y fotométrica) el cual define la eficiencia luminosa de una fuente como una lámpara, luminaria, cielo, etc.

Las magnitudes fotométricas cuantifican la radiación a la que es sensible el ojo humano, es decir el rango visible. Por ello se retoman ciertas definiciones que permiten explicar dicha relación, tales como: **flujo luminoso** que es la cantidad del efecto de luz total emitida por una fuente luminosa en todas direcciones, se mide en lúmenes (lm). Se desprende de la cantidad de energía radiante por unidad de tiempo multiplicada por la sensibilidad espectral relativa del sistema visual humano, integrada sobre el rango de longitudes de onda visible. La **Intensidad luminosa (I)** se utiliza para describir la distribución de luz proveniente de una fuente luminosa y las gráficas de isocandelas permiten visualizar gráficamente la manera en como se distribuye la intensidad luminosa de una fuente luminosa (lámpara, luminaria, etc.) por medio de coordenadas polares o cartesianas y es el flujo emitido por unidad de ángulo sólido en una sola dirección, medida en candelas (equivale a un lumen / estereorradián) esta se deriva de la intensidad de radiación.

La **Iluminancia (E)** es el flujo luminoso incidente por unidad de área en una superficie, se mide en lux (lx) que equivale a lm/m^2 . Se realiza en planos horizontales, conocido como plano de trabajo (Iluminancia Horizontal) y sobre planos verticales como: fachadas, paredes, etc. (Iluminancia Vertical). Cuantifica la cantidad de luz que llega a una superficie por medio de la siguiente formula.

$$E=I/d^2 \text{ (cuando es perpendicular a la dirección}$$

de propagación de la radiación incidente)

$$E=(I/d^2)\cos\theta \text{ (cuando no es perpendicular a la dirección}$$

de propagación de la radiación incidente)

Donde:

d= es la distancia desde la fuente luminosa hasta la superficie que llega el flujo luminoso

θ = es el ángulo de inclinación de la superficie

La **Luminancia (L)**, es la intensidad luminosa emitida por una fuente o superficie en dirección del observador, dividida por la unidad de área proyectada, su unidad es la candela por metro cuadrado (cd/m^2). Sin embargo, existen superficies difusoras perfectas y la luminancia resulta independiente de la dirección del observador. La ley de Lambert o ley de los cosenos (*IESNA,00*), dice que la iluminancia de cualquier superficie varía según el coseno del ángulo de incidencia, que es el ángulo entre la normal de la superficie y la dirección de la luz incidente.

La iluminancia y la luminancia son las magnitudes más importantes en términos fotométricos, debido a que son las variables que aprecia el ojo humano, permiten indicar la calidad de la iluminación desde el punto de vista del usuario y por lo tanto son las más utilizadas por diseñadores de sistemas de iluminación para cuantificar el medio ambiente visual de un espacio arquitectónico (*Colombo y O Donell, 02*).

Tabla 1. Características mesurables de la luz, recursos luminosos y medición de luz en materiales. Fuente: Reinterpretación personal del cuadro "Some Measurable Characteristics of Light, Light Sources, and Lighting Materials". IESNA Lighting hand book pag. 48.

Característica	Unidad de dimensionamiento	Equipo	Técnica
LUZ			
<i>Longitud de onda</i>	nanómetro	Espectrómetro	Laboratorio
<i>Color</i>	n/a	Espectrómetro y colorímetro	Laboratorio
<i>Iluminancia</i>	Lumen por unidad de área (lux y pie candela)	Fotómetro	Laboratorio o campo
<i>Orientación y polarización</i>	Grados (Angulo)	Análisis de prisma de Nicol	Laboratorio
<i>Grado de polarización</i>	Porcentaje (cociente sin dimensión)	Fotómetro de polarización	Laboratorio
RECURSOS LUMINOSOS			
<i>Energía irradiada</i>	Joule por metro cuadrado	Radiómetro calibrado	Laboratorio
<i>Temperatura de color</i>	Kelvin (K)	Colorímetro o fotómetro filtrado	Laboratorio o campo
<i>Intensidad luminosa</i>	Candela	Fotómetro	Laboratorio o campo
<i>Luminancia</i>	Candela por unidad de área	Fotómetro o medidor de luminancia	Laboratorio o campo
<i>Distribución de potencia</i>	Watts por nanómetros	espectro radiómetro	Laboratorio

<i>espectral</i>			
<i>Consumo de potencia</i>	Watt	Vatímetro o voltímetro y amperímetro de corriente directa y circuitos de corriente alterna de factor de potencia unitario	Laboratorio o campo
<i>Salida de Luz (flujo total)</i>	Lumen	Fotómetro de esfera integrado	Laboratorio
<i>Distribución zonal</i>	Lumen o candelas	Distribución o gonio fotómetro	Laboratorio
LUZ EN MATERIALES			
<i>Reflectancia</i>	Porcentaje (cociente sin dimensión)	Reflectómetro	Laboratorio o campo
<i>Trasmitancia</i>	Porcentaje (cociente sin dimensión)	Fotómetro	Laboratorio o campo
<i>Reflectancia espectral y transmitancia</i>	Porcentaje (en longitud de onda específicas)	Espectrómetro	Laboratorio
<i>Densidad óptica</i>	Numero adimensional	Densitómetro	Laboratorio

1.1.2 COLOR, RESULTADO DE LA LUZ

Adicionales a las magnitudes anteriormente descritas se encuentran las colorimétricas, que consideran la composición espectral de la luz percibida por el ojo. Es decir que la percepción del color que se le atribuye a un objeto o a un recurso luminoso esta basada en la distribución espectral de la luz y es algo que sucede instantáneamente.

La percepción del color es el resultado de una serie de interacciones complejas de diversos factores, circunstancias y características, entre ellas; el objeto, recurso luminoso, observador, la adaptación visual del observador, la luz incidente en el objeto, entorno, dirección de la visual, etc. El color es definido como una característica de la luz donde el observador puede distinguir entre manchas de luz del mismo tamaño, forma y estructura, en términos de cantidades de energía radiante de diferentes longitudes de onda del espectro visualmente efectivo (380nm-780nm). A cada rango de longitud de onda se le percibe de un color, es decir que longitudes de onda larga se perciben como una luz roja, longitudes de onda medias se perciben como amarillo/verde y longitudes de onda corta se perciben como azul (ver capítulo 2), pero si se combinan todas ellas de una manera proporcional, se consigue percibir la luz blanca, como la luz natural.

El color de un objeto es definido como el color de la luz reflejada o transmitida por el objeto cuando es iluminado por un recurso luminoso, para este hecho CIE estableció el observador estándar (condiciones de observación). Es la base de las mediciones sobre el color que parten de que el color puede ser calculado por la combinación de diversas longitudes de

onda con datos del observador estándar. Las características de la igualación del color adoptado por CIE están definidas por la combinación de tres valores del espectro (rojo, azul y verde), mediante funciones que consideran mediciones espectro radiométricas del recurso luminoso para calcular la cromaticidad de la luz. Los colores idénticos se pueden producir no solo por composiciones espectrales idénticas, si no también por composiciones espectrales distintas, a estos colores se denominan Metámeros (*Nassau, 95*).

La evaluación visual de la apariencia de los objetos y de los recursos luminosos derivan de la percepción de cada persona, sin embargo, para poder describir la percepción del color, se utilizan tres atributos: tono, saturación y claridad, que son la base del atlas del color de Munsell.

- El tono (hue) atributo que permite clasificar en base al color básico predominante (rojo, amarillo, verde, azul o algún intermedio como el púrpura).
- La claridad (brightness) atributo asociado a la luminosidad o cantidad de luz, emitida o reflejada del objeto (asociada a la luminancia).
- La saturación (saturation) atributo correspondiente a la pureza del tono. La relación entre el grado de intensidad del color y el brillo del mismo.

A) SISTEMA DE COLORIMETRÍA CIE

El sistema colorimétrico de CIE, es una manera ordenada de representar el color de la luz, mediante construcciones matemáticas donde cada distribución espectral vista como un color ocupa una posición diferente en éste sistema colorimétrico. Se ha calculado que el hombre puede distinguir hasta 10 millones de colores, a partir de este hecho se requiere representar el color inequívocamente y reproducirlo con exactitud, para ello se explica de una manera simplificada el método CIE.

El método básico tiene su origen en el año de 1931 y posteriormente versiones mas complejas están basadas en que cualquier color puede ser igualado por la combinación de tres longitudes de onda en las regiones del azul, verde y rojo (RGB- red, green and blue). De acuerdo con Colombo menciona que en 1971 CIE desarrolló el sistema colorimétrico basado en tres colores imaginarios, posibles matemáticamente aunque no físicamente, llamados valores triestímulos. La característica fundamental de este nuevo sistema es que permite igualar cualquier color con combinaciones positivas de estos tres nuevos primarios (X,Y,Z), sin tener que recurrir a porcentajes negativos. Así se obtiene el diagrama de cromaticidad CIE, donde a partir de los valores (x, y, llamados primarios “cromaticidad del color”) se puede calcular la cantidad relativa de (z- tercer primario). El diagrama brinda reglas de mezcla de colores en los ejes (x, y), el cual esta dado para un valor de claridad del color (*IESNA, 00; Nassau, 95*).

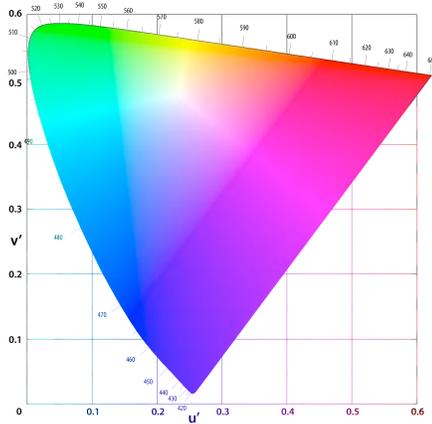


Fig. 2. Diagrama de cromaticidad de CIE 1976.
Fuente:
http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/83/CIE_1976_UCS.png

B) SISTEMAS DE ORDENACIÓN DEL COLOR

Otra manera de representar el color de la luz es mediante el atlas del color, el mas conocido se trata del **Sistema Munsell**, donde la posición de cada color es identificada por un código alfanumérico que corresponden a: tono, claridad y saturación. Cada uno de estos parámetros cuenta con su escala propia. El tono consiste en 100 divisiones de un círculo con cinco tonos principales (rojo, amarillo, verde, azul y purpura), cinco tonos intermedios (rojo/amarillo, amarillo/verde, verde/azul, azul/púrpura, púrpura /rojo). La claridad se representa en un eje vertical que abarca desde 1- negro, hasta el 10 - blanco. La escala de saturación se indica de manera radial, el centro tiene valor cero con una saturación neutral, hasta la saturación máxima con un valor de 20. Comúnmente este sistema se emplea en catálogos para identificar pinturas, materiales de construcción, etc. Sin embargo, no resulta ser de gran exactitud. Existen otros sistemas de especificación del color como; ISCC-NBS Method of Designating Colors, OSA UCS System, Natural Color System (NCS), DIN System. Sin embargo un punto relevante es la correlación entre ellos para convertir un color de un sistema a otro (IESNA,00).

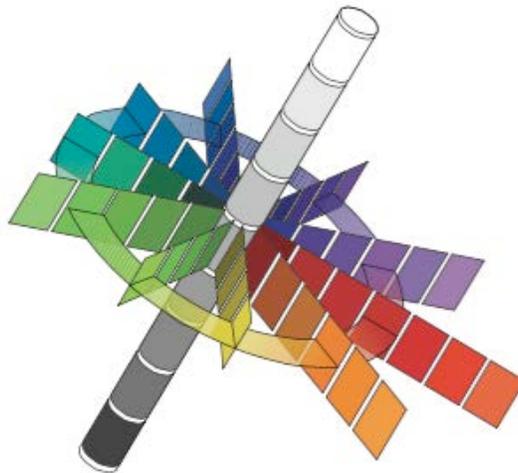


Fig. 3. Sistema Munsell. Fuente: Munsell color Services

C) TEMPERATURA DEL COLOR

Como una convención las fuentes luminosas se describen por su **temperatura de color**, que se trata de un término utilizado en iluminación que se refiere al color que irradia un cuerpo negro definido por la ley de Radiación de Planck. El color percibido que irradia el cuerpo negro al incrementar su temperatura cambia de color al: rojo, naranja, amarillo, blanco, azul. La temperatura de color es una especificación de cromaticidad solamente ya que es un color correlacionado, es decir que se parece al color que irradia el cuerpo negro, este concepto no representa la potencia de distribución espectral (SPD- spectral power distribution) de una fuente luminosa (*IESNA,00*). Temperaturas mayores a 4000K pertenecen a luz blanca y fría y menores a 3000K tienen apariencia cálida.

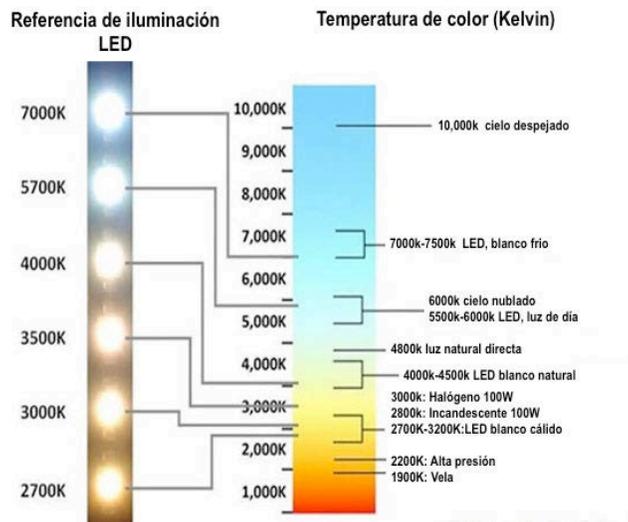


Fig. 4. Escala Kelvin, correlacionada con iluminación LED

Fuente: <http://innovalights.com/wp-content/uploads/2013/05/temperatura-led.jpg>

D) MEDICIÓN DE APLICACIONES

Al realizar experimentos que requieren de mediciones, es necesario contar con instrumentos de medición especializada, que consisten en detectar o amplificar la información, en un método de visualización o almacenamiento, como un elemento óptico o un sistema que recaba la cantidad de energía radiante. Dependiendo del objetivo del estudio y de la relación geométrica entre la fuente y el detector, la cantidad medida podría ser: radiación, irradiancia, intensidad radiante, luminancia, iluminancia, intensidad luminosa (*IESNA,00*).

Un ejemplo de ello es el radiómetro el cual mide la energía radiante en un amplio rango de longitudes de onda que pueden incluir las regiones IR del espectro ultravioleta y visible. También existen dispositivos que detectan una respuesta de una banda de longitud de onda específica como el fotómetro, el cual es un radiómetro filtrado ópticamente o electrónicamente para aproximar la función de la sensibilidad espectral de la fovea, la característica de la respuesta

espectral del fotómetro esta diseñado para que coincida con el observador estándar (fotópico o escotópico) de CIE (*IESNA,00*). El colorímetro es un radiómetro mas elaborado que incorpora múltiples detectores corregidos para responder de acuerdo con las funciones triestímulos.

Actualmente existe una amplia gama de detectores y la elección del dispositivo dependerá del objetivo de la aplicación (respuesta espectral, geometría y calidad), sin embargo, hay que tener presente que las características del dispositivo afectara la calidad de la señal de las mediciones en términos de: ruido, amplitud, tiempo de respuesta, frecuencia, linealidad, campo de visión, entre otros¹. Al realizar mediciones se debe considerar el efecto provocado por el ángulo de incidencia o efecto coseno, que es un error resultante de hasta el 25 % por debajo del valor de iluminancia verdadera, debido a que parte de la luz que llega al detector a altos ángulos de incidencia se refleja. La publicación CIE 69 sugiere métodos de corrección para este tipo de errores (*IESNA,00*).

1.1.3 FUENTES DE ILUMINACIÓN Y SU INTERACCIÓN

Las fuentes generadoras de luz o recursos luminosos pueden provenir de dos orígenes, de los fenómenos naturales y aquellos que son fabricados artificialmente por el hombre. Para esta tesis es de particular interés la luz natural proveniente del sol (iluminancia directa - **sunlight**) se trata de energía radiante con un temperatura de color de aproximadamente 6500 kelvin la cual llega desde el sol hasta el tope de la atmosfera con un rango de radiación cerca de 1350 W/m² (valor de la constante solar). La iluminancia sobre la superficie de la tierra supera los 100 kiloxules (klx) en días despejados y en días nublados la iluminancia disminuye hasta menos de 10 kiloxules (klx)². La luz que es dispersada y reflejada por la atmosfera de la tierra que a su vez determina el color azul de un cielo despejado, la apariencia rojiza de un atardecer, el color blanco de las nubes son ejemplos de dispersión de la luz por las partículas de vapor de agua en el ambiente y se le denomina (iluminancia difusa - **skylight**). A la suma de las dos componentes se le denomina iluminancia global – **Daylight**.

En el segundo caso los recursos luminosos fabricados artificialmente por el hombre se clasifican principalmente en **incandescentes** y **luminiscentes**, que implican la transformación de algún tipo de energía en radiación electromagnética tratándose de un proceso físico a nivel atómico donde se excitan y des excitan a los átomos o moléculas para generar luz.

Como parte del fenómeno que conlleva la luz, resulta que ésta manifiesta cierto comportamiento de acuerdo a la interacción que realiza con los diferentes estados de la materia, esto es desde que atraviesa la atmósfera hasta que llega a nuestros ojos y sucede tanto con la luz natural como la luz artificial. De modo que, los materiales especialmente los **acabados** con que cuenta el espacio arquitectónico donde realizamos ciertas actividades repercuten en la iluminación presente que perciben nuestros ojos debido a las **efectos ópticos (geométricos y físicos)** que manifiestan los materiales según su composición.

¹ En el capítulo 6 en el apartado de Instrumentos de medición, se especifican las características del equipo utilizado en el experimento.

² Valores medidos por el Observatorio y Laboratorio de Interacción con el Medio (OLIM).

Existen causas físicas y químicas que originan el color como lo percibimos, las cuales se agrupan en 5 grupos; vibraciones y excitaciones, efectos de campo ligados, efectos orbitales moleculares, efectos de banda de energía, efectos ópticos geométricos y físicos. El color se percibe cuando las longitudes de onda que constituyen la luz blanca se absorben, reflejan, refractan, dispersan o difractan por la materia en su camino a nuestros ojos (*Shevell, 03*).

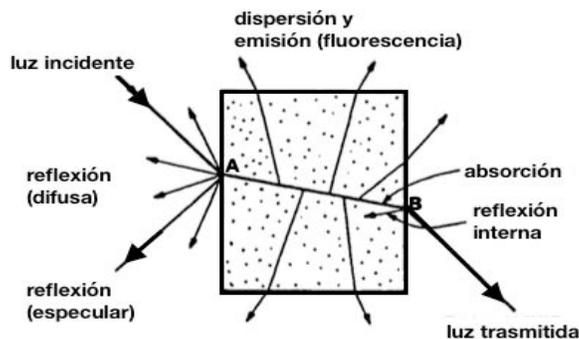


Fig. 5. Efectos que sufre un rayo de luz al traspasar un bloque semitransparente. Facsímil de Nassau, 95.

Reflexión es un proceso por el cual parte de la luz incidente en un medio o superficie cambia de dirección, de manera especular en superficies lisas-pulidas (acabado espejo, plateado o aluminado) donde se refleja la máxima cantidad de luz con el mismo ángulo de incidencia. La reflexión semi-difusa aplica para superficies especulares en planos irregulares ya sean corrugadas, rugosas o grabadas las cuales reflejan los rayos paralelos en diferentes ángulos en forma de cono. La reflexión difusa ocurre cuando se trata de superficies compuestas por pequeñas partículas de cristales o pigmentos (acabado mate) y cada rayo incidente obedece a la ley de reflexión, pero al tratarse de una superficie en diferentes planos, refleja la luz en diferentes ángulos (*IESNA,00*).

Refracción la luz cambia la velocidad de su propagación, más no su frecuencia, esto ocurre cuando el rayo de luz deja un material y pasa a otro con diferente densidad óptica, siguiendo la ley de refracción o ley de Snell's. La refracción de los rayos de luz sobre una superficie plana causa una flexión en el rayo incidente y un desplazamiento sobre los rayos que emergen. Algunos ejemplos de refracción son: un vaso con agua, faros de un automóvil, lentes fresnel, entre otros (*IESNA,00*).

Transmisión ocurre con ciertos materiales con cierto grado de transparencia como el vidrio, plástico, cristales entre otros. La transmisión de la luminancia de un material es el radio del total de la luz emitida hacia el total de la luz incidente la cual es afectada por reflexiones de la superficie del material y absorciones (*IESNA,00*).

Interferencia es un proceso que ocurre cuando dos ondas de luz de la misma longitud de onda vienen juntas pero en diferentes fases de vibración, entonces se combinan para formar una sola onda. Recubrimientos de interferencia óptica han sido utilizados en cámaras, proyectores, instrumentos ópticos para reducir la reflexión de superficies de transmisión, separar la

luz del calor, transmitir o reflejar la luz de acuerdo a un color, incrementar las reflexiones de reflectores o mejorar el control de ciertas funciones de iluminación. Naturalmente existen ejemplos de interferencia óptica como las burbujas de jabón, manchas de aceite, insectos, peces y aves con colores iridiscentes. Existen las películas de baja Reflectancia (low-reflectance) que funcionan como películas de interferencia óptica dieléctrica (aislantes) aplicadas para reducir la reflectancia, incrementar la transmitancia y como consecuencia incrementar contrastes (IESNA,00).

La **difracción** o división de fracciones es un fenómeno característico de las ondas (sonoras, de luz, de radio, en líquidos) por el cual se produce una desviación de los rayos luminosos cuando pasan por un cuerpo opaco o por una abertura de diámetro menor o igual que la longitud de onda. Ejemplo, una rendija por donde pasa la luz (Wikipedia,14).

La **dispersión** es un fenómeno que descubrió Newton, donde se presenta la ruptura de un haz de luz (como el arco iris) y la difusión de sus rayos en todas las direcciones por la reflexión y la refracción irregular de partículas microscópicas cristalinas, gotas o burbujas dentro de un medio de transmisión, o de irregularidades microscópicas de la superficie reflectante (IESNA,00). Algunos de nuestros más espectaculares fenómenos atmosféricos se derivan de los diversos tipos de dispersión: el azul del cielo, el rojo de la puesta de sol, el blanco de las nubes. En condiciones de un día despejado y sin nubes, la luz natural es una mezcla de la iluminancia directa del sol con la iluminancia difusa dispersada por la atmósfera y debido a que la onda corta de la luz se dispersa más, el cielo cobra un color azul.

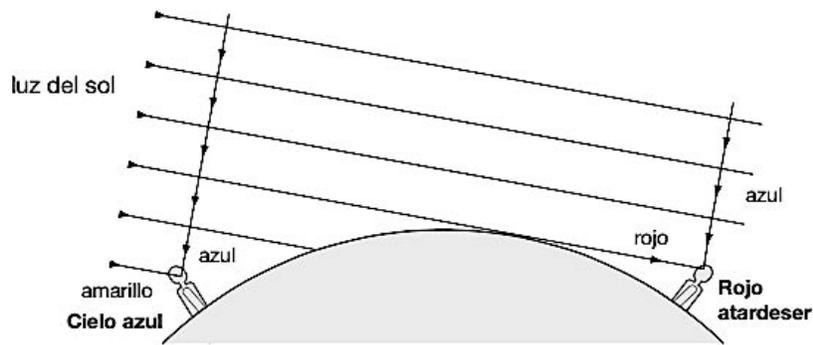


Fig. 6. Efectos de dispersión de la atmosfera. (cielo azul y rojo atardecer). Facsímil de Shevell, 03.

La **absorción** óptica se produce cuando la radiación es captada dentro del rango de la luz visible, es decir cuando un haz de luz pasa a través de un medio opaco o transparente atenuando las ondas electromagnéticas. Todos los materiales absorben algún rango de frecuencias (absorción selectiva), este proceso de absorción y reemisión de luz visible es lo que percibimos como el color de la materia, o bien la energía absorbida se transforma en calor (IESNA,00; Nassau,95).

A) LUZ NATURAL

El recurso luminoso más importante es el que emite el sol conocido como "luz natural" con una temperatura de color entre los 6000k-7000k en su superficie exterior, posee como principal característica la **variabilidad** (Hunt,06). La cual adquiere debido a una serie de variables

(climáticas, geométricas y constructivas) que interactúan de manera distinta a lo largo del día y del año (Zeevaert,12), debido al movimiento de rotación y traslación de la tierra (día – noche y estaciones del año) y la inclinación del eje terrestre, modificando la incidencia de los rayos solares (posición del sol) en un punto sobre la tierra, lo que hace que la luz se manifieste de una manera singular. La posición del sol se expresa mediante el ángulo de la altitud solar (ángulo de la vertical del sol respecto al horizonte) y con el ángulo de azimut (ángulo horizontal del sol hacia el sur desde el hemisferio norte).

La determinación exacta de sus niveles es compleja debido a que la luz atraviesa la atmosfera del sol y de la tierra, las cuales no mantienen niveles neutrales y constantes en cuanto a sus absorciones espectrales (Hunt,06). Es decir que la luz al traspasar la atmosfera adquiere características particulares que le confirieron las condiciones atmosféricas presentes (viento, precipitación, humedad, nubosidad, contaminación). Es decir que la luz que llega en el tope de la atmosfera una porción es reflejada, dispersada y atenuada por las nubes, el vapor de agua, polvo, partículas suspendidas y contaminación presente, produciendo la iluminancia del cielo (IESNA,00). La Comisión Internacional de Iluminación (CIE) ha realizado una clasificación de modelos de cielos en diversas categorías de acuerdo a su eficiencia luminosa, que abarcan desde el cielo claro (día despejado) hasta el cielo completamente nublado.

Posteriormente cuando la luz traspasó la atmosfera y ésta le impregno características propias, las partículas luminosas manifiestan diversos efectos ópticos (reflexión, refracción, polarización, interferencia, difracción, dispersión y absorción) al interactuar con los estados de la materia (gaseoso, liquido y solido), la luz resultante es reflejada sobre la superficie de la tierra y por consiguiente en el entorno urbano-arquitectónico, conocer la composición de la atmósfera y medir los parámetros que la definen permite explicar la variabilidad el fenómeno de la luz. Según IESNA la luz que penetra por una ventana representa de un 10% a un 15% del total disponible al exterior.

El estudio de este fenómeno por medio de la observación ha llevado al establecimiento de sus componentes y características que la definen como variable y **dinámica**, de modo que se puede inferir que la luz que perciben nuestros ojos se trata de un fenómeno cíclico que ocurre en un ambiente físico con interacciones irrepetibles entre sus componentes. Sin embargo, la comprensión de su comportamiento bajo ciertas circunstancias permitirá su pronostico con mayor fiabilidad. En el ámbito de la arquitectura tiene como principal finalidad aprovechar su iluminancia de manera mas eficaz en el espacio arquitectónico según la actividad que se realiza, también como un medio para generar ahorro energético. De acuerdo con lo mencionado, se presenta el estudio de los elementos que la caracterizan en tres categorías que condicionan su variabilidad y dinamismo.

- *Características climáticas*

Las características **climáticas** están relacionadas con las condiciones atmosféricas que se presentan en un sitio en particular (precipitación, humedad, temperatura, viento, radiación solar), las cuales condicionan la disponibilidad de luz natural de un lugar (Zeevaert,__). Del griego “*klima*”, “*inclinación o curva de una superficie terrestre desde el Ecuador al Polo* (Diccionario RAE,14).

La **ubicación geográfica** de México se localiza en la región tropical y subtropical del continente americano, sus coordenadas se encuentran entre 14° 32' y 32° 43' de latitud norte del ecuador y su longitud va de los 86° 42' y 118° 22' al oeste del meridiano de Greenwich, el trópico de cáncer cruza el territorio nacional en el sentido horizontal en la latitud norte 23° 27'.

La **precipitación** en nuestro país se presenta en dos vertientes, al norte del trópico de cáncer (altiplano norte, central y planicie de la costa noroeste) es muy escasa, generando un clima seco. Al sur (hacia la sierra norte de Chiapas) se presenta la vertiente opuesta con un nivel de precipitación alta, generando un clima húmedo. En la ciudad de México las nubes que se forman en el centro de la ciudad son diferentes de las que se forman al sur, debido al origen convectivo oreográfico que se forma al pie de montaña de la sierra, con vientos que vienen del noroeste al suroeste.

La **temperatura** se relaciona con los niveles de insolación y la duración del día, ésta se modifica por la altitud sobre el nivel del mar y las montañas. En la región subtropical es principalmente seca en la región tropical es principalmente húmeda. Las temperaturas máximas se presentan en el centro del territorio en los meses de mayo a septiembre, al norte del trópico de cáncer ocurren en los meses de julio a agosto y por debajo del trópico ocurren en el mes de abril dando paso al periodo de lluvias.

La **radiación** es la principal fuente de energía con que cuenta nuestro planeta proveniente del sol, la cantidad de radiación solar que recibe la superficie terrestre esta en función de la localización geográfica de México, así como la latitud, altitud, topografía y sobre todo de las condiciones de la atmosfera de cada región del país. Sin embargo, se puede decir que en verano los niveles aumentan y en invierno disminuyen, así mismo al amanecer se presentan los niveles mínimos y se elevan hacia el medio día. La potencia con que se recibe la radiación en una superficie (1m²) determinada se conoce como *irradiancia* que se mide en unidades de W/m². El valor de la constante solar es de 1367w/m² en el tope de la atmosfera con una variación del 3% debido a la excentricidad de la orbita terrestre lo cual hace variar la distancia media tierra- sol en 1.78% (Zeevaert, 81).

La radiación solar es absorbida por gases, agua y aerosoles (turbiedad atmosférica) contenidos en la atmósfera, se clasifica como radiación directa y radiación difusa, en condiciones de días despejados se tiene radiación directa del sol y la radiación difusa proviene del cielo y de la radiación reflejada por la superficie terrestre (Zeevaert, 81). La radiación solar directa perpendicular (Zeevaert, 81) a los rayos solares (G_{bn}) se relaciona con la radiación directa incidente sobre cualquier superficie (G_{bo}) mediante la siguiente representación:

$$G_{bo} = G_{bn} \cos i \quad (Wm^{-2})$$

El **ángulo de incidencia** es i el cual depende la superficie, la orientación de la superficie y la posición del sol. La radiación solar puede ser conocida mediante diversos métodos (P.Mulas et.al, 05) como:

- Mediciones por medio de instrumentos especializados como los piranómetros
- Estimación por modelos
- Estimación a partir de datos de satélite
- Mapas de radiación solar

El aprovechamiento de la radiación solar para producir electricidad puede darse por métodos indirectos al calentar un fluido y generar un ciclo termodinámico o por métodos directos donde la luz del sol es convertida directamente en electricidad (*cap.8 guía Mc. Graw-Hill, 13*).

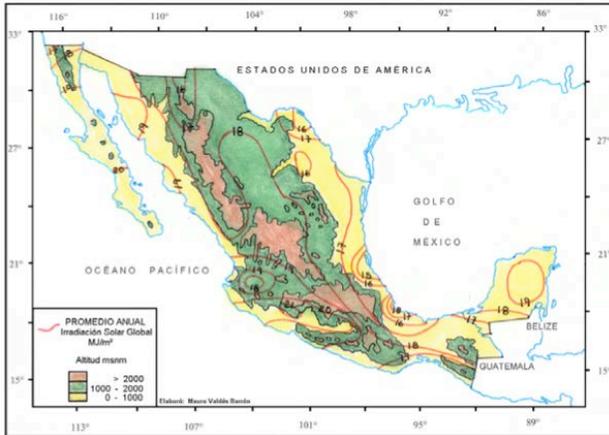


Fig.7. Isolas de Insulación promedio anual para México, en MJ/m²/día; adaptado de (Galindo y Valdés, 1992). Tomado de: “Visión a largo plazo sobre la utilización de las energías renovables en México. Energía Solar. Centro de Investigación en Energía”. Pág. 11

La **atmósfera** es una mezcla gaseosa compuesta principalmente por: nitrógeno, oxígeno, vapor de agua, partículas de polvo y contaminantes atmosféricos que envuelve la tierra y desempeña en términos sencillos el papel de filtro y difusor (absorción y dispersión) de la radiación solar ultravioleta, protegiendo la vida sobre el planeta, equilibrando las temperaturas entre el día y la noche. Esta función se le atribuye debido a su composición y a su vez se encuentra clasificada en diversas capas: tropósfera, estratósfera, mesósfera y termósfera, debido principalmente a la variación de su temperatura. Diversos acontecimientos suceden en cada una de las capas, un ejemplo de ello sucede en la atmósfera superior donde se crea el efecto del cielo azul debido a que el grado de dispersión de difracción es proporcional a la cuarta potencia de la frecuencia de la luz, de manera que las longitudes de onda más cortas se dispersan mucho más que las longitudes de onda largas (*IESNA,00*).

En la atmósfera inferior al encontrarse la mayor cantidad de partículas grandes, tal como: gotas de agua, partículas de polvo y contaminantes atmosféricos, se genera una dispersión por reflexión donde las partículas actúan como pequeños espejos y con orientaciones aleatorias producen reflejos distribuidos al azar. Fuera de la atmósfera terrestre la luz del sol tiene una temperatura de color de 5.800 K, al descender al nivel del suelo, la luz solar tiene un aspecto amarillento y una temperatura de color de aproximadamente 3.000 K. Esta diferencia es el resultado de los diversos efectos que sufre la luz de su interacción con las diversas partículas. Alternadamente por medio de la absorción las partículas convierten la energía de los fotones en calor.

En el año 2003 la Comisión Internacional de Iluminación (CIE) adoptó 15 modelos de tipos de cielo estándar (Muneer T. et. al., 10), que tratan de abarcar todo el espectro de los cielos que se encuentran en la naturaleza, cada uno representa una distribución de luminancia única. A su vez se pueden agrupar en tres subconjuntos de cinco tipos de cielos despejados, cinco tipos de cielos intermedios y cinco tipos cielos nublados.

Se han desarrollado métodos para calcular y predecir la distribución luminosa del cielo como la **Eficacia Luminosa** el cual relaciona valores de radiación solar con la iluminancia. Debido a que la eficacia luminosa de la bóveda celeste no es homogénea y de acuerdo a la porción a la cual se tiene acceso, será la cantidad y calidad de la iluminación que incida al interior de un espacio arquitectónico.

El trabajo "Iluminación natural en arquitectura. Validación de los métodos de cálculo en la cd. De México" desarrollado por Arturo Valeriano en el posgrado de arquitectura expone los métodos aplicables a la cd. De México, menciona que los expertos Richard Pérez y Tiraq Muneer quienes han desarrollado los modelos más representativos para conocer la eficacia luminosa del cielo coinciden en qué deben de realizarse mediciones de la luminancia por medio de instrumental especializado durante periodos constantes de tiempo. El criterio utilizado para la caracterización de los cielos individuales no esta claramente definido lo cual ha generando resultados ambiguos (Li et. al., 11).

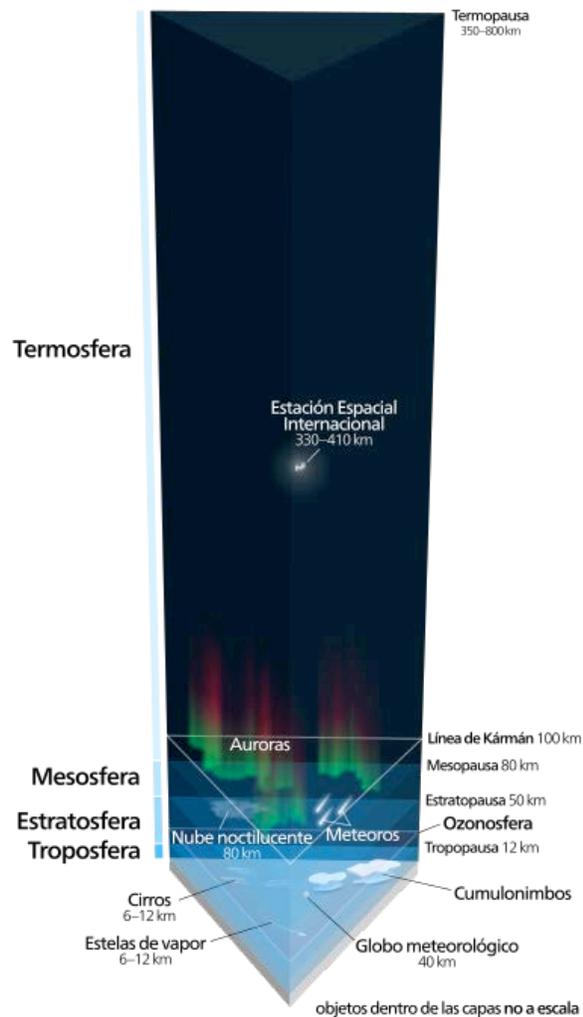


Fig. 8. Capas de la atmósfera. Fuente: <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/b0/Atmósfera.svg>

Lo anterior ha propiciado la aplicación de métodos que ayuden a su clarificación como se expone en el trabajo “*Classification of CIE standard skies using probabilistic neural networks*” el cual emplea una metodología basada en redes neuronales probabilísticas (probabilistic neural network - PNN) para la clasificación de problemas complejos en el reconocimiento de patrones mediante variables meteorológicas.

Número	Código	Tipo de cielo
1	(I1)	Cielo nublado estándar CIE, iluminancia pronunciada gradiente hacia el cenit, uniformidad azimutal.
2	(I2)	Cielo nublado con un gradiente de iluminancia pronunciada y brillo ligero hacia el sol.
3	(II1)	Cielo nublado grado moderado con uniformidad azimutal
4	(II2)	Cielo nublado grado moderado y ligero brillo hacia el sol
5	(III1)	Cielo con luminancia uniforme
6	(III2)	Cielo parcialmente nublado, sin gradientes hacia el cenit con ligero brillo hacia el sol.
7	(III3)	Cielo parcialmente nublado, sin gradientes hacia el cenit, la región circunsolar más brillante.
8	(III4)	Cielo parcialmente nublado, sin gradientes hacia el cenit, distinguiéndose corona solar.
9	(IV2)	Cielo parcialmente nublado, con el sol oscurecido
10	(IV3)	Cielo parcialmente nublado, con la región circunsolar más brillante.
11	(IV4)	Cielo blanco-azul, distinguiéndose la corona solar.
12	(V4)	Cielo claro estándar CIE, con baja turbiedad en la luminancia.
13	(V5)	Cielo claro estándar CIE, con contaminación atmosférica
14	(VI5)	Cielo turbio despejado con amplia corona solar
15	(VI6)	Cielo blanco-azul con amplia corona solar

Fig. 6. Clasificación de 15 cielos de CIE. Traducido por la autora

Fuente: Li, Danny H. W., Tang H. L, Lee Eric W. M., Muneer Tariq (2010). “*Classification of CIE standard skies using probabilistic neural networks*”.

La distribución luminosa del cielo se encuentra relacionada al tipo de nubes que se forman sobre dicha área geográfica ya que estas dispersan la luz visible, la formación de nubes esta en función de parámetros climáticos y orográficos. Al día de hoy aun no se cuenta con una distribución luminosa de la bóveda celeste de la Cd. de México es un trabajo de investigación que se encuentra en proceso³ el cual requiere personal calificado y constancia. En principio las nubes se originan por condensación (paso de vapor agua a agua líquida) o por sublimación (paso directo de vapor de agua a cristales de hielo), tratándose de una masa visible formada por cristales de nieve o gotas de agua microscópicas suspendidas en la atmósfera.

La Organización Meteorológica Mundial (*The World Meteorological Organization - WMO*) distingue 10 tipos de combinación de nubes, de acuerdo a su forma. La clasificación de nubes se originó en 1803 por Luke Howard y en 1896 apareció la primer edición del Atlas Internacional de nubes.

Tabla 2. Clasificación general de nubes

1	<i>Cirros (Ci)</i>	altas	Nubes estratiformes (paralelas a la superficie terrestre)
2	<i>Cirrocúmulos (Cc)</i>	altas	
3	<i>Cirroestratos (Ac)</i>	altas	
4	<i>Altocúmulos (As)</i>	medias	
5	<i>Altoestratos (Ns)</i>	medias	
6	<i>Nimboestratos (St)</i>	medias	
7	<i>Estratocúmulos (Sc)</i>	bajas	Nubes cumuliformes (perpendiculares a la superficie terrestre)
8	<i>Estratos (Cu)</i>	bajas	
9	<i>Cúmulos (Cb)</i>	bajas	
10	<i>Cumulonimbos (Cb)</i>	bajas	

³ Desde 1911 se realizaron las primeras medidas actinométricas en nuestro país. Sin embargo, hasta 1957 el Instituto de Ciencia Aplicada en colaboración con el Instituto de Geofísica, ambos de la UNAM, reinician formal y sistemáticamente las observaciones de la radiación solar en México (ANES,06). Actualmente se realiza un trabajo de doctorado del posgrado de arquitectura de la UNAM que mide parámetros de iluminancia e irradiancia.

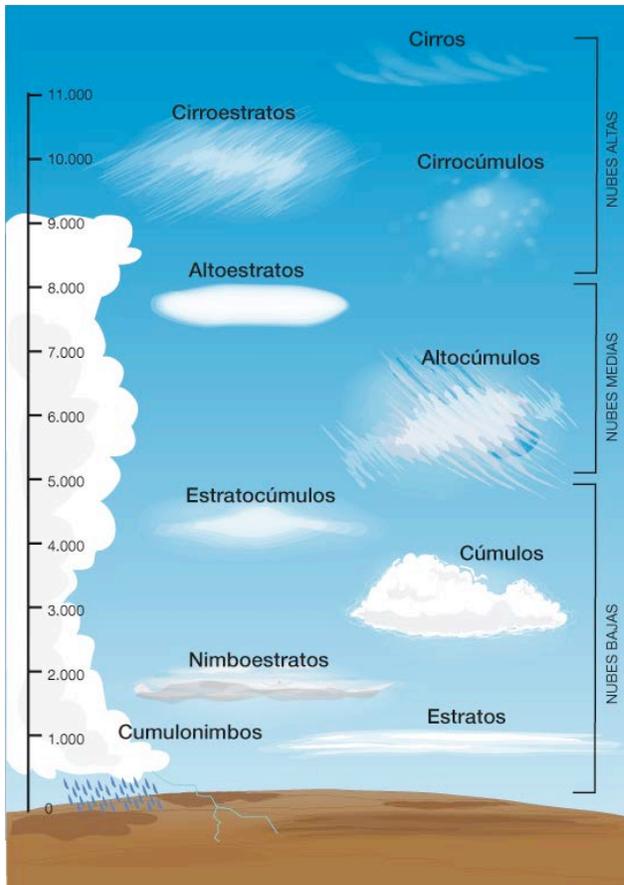


Fig. 9. Tipos de nubes.

Fuente:

http://agrega.juntadeandalucia.es/repositorio/28072010/ea/es-an_2010072811_9130111/ODE-a3165554-259e-3c06-b5c2-e07699c4b688/4.1.5.TiposNubes.png

- *Características geométricas*

Existen aspectos como la trayectoria eclíptica que sigue la tierra alrededor del sol que determina la velocidad y distancia a la que ésta se encuentra del cuerpo celeste, el ángulo de declinación (23.5°) con el que rota nuestro planeta dan origen a las estaciones del año (primavera, verano, otoño e invierno) así como a los solsticios (invierno y verano) y a los equinoccios (primavera y otoño). Las coordenadas geográficas (latitud y longitud) son un sistema de referencia de localización de un punto sobre la tierra. La latitud (paralelos) mide el ángulo entre cualquier punto y el ecuador (latitud 0°) esta puede ser hacia el norte o hacia el sur. La longitud (meridianos) mide el ángulo a lo largo del ecuador (este+, oeste-) desde cualquier punto sobre la tierra hacia el este o hacia el oeste, Greenwich es la longitud 0° .

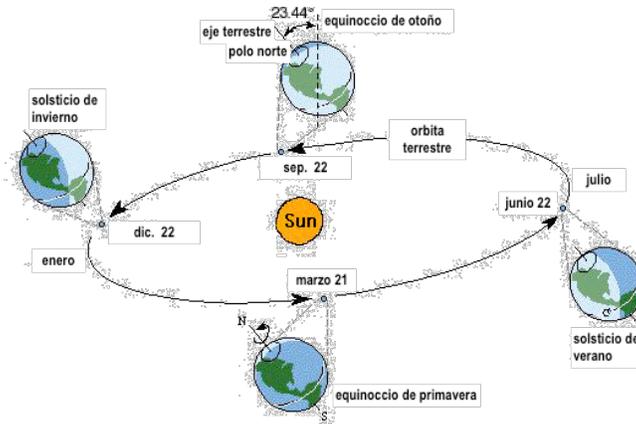


Fig. 10. Trayectoria solar. Fuente: <http://www.zo.utexas.edu/courses/bio301/EarthOrbit.GIF>

Dichos factores geométricos y astronómicos son representados por fórmulas matemáticas como: la declinación solar, ecuación del tiempo, factor de corrección tierra-sol que se relacionan con la posición que guarda el sol respecto a un punto específico sobre la superficie terrestre en una fecha y hora establecida, lo que determina la incidencia de luz natural. La posición solar puede conocerse mediante los ángulos de altitud (γ) y azimut (α) por medio de coordenadas geográficas (Zeevaert, 11). El azimut es una distancia angular medida hacia el Este, desde el Norte geográfico, hasta el punto definido por la intersección con el horizonte del círculo vertical que pasa por un objeto celeste. También es común referirla al Sur geográfico (AOAN, 13). La altitud es una distancia angular entre el horizonte y el cuerpo celeste. Se mide a lo largo del gran círculo que pasa por el objeto astronómico y cenit del lugar (AOAN, 13).

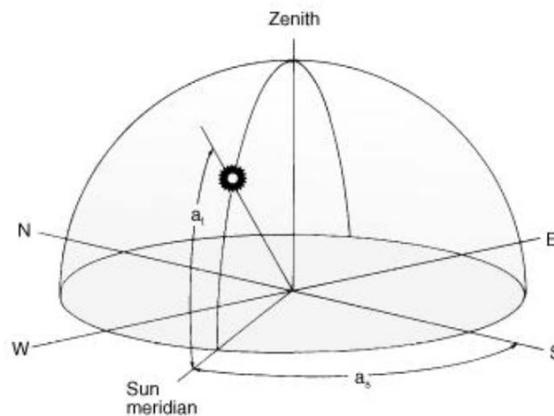


Fig. 11. Representación gráfica de los ángulos que definen la posición solar azimut (γ) y altitud(α). Fuente: (IESNA, 00).

- *Características constructivas*

Las características constructivas que definen la iluminación natural de un espacio arquitectónico están relacionadas en tres sentidos; desde una escala urbana la cual rodea al edificio o inmueble, una escala arquitectónica que define las dimensiones y proporciones del inmueble donde se llevan a cabo ciertas actividades, hasta el detalle de las superficies de los materiales que recubren dicha sala. A continuación se desglosa cada rubro con la finalidad de describir con mayor detalle los elementos que afectan la incidencia de luz solar en un espacio arquitectónico.

- Contexto urbano: se retoma la clasificación que se realizó en el trabajo de tesis “*Aportaciones cuantitativas y cualitativas para la precisión en el pronóstico de la luz natural en un inmueble del siglo XIX del centro histórico de la Ciudad de México*” realizado por Cecilia Guadarrama, sobre factores urbanos y arquitectónicos .

A grandes rasgos el contexto urbano determina la orientación de la traza-urbana y en consecuencia la orientación que poseen las fachadas principales de los inmuebles (norte, sur, este, oeste y sus variantes), por ello la planificación y diseño urbano considera las características climáticas de la ciudad para propiciar su aprovechamiento y minimizar factores nocivos. El ángulo de obstrucción es un termino utilizado en la normatividad de provisión de luz natural en otros países (*Guadarrama,11*) esta relacionado con el espacio existente entre un inmueble y otro, resultando en que a mayor ángulo de obstrucción menor cantidad de luz natural incidirá en el espacio arquitectónico.

- Espacio arquitectónico: la escala arquitectónica esta determinada por el diseñador o arquitecto que define las dimensiones, proporciones y relaciones entre los diversos locales que conforman el inmueble, también por una normativa que especifica las dimensiones mínimas del local de acuerdo a las actividades que se desempeñan en dicho espacio y por la afinidad del cliente. Es así como cada local cuenta con una orientación definida entre si, con áreas de vanos y macizos sobre fachadas que permiten el acceso o no de luz natural definiendo su distribución.
- Acabados de materiales, superficies y reflectancias: se trata del acabado de las superficies de los materiales que recubren la sala o espacio arquitectónico, éstos le proporcionan el tratamiento final a la luz disponible en dicho espacio, la cual es percibida por el ojo humano (usuario) y posteriormente influye en la percepción del espacio impactando en cuestiones de rendimiento y desempeño al realizar una actividad. En términos de iluminación el parámetro considerado es la reflectancia que emiten las superficies verticales y horizontales (muros, plafón y piso) las cuales se encuentran reguladas en cuanto a los brillos y efectos que estas pueden emitir. La reflectancia es la proporción de luz reflejada a la luz incidente, no es simplemente una propiedad de un material depende de la geometría de la medición, es decir, la relación espacial entre la fuente y el detector. Las medidas de reflectancia típicamente se dividen en tres categorías: difusas, especulares y una mezcla entre ellas (*IESNA,00*). La American Society for Testing and Materials (ASTM) genera normas sobre mediciones de color y aspecto de materiales donde se emplean reflectómetros.

- Aspectos cuantitativos de la luz natural

Para conocer el aporte cuantitativo de la luz natural que permite considerarla como un recurso arquitectónico ha sido necesario desarrollar modelos que representen el fenómeno natural tanto para su pronóstico como para su visualización, mediante la definición de sus componentes para entender su cálculo, interacción y distribución en el espacio arquitectónico. Los cálculos de luz natural son más complejos que los de la iluminación artificial (*IESNA, 00*), debido a la inestabilidad y cantidad de variables involucradas que hacen de la luz natural un fenómeno dinámico.

- Componentes de la luz natural

Componente Del Cielo (CC). Se refiere a la porción de iluminación que aporta el cielo (bóveda celeste) que entra directamente por una abertura o ventana sin tomar en cuenta la incidencia solar directa, sólo considera la luz que llega desde la bóveda celeste y que pasa sin obstrucciones por encima de elementos contiguos como el contexto urbano inmediato, edificios, casas, vegetación, etc). Esta porción de luz adquiere las propiedades del material que conforma la ventana o abertura por donde ingresa la luz al espacio arquitectónico (componentes de una ventana: dimensiones, materiales y diseño). Es la componente que aporta mayor porcentaje de iluminación natural al interior de un espacio arquitectónico. Esta componente puede ser estimada por medio de tablas.

Componente Reflejado Exterior (CRE). Se refiere a la porción de luz que se refleja en las superficies de las obstrucciones exteriores del contexto y llega a un punto de referencia interior del espacio arquitectónico. Esta componente es de las más importantes en zonas altamente urbanizadas, debido a la confirmación de la traza urbana y las reducidas distancias entre inmuebles que limita el acceso de luz natural directa del sol, siendo las superficies contiguas las que reflejan la mayor cantidad luz natural de manera difusa.

Componente Reflejada Interior (CRI). Se refiere a la porción de iluminación natural interior que ingresó por el vano o ventana de manera reflejada tanto del cielo como del contexto urbano y se dispersó al interior del espacio arquitectónico por medio de las propiedades ópticas de los materiales de las superficies de la sala (muros, pisos y plafones) así como de los demás objetos contenidos (mobiliario y decoración). El cálculo de esta componente involucra múltiples variables (cálculo complejo). Sin embargo, aunque su valor es menor y está en función de las otras dos componentes que aportan la mayor cantidad de recurso lumínico, se trata de un valor con un comportamiento uniforme. Su relevancia radica en salas donde por sus proporciones y dimensiones existen áreas lejanas de una ventana y los acabados de la superficies de la sala adquieren suma importancia en la distribución lumínica.

- Disponibilidad de luz natural

El término de disponibilidad de luz natural (*daylight availability*) es una relación entre la iluminancia interior y la iluminancia exterior que se refiere a la cantidad de luz que llega del sol y la bóveda celeste sobre un punto específico sobre la tierra (fecha y hora) al interior de un espacio arquitectónico. Su estudio y medición del recurso durante décadas ha resultado en ecuaciones y datos de iluminación natural que determinan una aproximación sobre aquellas mediciones que se realizan de manera instantánea, pudiendo haber una discrepancia entre los valores de hasta dos veces la cantidad (*IESNA,00*).

Para calcular la disponibilidad de luz natural de un sitio se requiere determinar: la localización geográfica (latitud y longitud) del lugar, el día del año o día juliano (DJ)⁴, el horario local (HL)⁵ convertido a tiempo solar verdadero (TSV)⁶ que es una corrección de tiempo entre la zona horaria y la ecuación del tiempo. Este método de análisis de luz natural puede ser calculado mediante condiciones de cielos intermedios (*Kensek K., Young J., 11*), lo que representa mejor los cielos de climas tropicales como la cd. de México.

A continuación se presenta la disponibilidad de luz natural en el tercer nivel de un edificio de la Ciudad de México por medio de un patio de luz⁷, para el 29 de noviembre de 2011 a las 9:37am (este día forma parte de las mediciones realizadas por el Observatorio y Laboratorio de Interacción con el Medio - OLIM) y Laboratorio de Interacción con el Medio - LIM) 8.

Principalmente conocer la posición solar tiene la finalidad de determinar las variables que intervienen en la evaluación de la intensidad luminosa que proporciona un patio de iluminación en un contexto como el que provee el centro histórico. El edificio cuenta con seis niveles y una altura de 19.10m, con una orientación (oriente-poniente), la fachada principal poniente cuenta con un frente de 9.85m de ancho y la fachada posterior oriente mide 11.25m, en el sentido norte-sur sus dimensiones son: 35.48m hacia los edificios colindantes. La superficie de metros cuadrados por nivel es de 290m², el área analizada es de 70m² al interior en el tercer nivel y 26m² al exterior correspondientes al cubo de luz. Las coordenadas geográficas son: latitud de 19°24' N, una longitud de 99°10' W y una altitud de 2240 M.S.N.M.

⁴ **Día juliano (DJ)** se refiere al calendario juliano que se creó para referenciar el tiempo en una escala continua donde el inicio del día se da al medio día y termina al medio día del siguiente día. Es una cuenta continua de días y fracciones contados desde un punto inicial fijo (1º enero de 4713 a.C.) para fechar fenómenos astronómicos o históricos.

⁵ **Horario local (HL)** se refiere al horario convencional que muestra el reloj bajo un determinado uso horario (UTC- Tiempo Universal Coordinado es el principal estándar de tiempo mediante el cual el mundo regula sus horarios. GMT- Tiempo Medido de Greenwich), (Wikipedia, 15). Se sugiere acudir al capítulo 6, al apartado de "periodo de estudio".

⁶ **Tiempo solar Verdadero (TSV)** es el tiempo observado por el movimiento diario del sol en el firmamento, basado en el día solar verdadero el cual no es uniforme a lo largo del año por dos causas principales; la órbita elíptica de la tierra y a la inclinación de axial de la tierra (Wikipedia, 15).

⁷ El estudio se presenta de manera parcial solo lo relativo a la posición solar aparece, si se desea consultar su totalidad se encuentra en el artículo "Análisis de la intensidad luminosa a través de un cubo de luz en el espacio arquitectónico de un edificio". Elaborado para el curso *Interacción con el medio*, Posgrado de Arquitectura, Universidad Nacional Autónoma de México. 2011-2.

⁸ **OLIM**-Observatorio y Laboratorio de Interacción con el Medio y **LIM**-Laboratorio de Interacción con el Medio, surge del Posgrado de Arquitectura de campo de conocimiento de Tecnología con la finalidad de indagar en las interacciones que se presentan entre la arquitectura y el medio en el que se emplazan por medio de la observación de parámetros climáticos y el diseño de diversos experimentos enfocados a conocer las características de la luz natural de la ciudad de México incidentes en el espacio arquitectónico. Actualmente cuenta con equipo profesional para la medición luz natural (fotómetros, cámara YES, adquisidores de datos, etc.) y otros parámetros climáticos (piranómetros, vaisala, hobs, etc.). Y mantiene un convenio con el Instituto de Geofísica a través del Observatorio de Radiación Solar (ORS).



Fig. 8. Cañón Urbano de la calle Isabela Católica #68 (edificio 6 niveles, lado derecho), Centro Histórico Ciudad de México.



Fig. 9. Ubicación de 11 fotómetros a una altura de plano de trabajo, (tercer nivel). Centro Histórico Ciudad de México.

Para conocer la posición solar fue necesario realizar la corrección de horario local (HL) a tiempo solar verdadero (TSV) de acuerdo a la ecuación del tiempo, la corrección es de 48 minutos para el día 29 de noviembre de 2011 debido a la localización geográfica de la Ciudad de México de $99^{\circ} 10'$ al oeste, respecto al meridiano de referencia (90°) de longitud 0° en Greenwich, el ajuste respecto al meridiano es de 4 minutos por cada 1° . Así que $99^{\circ}-90^{\circ}=9^{\circ}$; $9^{\circ} \times 4\text{min.} = 36\text{min.}$ es el ajuste, más el tiempo solar verdadero (TSV) de 11.72 min ($36 + 11.72$) = 48min totales.

Se tiene que para la hora 9:37am (HL) menos el ajuste del (TSV) de 48 min. Resulta en 8:49am (TSV) y tenemos que según la tabla resumen de calculo de ángulos solares y corrección del tiempo solar verdadero (Fig. 10. Tabla 091025 PAGE99.xls) programada por el Mtro. En Arq. Leonardo B. Zeevaert, dicha hora se encuentra en el rango entre 8:30 am y 9:00am, con los siguientes ángulos de altitud 23.8° - 29.3° y ángulos de azimut 126.1° - 130.9° .

LOCALIDAD		MEXICO D.F.				
LATITUD:	20,5	GRADOS	FECHA	29-nov-11		
LONGITUD:	99,0	GRADOS	DIA JULIANO	333		
MERIDIANO DE REFERENCIA	90,0	GRADOS				
DECLINACION	-21,32		TIEMPO SOLAR VERDADERO	12,0000	12:00:00	
ECUACION DEL TIEMPO	11,72		AJUSTE EN MINUTOS	48		
DISTANCIA MEDIA	1,03		HORA LOCAL	12:47 PM		
		PLANO VERTICAL				
AZIMUT	180,0		AMANECER	06:29:43	TSV	
VERTICAL	90,0		ATARDECER	17:30:17	TSV	
			ANGULO SOMBRA			
hora	altitud	azimut	HORIZONTAL	VERTICAL	cosi	
5:30:00	5,50	-14,0	107,9	72,1	0,0	72,7
6:00:00	6,00	-7,3	110,1	69,9	0,0	70,1
6:30:00	6,50	-0,8	112,5	67,5	0,0	67,5
7:00:00	7,00	5,6	115,3	64,7	13,0	64,9
7:30:00	7,50	11,9	118,4	61,6	23,9	62,3
8:00:00	8,00	18,0	122,0	58,0	31,5	59,8
8:30:00	8,50	23,8	126,1	53,9	36,8	57,4
9:00:00	9,00	29,3	130,9	49,1	40,6	55,2
9:30:00	9,50	34,4	136,6	43,4	43,3	53,2
10:00:00	10,00	38,9	143,2	36,8	45,2	51,5
10:30:00	10,50	42,7	150,9	29,1	46,6	50,1
11:00:00	11,00	45,7	159,8	20,2	47,5	49,0
11:30:00	11,50	47,5	169,6	10,4	48,0	48,4
12:00:00	12,00	48,2	180,0	0,0	48,2	48,2

Fig. 10. Tabla resumen de la Matriz en el programa Excel "091025 PAGE99.xls", programada por el Mtro. Leonardo Zeevaert para la determinación del (TSV) y la posición solar (altitud y azimut), basada en las formulas de John Page. Para el curso de Interacción con el Medio, Posgrado de Arquitectura, UNAM.

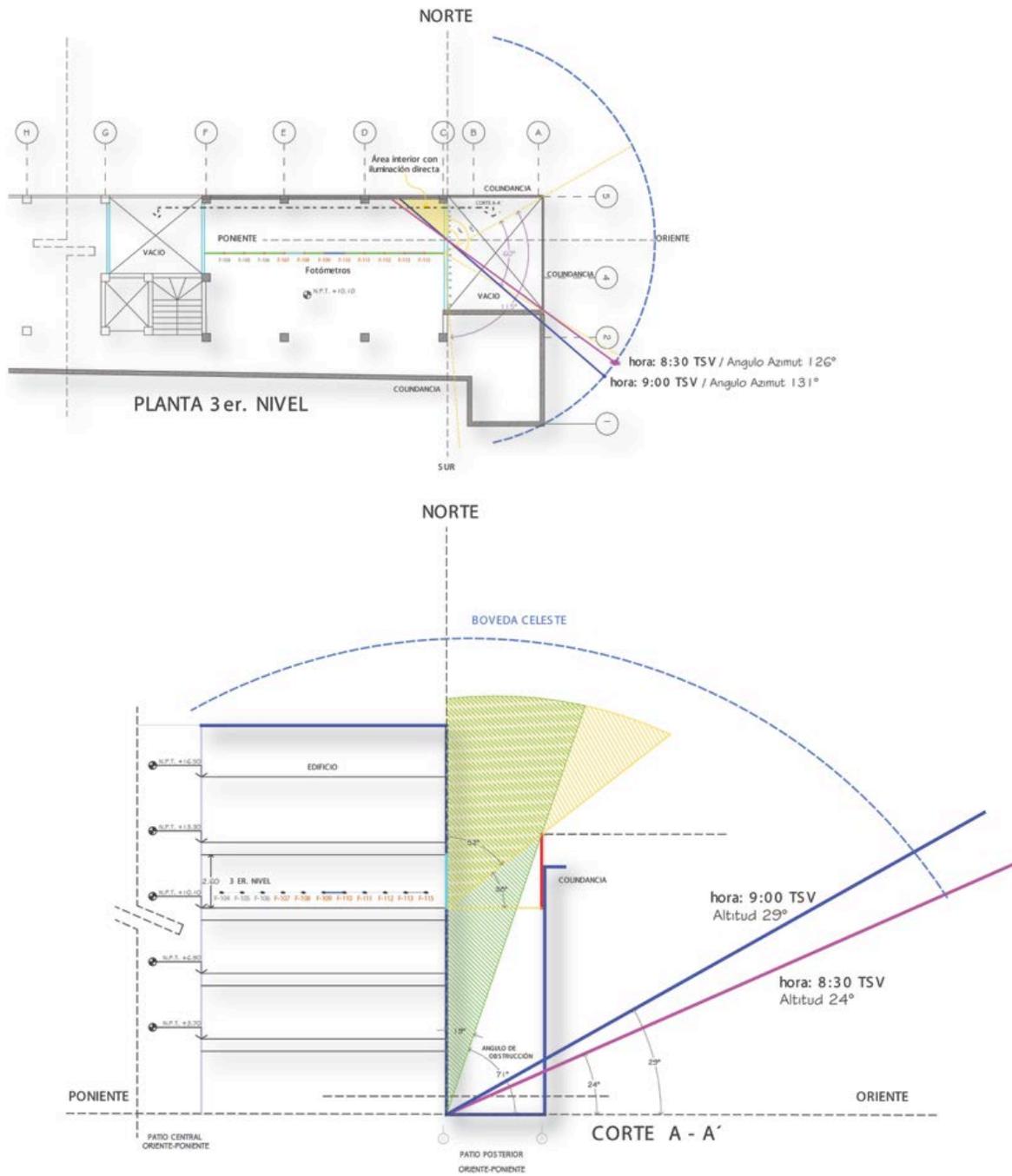


Fig. 11. Dibujos arquitectónicos (Planta 3er. Nivel y Corte A-A') que representan la posición solar, ángulo de obstrucción en un patio de iluminación de un edificio en el centro histórico de la Ciudad de México.

- Factor de Luz de Día (FLD)

Es un criterio para cuantificar las luminancias interiores de un espacio arquitectónico, basado en la estimación de la iluminancia sobre una superficie horizontal (plano de trabajo) sobre la iluminancia total del cielo expresada como porcentaje (*IESNA, 00*). Este método se desarrolló en los años 30's, antes de la era de las computadoras por lo tanto se omitieron aspectos como: el aporte de la luz directa del sol, se dio por hecho como único patrón el cielo nublado, se tomaron como superficies reflectoras las interiores y exteriores, así como considerar la sala o habitación vacía para su estimación. A la fecha se han demostrado que estos aspectos influyen en la cuantificación de la luz natural, también con la práctica se han estructurado con mayor detalle los métodos de cálculo de (FLD) que han permitido que este método subsista. Sintetizando el (FLD) se trata de la cantidad de iluminación total que incide en una superficie mediante la transmitancia que existe entre las superficies, la cual es obtenida de la división entre el flujo recibido y el área de la superficie, resultando en un valor principal sin considerar la distribución de la iluminación.

$$FLD = E_i / E_o \times 100$$

Donde:

E_i = la iluminancia en el interior del espacio

E_o = la iluminancia exterior que ocurre de forma simultánea

El cálculo de este factor de luz de día es válido solamente para el punto de referencia (P) en ese momento particular (fecha y hora). Además se requiere contar con el valor de la luminancia exterior (medido o calculado). En el cálculo total del (FLD) de manera simplificada se consideran las tres componentes de la luz natural (*Pattini, 11*).

$$FLD = CC + CRE + CRI$$

Aunque el (FLD) se trata de un método de aproximación debido a la sensibilidad de los parámetros considerados en la ecuación. Donde una variación de una décima en el valor de transmitancia del vidrio puede llegar a representar hasta un 20% en el resultado. Sin embargo, su cálculo tiene una utilidad en tres sentidos: el primero, es un buen indicador de la apariencia de la sala respecto al contraste que existe entre el interior y el exterior. En segundo lugar puede ser una base para tomar decisiones de diseño del espacio al poderse calcular en una fase de proyecto. En tercer lugar puede llegar a ser un método preciso en la predicción de la iluminación disponible de un espacio arquitectónico, de acuerdo a la metodología que se emplee. Un FLD de 2% se estableció para escuelas en el reino unido después de la segunda guerra mundial, sin embargo, se declinó debido a que no es posible mantener este nivel en salones con ventana de un solo lado y controlar las desventajas como la ganancia de calor al tener ventanas más grandes (*Boubekri, 08*).

B) LUZ ARTIFICIAL

La iluminación artificial surgió como una manera de extender las actividades que se realizaban durante el día, ya que el hombre se encontraba condicionado a la luz de día y vulnerable a la oscuridad de la noche. Los primeros hombres hallaron el fuego como una manera de iluminación y fuente de energía de calor, posteriormente se desarrollaron velas, antorchas, candelas, etc. Los antiguos griegos quemaban aceites vegetales como el olivo para iluminarse, en la edad media aparecieron los primeros reflectores de luz y se mejoraron los diseños de lámparas, donde se quemaba mejor la flama y mejoraba la luz. Fue hasta principios de 1900 que se remplazaron las lámparas de gas por lámparas eléctricas (*IESNA, 00*).

En el siglo veinte se incrementaron considerablemente los recursos artificiales luminosos disponibles en el mercado (lámpara de Edison, lámparas de vapor de mercurio en 1930, lámparas fluorescentes en 1939, lámparas de tungsteno en 1950, lámparas de sodio a alta presión en 1960 y en 1990 las lámparas sin electrodos fueron el indicador de dinamismo de la industria de la iluminación. Desde entonces, se han clasificado las fuentes de luz artificiales en incandescentes y luminiscentes, la cual esta basada en la manera de cómo se excitan los electrones para emitir la luz, resultando en una diferente distribución espectral de la radiación. Una gran ventaja de las lámparas de luz artificial es que se producen para generar un tipo de radiación espectral específico (visible, infrarrojo, ultravioleta, etc.) de acuerdo al uso deseado (*IESNA, 00*), se consideran fuentes de iluminación estáticas.

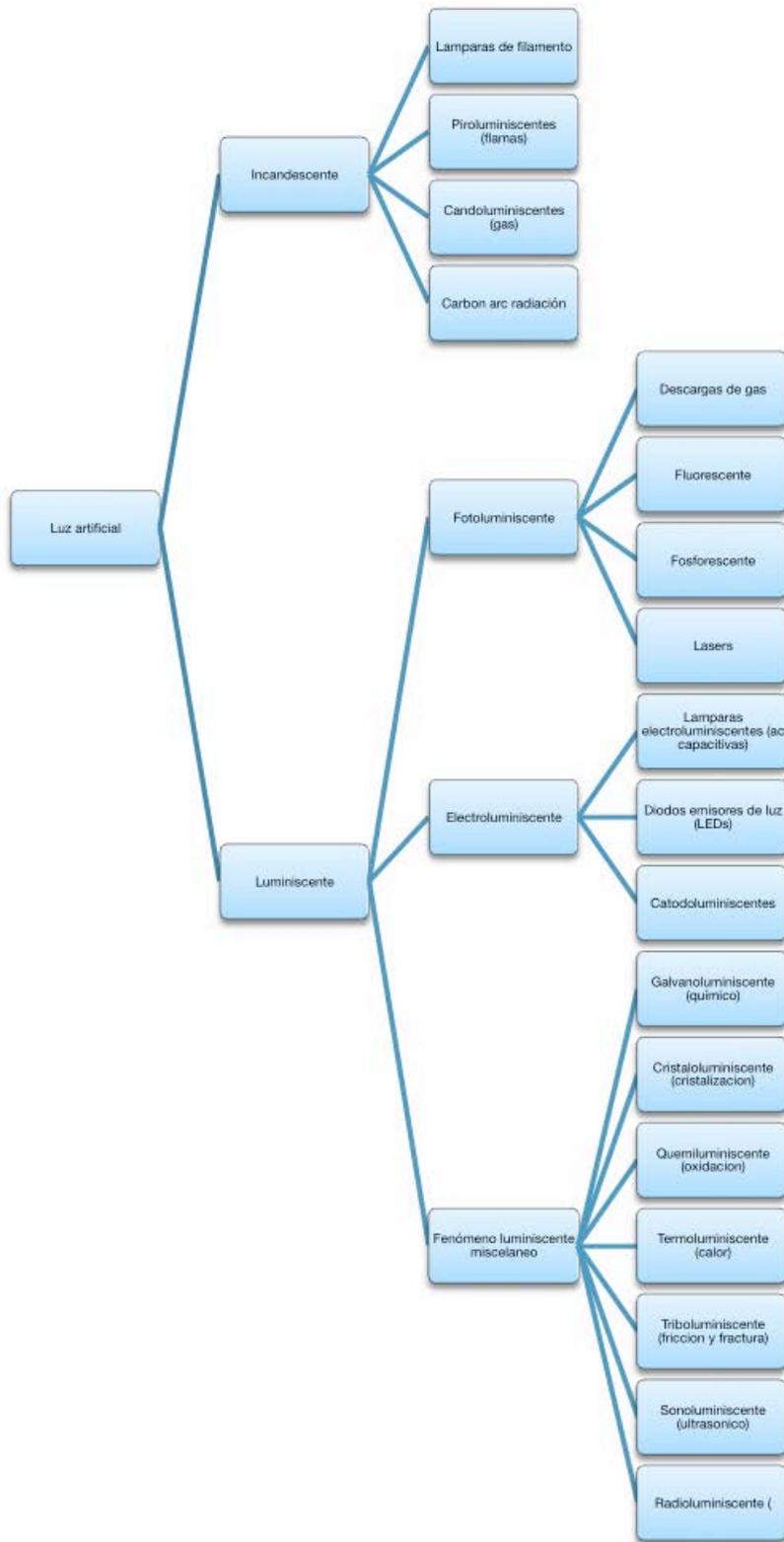


Fig. 12. Clasificación de lámparas de iluminación artificial. Basado en IESNA Handbook, 2000.

- *Principios de operación y consideraciones sobre los sistemas de iluminación aplicados a la unidad quirúrgica.*

La iluminación artificial de un unidad quirúrgica (lámpara quirúrgica e iluminación general) puede ser provista por distintos tipos de lámparas principalmente luminiscentes (LED), debido al calor que generan las fuentes incandescentes. El funcionamiento de las lámparas de filamento referente a la eficacia y producción de luz en general esta basado en la temperatura del filamento. Debido a esto los materiales con que están hechos requieren ciertas propiedades como: alta resistencia, alta ductilidad, baja presión de vapor, características de radiación apropiadas y resistencia eléctrica (*IESNA, 00*). Los filamentos de tungsteno cuentan con las características antes mencionadas, con un punto de fusión de 3382°C (6120°F) que permite una operación a altas temperaturas y alta eficacia. Las características de radiación del tungsteno hacen que sea un radiador selectivo debido a su emisividad en función de su longitud de onda. Ya que solo un porcentaje menor del total de la radiación de un recurso incandescente se encuentra en la región visible del espectro electromagnético. Conforme se eleva la temperatura del filamento de tungsteno, se eleva la radiación de la región visible y en consecuencia su eficacia luminosa, para obtener un mayor tiempo de vida es necesario operar el filamento a temperatura por debajo del punto de fusión, resultando en una pérdida de eficacia luminosa.

En la construcción de una lámpara a base de Diodos emisores de luz (LEDs) la producción de luz se da por electroluminiscencia⁹. Nick Holonyak, ingeniero de General Electric inventó el LED rojo, que durante muchos años solo fue utilizado como aplicación para indicar si un dispositivo eléctrico estaba encendido. Posteriormente debido a la alta inversión económica en investigación para poder desarrollar el LED azul, lo que permitiría generar luz blanca en una proporción adecuada con el rojo, verde y azul, fue hasta 1990 que Shuji Nakamura descubrió como hacer el LED azul (*Herrán, 12*). Actualmente los LEDs son una opción de iluminación comercial, los fabricantes han resaltado sus cualidades a tal punto que parecen ser la solución a cualquier demanda lumínica. Sin embargo, como resultado de este fenómeno se tiene una saturación de luces LED en el mercado de procedencia desconocida, lo que impacta en la seguridad de su implementación (espectro optimo, deslumbramiento, parpadeo) (*Boyce, 13*).

Existen nuevas técnicas de iluminación artificial que se han utilizado como estrategias para promover la sincronización del sistema circadiano (*ver capítulo 2*). Se tratan principalmente de dos aplicaciones “habitaciones circadianas y de sistemas de iluminación variable” (*Gutknecht, 14*). La compañía Philips ha desarrollado aplicaciones enfocadas a la salud llamada “HealWell” para habitaciones de hospitalización en beneficio de crear ambientes placenteros y proveer el estímulo al reloj biológico del paciente y niveles de iluminación adecuados para el equipo médico (*Gutknecht, 14*). Estos sistemas de iluminación variable también son utilizados recientemente en salas de diagnóstico por medio de escaneo y en algunas salas de cirugía híbridas, con la finalidad de mejorar el ambiente interior que impacta en el usuario.

Sin embargo, el efecto que provocan ciertos elementos de iluminación artificial “*efecto de parpadeo o flicker*” es una variación de la amplitud de la tensión que produce fluctuación del flujo luminoso en lámparas, induciendo a su vez la impresión de inestabilidad en la sensación visual (*Fernández F., Toledo A. 10*). Es una variación del valor eficaz o amplitud de la tensión en un

⁹Electroluminiscencia es un fenómeno óptico y eléctrico en el cual un material emite luz en respuesta a una corriente eléctrica que fluye a través de él, o por causa de una fuerza eléctrica (Wikipedia, 15).

rango menor al 10% del valor nominal. Ocurre en un rango de frecuencias que va desde 0.5 a 25Hz, para el ojo humano esto resulta en una sensación molesta debido a que se ha demostrado mediante pruebas y análisis que el ojo humano es muy sensible a frecuencias moduladoras en el rango 8 a 10Hz con variaciones de tensión en el rango de 0.3 a 0.4 % de magnitud a estas frecuencias (*Fernández F., Toledo A. 10*).

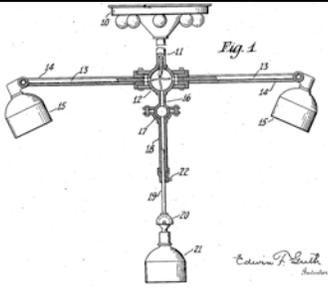
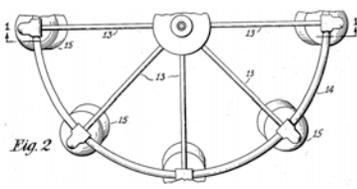
Por lo tanto el diseño de los sistemas de iluminación deben considerar los límites aceptables de flicker, en base a la magnitud de la variación de tensión y la frecuencia de la ocurrencia del mismo. Para espacios cerrados de trabajo requiere límites de flicker cercanos a la curvatura de visibilidad y para una sala quirúrgica se debe evitar este efecto tanto en las lámparas como en los sistemas de video, cámaras y monitores.

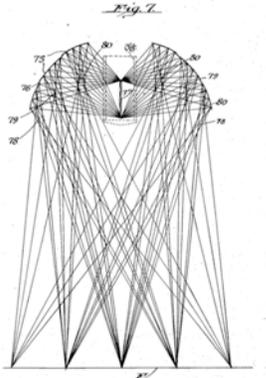
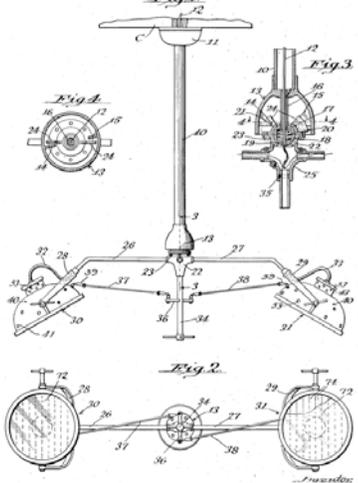
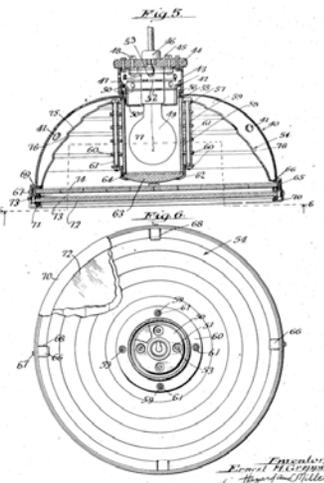
El diseño de iluminación de una unidad quirúrgica se deben tener ciertas consideraciones presentes, enfocadas a la diversidad de actividades que ahí se llevan a cabo. Es un espacio arquitectónico con niveles de bioseguridad elevados, donde un médico realiza cirugías al cuerpo humano que compromete la vida del paciente en curso, de ahí que la cirugía es la actividad principal que requiere parámetros definidos en cuanto a los niveles de iluminación focalizada. Aunada a esta actividad se realizan otras actividades secundarias que complementan el servicio de la cirugía como el monitoreo del paciente (anestesiólogo, signos vitales, etc.), manejo de instrumental quirúrgico, actividades académicas y de documentación del proceso de la cirugía que requieren niveles de iluminación más bajos que pueden ser cubiertos mediante la iluminación general del propio quirófano. De ahí se exponen las características y relaciones a considerar en cada caso para mantener una correspondencia en la iluminación de dicha área.

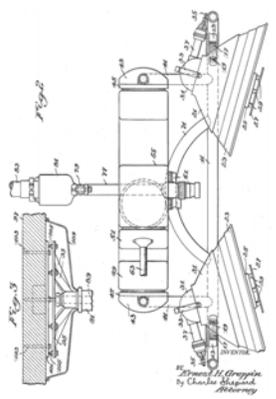
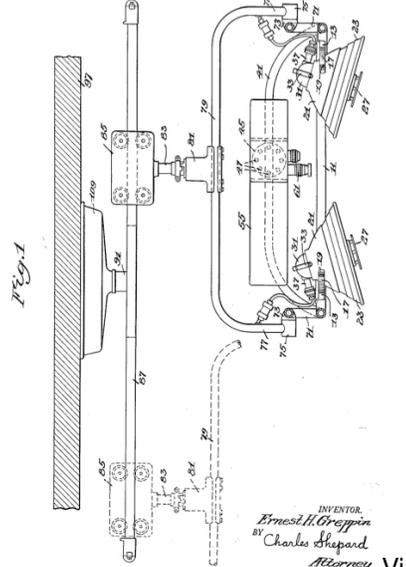
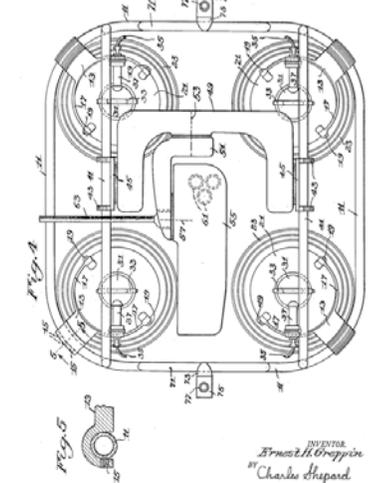
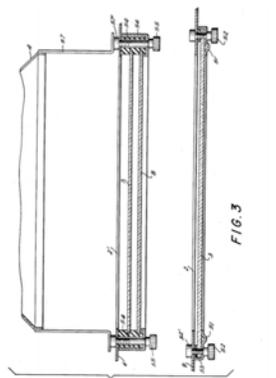
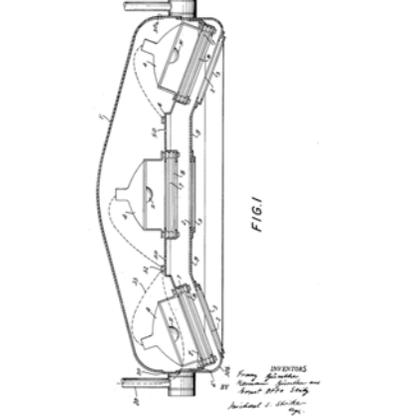
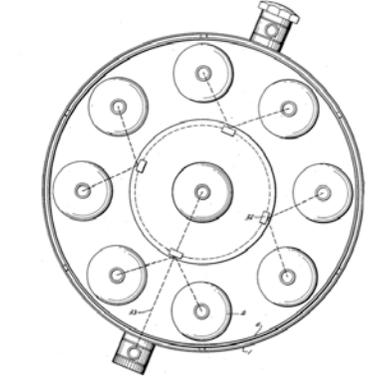
- Lámparas quirúrgicas

Las lámparas quirúrgicas surgieron de la necesidad de iluminar el campo quirúrgico de una manera más eficaz y facilitar la actividad visual a quien realiza la operación quirúrgica. Se trata de una aplicación muy específica, debido a que la luz que se emite en la sala requiere de características específicas que más adelante se detallan. Un punto muy importante que se ha buscado al diseñar una lámpara quirúrgica es incrementar la concentración de luz que emite una luminaria en una área específica, así como reducir el calor que acompaña a la generación de luz, el cual provoca daño a los tejidos (sequedad) al estar expuestos durante el tiempo de una cirugía, condicionando el efecto prolongado a la exposición de luz y calor. Se tiene el antecedente sobre el diseño de lámparas quirúrgicas patentadas desde el año de 1928 por la oficina de patentes de los Estados Unidos. A continuación se enuncian las principales características que detonaron el diseño de las lámparas con la finalidad de mejorar la calidad de la iluminación.

Tabla 3. Lámparas quirúrgicas iniciales y sus patentes. Fuente: elaboración propia a partir de los documentos de las patentes..

Fecha	Inventor	Características	Declaración de seguridad de la patente
Marzo 27, 1928.	Edwin F. Guth/ ST. Louis Missouri	<p><u>Lighting fixture for surgical operating room /</u></p> <p>Se trata de un concentrador de luz en un área pequeña, por medio de un arreglo de múltiples lámparas dirigidas hacia un área deseada. Con la finalidad de lograr combinaciones ajustables al operador.</p>	<p>Comprende la pluralidad del arreglo de lámparas extendidas desde el centro, con un reflector concentrador al final de cada brazo, soportes ajustables de tubos telescópicos, articulaciones esféricas en las uniones y una luminaria al interior del reflector.</p>
		 <p>Vista lateral</p>	 <p>Vista superior</p>
Mayo 23, 1933.	Ernest H. Greppin / Los angeles California	<p><u>Operating room lighting fixture /</u></p> <p>Se trata de un dispositivo de iluminación, diseñado primordialmente para iluminar la mesa de operaciones y otros posibles propósitos. El objetivo es brindar una nueva iluminación que no genere sombras sobre el campo quirúrgico o bien las minimice. Ofrecer pluralidad en los ajustes y movimientos para favorecer la iluminación. También busca la durabilidad y simplicidad en la construcción de sus partes para ser reemplazadas rápidamente. Incorporar lentes absorbentes al arreglo de luminarias que no sufran daño alguno por el calor que se genera entre el reflector y la luminaria.</p>	<p>Comprende la descripción del dispositivo de iluminación con un recurso de luminoso (luminaria), aplicación de los conceptos de refracción y reflexión con una dispersión cilíndrica de la luz respecto a la luminaria del reflector. Así como un movimiento de rotación en su estructura. La descripción de la concha que contiene el reflector, el reflector y la posición del lente que minimiza la influencia del calor.</p>

 <p>Fig. 7</p> <p><i>Ernest H. Greppin Patent Attorney New York</i></p> <p>Vista del reflector</p>	 <p>Fig. 1</p> <p>Fig. 2</p> <p>Fig. 3</p> <p><i>Ernest H. Greppin Patent Attorney New York</i></p> <p>Vista lateral</p>	 <p>Fig. 5</p> <p><i>Ernest H. Greppin Patent Attorney New York</i></p> <p>Vista superior</p>	
<p>Agosto 07, 1956.</p>	<p>Ernest H. Greppin / New York</p>	<p><u>Surgical lighting system for television and other cameras /</u></p> <p>Se trata de un sistema en parte fotográfico, de proyección óptica e iluminación, diseñado para proveer una operación simple, eficiente y ajustable que soporte conjuntamente la cámara, el arreglo de luminarias primordialmente y aquellos equipos peculiares de la sala de cirugía.</p>	<p>Comprende la combinación de una unidad de iluminación quirúrgica y la estructura de soporte para cámaras suspendido del plafón de la sala de cirugía, sobre un riel horizontal con movimientos ajustables en su eje vertical de rotación, con un carro con movimiento horizontal sobre el riel.</p>

 <p>Vista lateral</p>	 <p>Vista lateral</p>	 <p>Vista superior</p>	
<p>Marzo 18, 1958</p>	<p>F. Gunther</p>	<p><u>Operating table lamp/</u></p> <p>Se trata de la invencion de un dispositivo para iluminar la mesa quirurgica, basada principalmente en el calor que se genera con la concentracion de luminarias y el efecto de fatiga prematura que causa en los usuarios.</p>	<p>Comprende la combinacion de la carcasa que cubre el arreglo de luminarias con aperturas para disipar el calor, reflectores, filtros</p>
 <p>Vista detalle</p>	 <p>Vista lateral</p>	 <p>Vista superior</p>	

En la actualidad existen múltiples opciones comerciales para elegir una lámpara quirúrgica, diversos diseños, marcas y propiedades conforman la oferta de lámparas. Sin embargo, es necesario tener presente ciertas características que deben de cumplir, para esto la Secretaría de Salud a través del Centro Nacional de Excelencia Tecnológica en Salud (CENETEC) realiza guías tecnológicas y “cédulas de especificaciones técnicas” para la adquisición de equipo, con la intención de incluir la mayor cantidad de equipos dentro de un rango de nivel tecnológico y económico con la calidad requerida que garantice la correcta ejecución del servicio.

Principales características de lámparas quirúrgicas

Las lámparas quirúrgicas son dispositivos que emiten un tipo de luz que reduce las sombras y produce la mínima distorsión del color, la cual ilumina el campo quirúrgico durante un tiempo prolongado, la cual es necesaria para la visualización de objetos pequeños y de bajo contraste en profundidades variables o a través de incisiones pequeñas. Debido al periodo prolongado de uso es necesario utilizar equipo que emita una cantidad baja de calor radiante que pudiera causar molestias o daños al tejido que se encuentra en el campo quirúrgico.

- Principios de operación

La luz que se genera en la lámpara proviene de la cabeza de la misma, la cual normalmente es uno o varios focos que reflejan la luz a través de reflectores, espejos o lentes, las lámparas se encuentran montadas en uno o varios brazos que permiten una rotación ilimitada, así como movimiento vertical. Es necesaria una configuración flexible de posicionamiento, es por eso que usan mangos desmontables, esterilizables o desechables, con frenos automáticos para controlar y mantener una ubicación por arriba y alrededor del campo quirúrgico.

- Iluminación requerida

La iluminación de un quirófano deberá estar diseñada tomando en consideración la iluminación total del mismo, es decir la que se genera por las lámparas quirúrgicas, las lámparas propias del quirófano y/o las lámparas complementarias. De acuerdo con el CENETEC la iluminancia de lámparas quirúrgicas debe oscilar entre 20,000 luxes - 100,000 luxes de acuerdo al tipo de cirugías que se realizan y la iluminancia de lámparas complementarias de 1000 luxes. La temperatura del color que deben de emitir estas lámparas esta dentro de 4000-5000 Kelvin (K), esto quiere decir que la luz con una temperatura de color baja contiene primordialmente niveles de amarillo y rojo, dentro de este campo se encuentra la temperatura de luz diurna, la cual es captada de una mejor manera por el ojo humano. El índice de reproducción de color (IRC) es de utilidad para comparar diferentes tipos de luces del mismo color de temperatura.

- Diámetro de campo iluminado

Las lámparas quirúrgicas producen planos de luz que se juntan para formar un cilindro de luz homogénea, el campo mínimo de iluminación es de 20cm y una profundidad mínima de 70cm.

- Calor

El calor es una propiedad inherente de la luz, el cual puede llegar a generar daño a los tejidos ya que estos se secan al estar expuestos, lo recomendable para evitarlo es tener una eficacia

luminosa de 170lm/W, con una radiación menor de 600W/m² para una iluminancia de 100,000luxes, además de ser molesto para el cirujano que realiza la intervención por el tiempo que se prolonga. Se debe de considerar un incremento máximo en la zona de la cabeza del cirujano de 2°C y en la zona de operación de 15°C como máximo.

- Tipos de Lámparas Quirúrgicas

Lámpara con una luminaria. Este tipo de equipo necesita tener una bombilla de repuesto o de emergencia con reemplazo automático con el objetivo de no afectar la intensidad luminosa en ningún momento, con indicadores y que no se reduzca la iluminancia en mas de un 50%.

Lámpara multifocal. Las luces se enfocan para maximizar la iluminación en el área deseada.

Lámpara quirúrgica portátil. Utilizada en caso de suspensión del suministro. sin variación de luz durante 3 horas.

Sistema de video con cámaras. Son dispositivos utilizados para documentar, medios de consulta y entretenimiento. Algunos se pueden fijar a los brazos de las lámparas e incluso intercambiar.

Brazos adicionales. Donde se colocan monitores o repisas adicionales.

- Elementos que determinan la luz que emite una lámpara quirúrgica.

Eficacia luminosa. Esta característica fotométrica es importante en términos energéticos, es decir generar la misma cantidad de iluminación con menos energía. Quiere decir entonces que lo determina el tipo de foco, la mayoría de las lámparas de quirófano manejan focos de Tungsteno-alógeno, Xenón-halógeno o cuarzo-halógeno.

Nivel cromático. Esta característica se relaciona directamente con el Índice de Reproducción del Color (IRC)=100. Quiere decir que tan precisa es la reproducción del color de los objetos que se están visualizando, en una cirugía resulta indispensable contar con una alta fidelidad del color de los tejidos, ya que en base a este criterio y la percepción del médico cirujano tomará las mejores decisiones. Incluso también se debe considerar el tipo de cirugía a realizar en el quirófano, las cirugías ambulatorias se ocupa de un solo satélite y para la mayoría de las cirugías se requiere de dos satélites, en el caso de cirugías a corazón abierto se requiere de tres satélites.

Durabilidad. Esta característica esta relacionada con el tiempo de vida del foco o luminaria, la cual se mide en horas de uso y en consecuencia en el costo que conlleva cada cambio de repuesto.

- Elementos que determinan la elección de una lámpara quirúrgica

Dimensiones del quirófano. Es necesario conocer las medidas del espacio arquitectónico del quirófano, así como los procedimientos y operación de las actividades que se llevan a cabo.

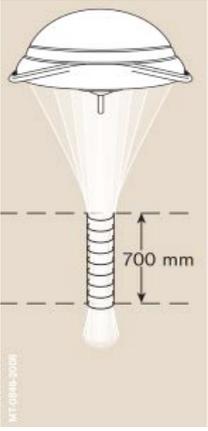
Dimensiones de la lámpara. El diseño de una lámpara quirúrgica está determinado por el tipo de anclaje (plafón o pared), movimientos y radios de giro (número de satélites). Conocer el funcionamiento de la lámpara evitará problemas con los movimientos del dispositivo.

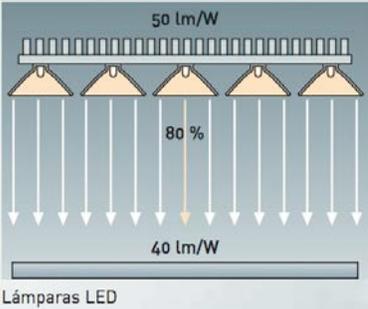
Tipo de cirugías. Conocer previamente el tipo de cirugías que se realizan es fundamental para la elección de la lámpara quirúrgica, la que se elija debe responder a las necesidades particulares del equipo médico, debido a que se trata de un equipo costoso que permanecerá por un largo periodo de tiempo. IESNA sugiere que el rango de la energía radiante que emite una lámpara quirúrgica que se debe mantener al mínimo es la región entre los 800-1000nm y no exceder 0.1 W/cm² en la irradiancia para cirugías abdominales, procedimientos intestinales y neurocirugías.

El lighting handbook de IESNA reconoce que algunas salas de cirugía requieren iluminación especial como en el caso de la cirugía de ojos, cirugía de nariz, oído y garganta, neurocirugía y cirugía ortopédica. Para el caso de la cirugía oftalmológica el equipamiento utilizado suele contener luz propia, como los microscopios y contener sistemas que permitan la visualización por todo el equipo de trabajo durante la intervención. Los niveles de iluminación se consideran los mismos que para otras salas de cirugía tanto en el plano horizontal como vertical, sin embargo se requiere de sistemas que permitan regular la intensidad de luz hasta quedar en penumbra para minimizar los reflejos en la curvatura del ojo y que el personal médico cuente con la opción de manipular los niveles de iluminación de acuerdo a sus necesidades.

Sistemas de equipamiento adicionales. Son sistemas que permiten agregar funciones al mecanismo que sostiene la lámpara como: video grabación, cámara, lámpara y batería de emergencia adicionales, entre otros que pueden ser adaptados posteriormente.

Tabla 4. Lámparas quirúrgicas actuales (Halógena y Led).

Marca	Características	Opciones de equipamiento
Dräger/ Alemania Familia Sola	<p><u>Sola 700 premium - HALÓGENA</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Máxima intensidad de iluminación E_c: 160 klx • Diámetro del campo luminoso: 155-270mm • Temperatura de color: 4200K • Índice R_a de rendimiento del color: 93 • Longitud de columna de trabajo con cilindro de luz homogénea: 700mm • Baja emisión de calor debida a: irradiación total a intensidad máx. : 550 vatios/m² • irradiación/intensidad de iluminación : 3.4 W/m² lx • Ajuste de intensidad: luz "asimétrica" adaptada a la fisiología del ojo: 80-160 klx 	Panel de control Sistema de cámara MedView Sistema de respaldo de batería
		 <p>Sola 700 premium</p>

<p>Trilux /España</p> <p>Series Aurino</p>	<p><u>Aurino LED 160 - LED</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Iluminancia a una distancia de 1 m: 160 Klx • Temperatura del color: 4700K • Índice Ra de reproducción cromática del color : 95 • Diámetro ajustable del campo de luz a una distancia de 1 m : 180 – 300 mm • Profundidad de iluminación L1 + L2: 800mm • Dimensiones del cuerpo de luminaria: 800 mm x 720 mm • Regulabilidad: 70 klx – 160 klx en 8 niveles 	<p>Cámara CCD para fines de documentación.</p> <p>Mando dual de la luminaria (desde la pared o a través del mando a distancia).</p>
		

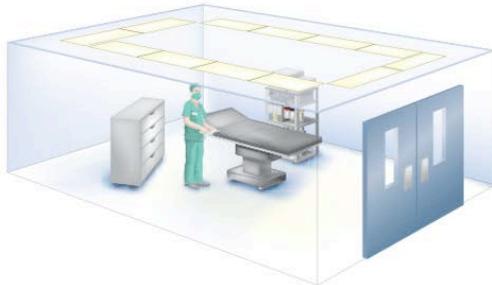
- Iluminación general del quirófano

Los niveles de iluminación general del quirófano para las actividades complementarias, deben ser provistos por luminarias diseñadas para ambientes estériles con un alto grado de protección (IP65). Considerando la adaptación visual del ojo humano a los diversos niveles de luz de las distintas luminarias. Desde dos sentidos; en niveles de luminancia y en correspondencia de la temperatura de color de la luz de todo el sistema de iluminación del quirófano. Según la “Guía Técnica de Eficiencia energética en Iluminación. Hospitales y Centros de Atención Primaria. IDAE”, sugiere que es recomendable establecer dos niveles de iluminación, uno de 2000luxes en los alrededores de la mesa de operaciones (en dos líneas de luminarias asimétricas a ambos lados de la mesa) y otro de 1000luxes en toda la sala. Incluso en las áreas contiguas al quirófano (salas de recuperación, anestesia, esterilización, etc.) por lo menos tener 500luxes.

IESNA menciona también una correspondencia entre los sistemas de iluminación para las diversas actividades que ahí se desempeñan, indicando que se necesitan por lo menos 27 klx (2500 fc) en promedio en los 20 cm del diámetro del campo quirúrgico iluminado sobre la mesa de trabajo. Las diferencias de luminancia entre las áreas dentro de la vista del cirujano y el equipo quirúrgico deben ser no más de 33 % entre la herida y el campo quirúrgico y no más de 20 % entre el campo quirúrgico y la mesa de instrumentos. También la diferencia de luminancia entre el campo quirúrgico y las superficies de la habitación también debe ser no más de 20 %, el confort visual es mayor cuando no hay reflexiones brillantes dentro del campo visual (IESNA, 00).

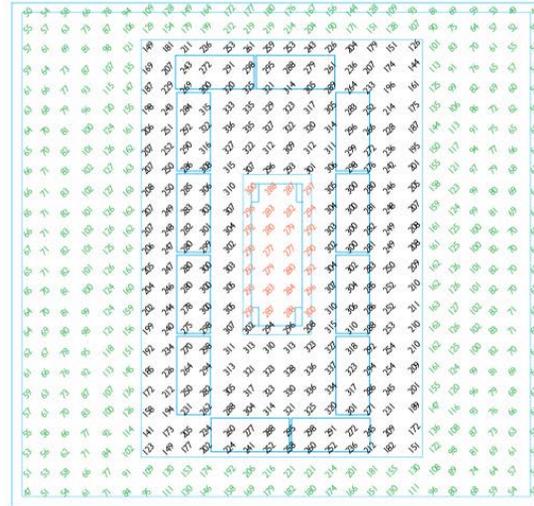
SALA QUIRÚRGICA TIPO

26' x 25' Area, 9' Mounting Height
 90/60/20 Room Reflectance, .8 LLF (Source: IESNA RP-29-06)
 Catalog No. M2SEFI24-6-F32T8



STAT AREA	AVG FC	MAX FC	MIN FC	AVG/ MIN	MAX/ MIN
Zone 1 @ 3' AFF	288	300	277	1.0:1	1.0:1
Zone 2 @ 3' AFF	264	337	123	2.0:1	3.0:1
Zone 3 @ 3' AFF	101	221	46	2.0:1	5.0:1

Zone 1 Immediate surgical area
 Zone 2 Secondary surgical area
 Zone 3 Perimeter of the room



	IES Recommended FC	M2SE Avg. FC Produced
Zone 1	200-300	288
Zone 2	100-125	264
Zone 3	40-60	101

Fig. 13. Distribución fotométrica de una sala quirúrgica tipo (tres zonas: Inmediata, secundaria y perimetral). Fuente de la imagen: KENALL, Lighting for Healthcare Environments. <http://www.kenall.com>

- Sistemas de iluminación especial, control y automatización

Actualmente se están desarrollando quirófanos denominados “híbridos” en estados unidos principalmente, donde se realizan cirugías cardiovasculares con la ayuda de sistemas robóticos (Magellan Robotic endovascular system) que permiten realizar los procedimientos (reemplazo de válvula aortica) sin abrir el pecho del paciente (ver fig.13). Estos quirófanos albergan diversos sistemas tecnológicos de cirugía como el SKYTRON (sistema de video por fibra), Iluminación LED, pantallas de alta definición para cirugía, sistemas de comunicación de video-archivo (VACS - Video Archive Communication System), equipo quirúrgico y tecnológico de ultima generación, sistemas de imagenología en tercera dimensión. La finalidad de integrar estos quirófanos con alta tecnología tiene el objetivo de realizar dentro de un mismo espacio la cirugía y los estudios necesarios (imagenología y rayos X) que permitan emitir un diagnostico inmediato y certero durante su ejecución.

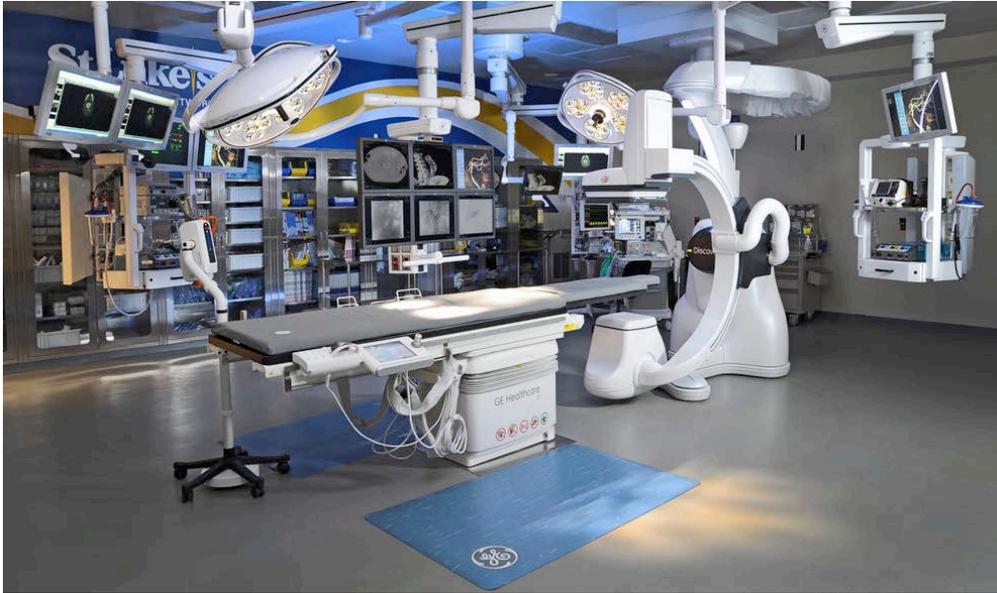


Fig. 13. Imagen del quirófano híbrido (SKYTRON & GEdiscovery IGS730).
Fuente de la imagen: <http://hybridoperatingroom.com/hybrid-operating-room-news/>

Ante el constante cambio inmanente de la modernidad, el dinamismo¹⁰ es una característica de la tecnología médica de última generación, en el caso de la infraestructura arquitectónica es necesario diseñarla con parámetros que permitan tener flexibilidad y proveerlos con el equipamiento más reciente si se quiere tener una mayor vigencia, así como revisiones periódicas que permitan saber el estado en el que se encuentra respecto a lo que ha seguido cambiando, ya que la innovación de estos equipos condiciona al espacio que los alberga.

Por ello se retoma la clasificación de los sistemas de televisión y video grabación que realiza IESNA para los quirófanos y no se muestra un listado de equipos innovadores actualmente, que posteriormente no lo serán. Se consideran tres grupos que definen el tipo de equipamiento;

- sistemas integrados al equipo médico de iluminación que coordinan la iluminación y el campo visual de la cámara de video grabación simultáneamente.
- Sistemas adjuntos al sistema de iluminación que permiten un mejor ángulo de visión, que requieren una mayor destreza del operador.

¹⁰ "El dinamismo es el signo de la modernidad. No es algo accidental, sino una propiedad inmanente de la época y, por lo pronto, nuestro destino. Significa que hemos de contar siempre con la novedad, pero que no podemos calcularla; que el cambio es seguro, pero no es seguro lo que vendrá. No podemos anticipar, por ejemplo, los inventos y descubrimientos y no podemos incluirlos ya en nuestros cálculos. Lo único casi seguro es que algunos serán permanentes y que los habrá de gran relevancia práctica, ocasionalmente revolucionaria incluso. Mas en esto no es posible apoyar cálculo alguno. La incógnita de la novedad permanente aparece como un fantasma en todas las ecuaciones". Fragmento de: Arcas Díaz Pablo (2007). "**Hans Jonas y El principio de responsabilidad: del optimismo científico-técnico a la prudencia responsable.**" Universidad de Granada, Facultad de Filosofía y Letras. Tesis doctoral.

- Sistemas separados al sistema de iluminación, por medio de plataformas o sistemas móviles independientes que requieren mayor espacio.

Las salas de diagnóstico por medio de escaneo como: la tomografía axial computarizada (CAT), tomografía por emisión de positrones (PET) y los sistemas de imágenes de resonancia magnética (MRI), requieren de sistemas de iluminación controlables al igual que el quirófano, debido a que el usuario transcurre largos periodos de tiempo en su interior de manera consciente y por otro lado en el caso del quirófano según el procedimiento se requiere para mejorar la visualización de los equipos.

De ahí que los sistemas de control de iluminación se utilizan principalmente por dos razones, por cuestiones estéticas para brindar ciertas condiciones de iluminación a la actividad mejorando la calidad del campo visual y la otra razón es por control del gasto energético al limitar la demanda de luz cuando es innecesaria mediante estrategias, técnicas y/o equipo (IESNA,00).

2.1 SISTEMA VISUAL

2.1.1 Estructura Sistema Visual

- a) Óptica ocular
- b) Funcionamiento de la retina
- c) Fuentes de desenfoco en la imagen retiniana
- d) Campo Visual

2.1.2 Adaptación, acomodación y apariencia del color

2.1.3 Trastornos del Sistema Visual

2.1.4 Percepción, procesos psicológicos y preferencias

2.2. SISTEMA CIRCADIANO

2.2.1 Estructura y características

- a) Modelo de Foto transducción circadiana
- b) Iluminación circadiana

2.2.2 Desincronización del Sistema Circadiano

- a) SAD
- b) Alzheimer
- c) Sueño

2.3. EFECTOS NO-VISUALES DE LA EXPOSICIÓN A LA LUZ NATURAL

2.3.1 Estado de alerta

2.3.2 Efectos del trabajo nocturno

2.3.3 Vitamina D y su relación con la Luz Natural

CAPITULO 2

INFLUENCIA DE LA ILUMINACIÓN EN EL SER HUMANO

Las condiciones de iluminación disponible en un espacio arquitectónico desempeñan un factor que influye en el rendimiento del ser humano. De acuerdo con R. Boyce esto se presenta por medio de tres sistemas con que cuenta el ser humano: sistema visual, sistema circadiano y sistema perceptual. Esto quiere decir que cada sistema requiere del estímulo adecuado que le proporciona la iluminación disponible y que va más allá de una visión tradicional sobre la iluminación que es “proporcionar luz suficiente para poder ver”. Lo cual ha llevado a la exploración del poder de la luz sobre el ser humano cuando ésta está presente en el ambiente y cuando se carece de ella, para entender cuáles son los aportes de entrada que capta el sistema circadiano y los efectos no visuales de la luz que provoca a nivel neuroendocrino y neuroconductual.

El estímulo luminoso puede ser descrito por alguna de estas categorías; actinometría, radiometría, fotometría y colorimetría. Las dos primeras caracterizan la luz en términos físicos que son independientes de las propiedades del sistema visual humano y las dos últimas cuantifican los estímulos luminosos en términos del efecto que tienen en la visión. Para esta investigación son de mayor interés aquellos que tienen un impacto en la visión humana, la colorimetría reduce el estímulo de luz del espectro sensible por los foto receptores en tres valores [onda corta (S), onda media (M), onda larga (L)]. La fotometría reduce el estímulo de luz del espectro visible por el hombre a una descripción cuantitativa que estima la eficacia visual del observador estándar (Shevell, 03).

Es importante clarificar que el impacto que ofrece la luz a los sistemas visual y circadiano requieren de distintos estímulos luminosos de acuerdo con lo indicado por Mark Rea, en 5 características que a continuación se retoman: cantidad, espectro, distribución, hora del día y duración. Según M. Rea se trata de un marco preliminar, la base para un sistema fotométrico circadiano¹.

1. **Cantidad.** Se expresa en unidades de iluminancia (lux) y se relaciona con el Modelo (RVR) de Rea y Ouellette que representa la velocidad y precisión para procesar bajo distintos contrastes e iluminancias caracteres alfa numéricos por la fovea en adultos jóvenes. Lo que nos indica este parámetro es que en términos de estímulo visual la iluminancia incluso de la luz de luna puede ser suficiente para mantenerse en un rango dentro de la zona de meseta, pero en términos de estímulo circadiano medido a través de la regulación de la melatonina resulta ser un estímulo débil. Lo que ocurre cuando se tienen periodos prolongados con señales débiles es que hay una inadecuada sincronización para detonar las funciones biológicas influenciadas por la melatonina.
2. **Espectro.** Se expresa en términos de la longitud de onda (nanómetros) y se refiere a la sensibilidad espectral para el estímulo del sistema circadiano y del sistema visual (porción del espectro visible de 380-780nm), se relaciona con los foto receptores presentes en la retina, fovea (conos L y M) y con los fotómetros comercialmente disponibles para su medición. Es necesario hacer énfasis en que dicho instrumental fotométrico de medición puede sub representar a los recursos luminosos compuestos en su mayoría por onda corta, como la luz natural, debido a la base de iluminación fotópica sobre la cual están diseñados.
3. **Distribución espacial.** Se refiere que la distribución espacial de los objetos y texturas ubicados en el espacio arquitectónico, la cual es procesada por el sistema visual por medio de la retina. Mediante este acto se pueden reconocer patrones de luz y oscuridad y

¹ Se retoman los cinco aspectos (*quantity, spectrum, spatial distribution, timing, duration*) del trabajo desarrollado por M. S. Rea en su artículo “*Light – Much More Than Vision*”, de manera simplificada para este trabajo, como una base para explicar el estímulo luminoso.

discriminar situaciones de riesgo. En el caso del Sistema Circadiano (SC), la retina solo desempeña el papel de integrar los fotones absorbidos. Estudios muestran que la diferencia se sitúa en que la retina superior y la retina inferior tienen diferentes densidades de fotorreceptores utilizados por el SC.

4. **Hora del día.** Este aspecto al parecer no resulta ser determinante en el sistema visual (SV). Sin embargo, la temporalidad para el SC debe ser considerado dentro de un sistema fotométrico circadiano, ya que de acuerdo al tiempo de exposición a la luz puede afectar el reloj biológico. Si se es expuesto a la luz durante la primera parte de la noche, el reloj biológico se reinicia en una fase retrasada (phase delayed), por otro lado cuando la misma luz es aplicada en la segunda mitad de la noche, el reloj biológico se reinicia en una fase adelantada (phase advanced). Al parecer el cambio de fase ocasionado por la luz y la supresión de la melatonina siguen reglas similares.
5. **Duración.** Se relaciona la duración de exposición a la luz de acuerdo a las necesidades que opera cada sistema. Es decir el SV requiere de estímulos (hasta de milisegundos) que le permitan integrar, categorizar y transmitir la información visual al cerebro para iniciar una respuesta cognitiva y motora, por medio de los circuitos neurales. Por otro lado el SC opera desde una plataforma más lenta que es el flujo sanguíneo por donde se canaliza la hormona melatonina. Se ha registrado en estudios un tiempo de 10 minutos para que ocurra la supresión de la melatonina, no obstante se involucra la iluminancia en el ojo y el tiempo en el que es medida la melatonina.

2.1 SISTEMA VISUAL

En principio la visión depende de la iluminación disponible de un espacio específico la cual deberá proveer las condiciones visuales en términos de eficiencia, eficacia y confort para poder desempeñar una actividad determinada. El sistema visual es el sistema de procesamiento de imagen, el cual involucra ojo y el cerebro para poder descifrar los estímulos del ambiente visual, así es como los componentes ópticos del ojo forman una imagen del ambiente visual sobre la retina, cuando los fotones de luz son absorbidos por los fotorreceptores y convertidos en señales eléctricas. Dichas señales son transmitidas por el nervio óptico hacia el núcleo geniculado lateral y posteriormente a la corteza visual para el procesamiento visual (*Colombo, 02*).

La formación de imagen retiniana se transduce primero en señales químicas y eléctricas en los fotorreceptores, posteriormente estas señales se procesan a través de la red de neuronas de la retina (horizontal, bipolar, amacrinas y células ganglionares). Entonces los axones de las células ganglionares se reúnen para formar el nervio óptico que se proyecta al núcleo geniculado lateral (LGN) en el tálamo. Las células LGN, después de recoger las aportaciones de las células ganglionares, proyectan a la zona visual uno (V1) en el lóbulo occipital de la corteza. En este punto, el procesamiento de la información comienza a ser muy compleja. Aproximadamente 30 áreas visuales se han definido en la corteza con nombres como V2, V3, V4, MT, entre otras más. Las señales de estas áreas se proyectan a otras áreas y viceversa. En alguna parte de esta red de información se forman nuestras percepciones finales (*Fairchild, 05*).

2.1.1 Estructura del sistema visual

Las siguientes estructuras tienen un claro impacto en la forma y definición de la información disponible para el sistema visual que resulta en la percepción del color. La acción de la pupila define los niveles de iluminancia retinal, que de acuerdo a esto impacta en la apariencia del color. El efecto del filtro amarillo que ofrece el lente y la macula modulan la respuesta espectral de nuestro sistema visual. La estructura espacial de la retina sirve para la definición del campo visual, un punto crítico en la apariencia del color. La percepción visual y la apariencia del color son procesos complejos que se llevan a cabo en parte, en las redes neuronales que se alojan en la retina.

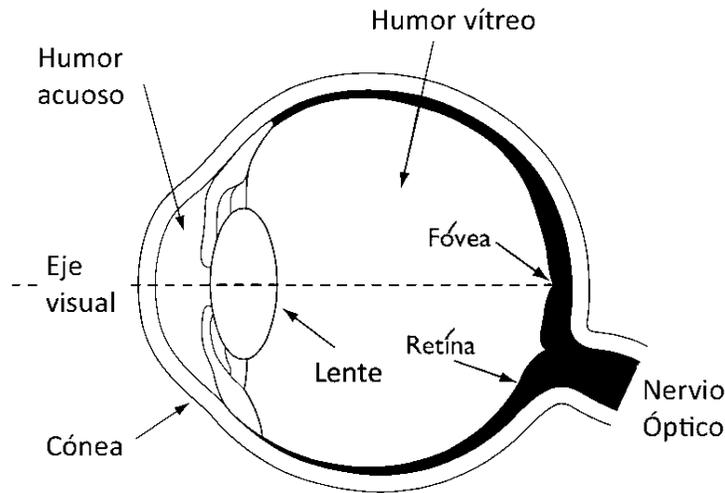


Fig. 1. Partes importantes del ojo humano. Facsímil (Shevell, 03).

a) Óptica ocular

La **cornea** es una estructura externa casi transparente al frente del ojo, mediante la cual pasa la luz, es un elemento significativo en la formación de imagen debido a su curvatura representando el mayor índice de refracción en el sistema óptico (Fairchild, 05). La absorción de menos del 10% de la luz incidente a 800nm y menos de 20% de la luz incidente a 400nm, en el ultravioleta a longitudes de onda de menos de 300nm aumenta la absorción a más del 99%. Esta absorción tiene poco impacto en la visión porque la lente y el pigmento macular absorben longitudes de onda corta de manera más eficiente que la córnea para proteger a la lente de la exposición excesiva a la longitud de onda corta (Shevell, 03). Errores refractivos como la miopía, hipermetropía, astigmatismo, son atribuidos a variaciones en la forma de la córnea y corregidos en algunos casos con cirugía laser que reestructura la forma de la córnea (Fairchild, 05).

El **lente** es una estructura flexible en capas que alberga los pigmentos que absorben longitudes de onda corta, de hecho la absorción de la lente es tan dominante que a menudo sustituye a los demás medios oculares en la absorción de las longitudes de onda visibles. En el adulto joven la absorción de la lente es muy eficiente a longitudes de onda inferior a 390nm y menor al 10% entre 450nm y 900nm (Shevell, 03). A diferencia de otros filtros oculares, la transmisión del lente cambia como una función de la edad. Al nacer, el cristalino humano contiene un pigmento que absorbe la longitud de onda corta que disminuye durante la primera infancia

(primeros 5 años o menos). Después de 30 años de edad hay un aumento en la cantidad de luz dispersada dentro de la lente que reduce la transmisión en todas las longitudes de onda. Además, hay un aumento en la densidad de pigmentos que absorben fuertemente en longitudes de onda cortas, así como un aumento de espesor de la lente (*Shevell, 03*).

Los efectos de la edad son muy marcados en cuanto a la absorción del rango de las longitudes de onda corta, entre los 20 y 60 años de edad la densidad de la lente para 400nm aumenta 0.12 unidades logarítmicas por década en promedio. Después de los 60 años, el aumento de la densidad se acérela a 0.4 unidades logarítmicas por década en promedio (*Shevell, 03*).

El humor vítreo y humor acuoso absorben menos del 10% de la iluminación incidente en todas las longitudes de onda entre 400 y 800nm y son los más transparentes de los medios de comunicación óptica (*Shevell, 03*). El humor vítreo es el volumen entre la cornea y el lente formado esencialmente a base de agua, con una viscosidad similar a la gelatina. Estos mantienen una ligera presión elevada para asegurar la flexibilidad y forma del ojo, lo que incrementa su resistencia a sufrir una herida (*Fairchild, 05*).

El *iris* es el musculo que actúa como un diafragma que controla el tamaño de la pupila y brinda el color característico de los ojos. El color esta determinado por la concentración y distribución de melanina. La pupila es el orificio en medio del iris por donde pasa la luz definiendo el nivel de iluminación en la retina. El tamaño de la pupila esta determinado por la cantidad de iluminación y en otras ocasiones por la excitación, por lo tanto es difícil predecir el tamaño de la pupila, sin embargo, para fines prácticos se considera que puede variar su tamaño de 3mm-7mm, aunque puede aumentar hasta cinco veces su dimensión. El cambio en el diámetro de la pupila por si sola no es suficiente para explicar la función que desempeña la visión humana respecto a los niveles de iluminancia que pueden variar hasta 10 veces su magnitud (*Fairchild, 05*).

b) Funcionamiento de la retina

En la *retina* se da la formación de imagen, se trata de una estructura compleja a base capas de células neuronales y parte del sistema nervioso central de menos de 0,5 mm de espesor, su estructura general esta basada en tres etapas verticales con interconexiones horizontales en las uniones. Los fotorreceptores (conos y bastones), son la etapa más periférica es decir que se encuentran más lejos de la pupila y la luz debe pasar por el espesor de la retina antes de ser absorbido, de ahí se comunica con las células bipolares. Estructuralmente, los conos y bastones son similares constan de dos partes claramente definidas, los segmentos internos y externos. El segmento externo contiene el foto-pigmento y dentro de ella se originan las señales evocado la iluminación. Sin embargo, los bastones funcionan principalmente en condiciones de baja luminosidad y proporcionan la visión en blanco y negro, los conos están adaptados a las situaciones de mucha luminosidad y proporcionan la visión en color. Las células ganglionares con axón mielinizado reciben la información de los fotorreceptores y transmiten la representación de la imagen al cerebro por medio del nervio óptico.. El sistema vascular de la retina es una malla capilar de espesor no uniforme que se encuentra entre la córnea y los foto-receptores, la cual filtra la luz que alcanza a la retina. Las propiedades espectrales de la sangre están dominados por la hemoglobina que absorbe más entre 400 y 450 nm, incluso depende del grado de oxigenación de la hemoglobina (*Van Kampen y Zijlstra, 1983, en Shevell, 03*).

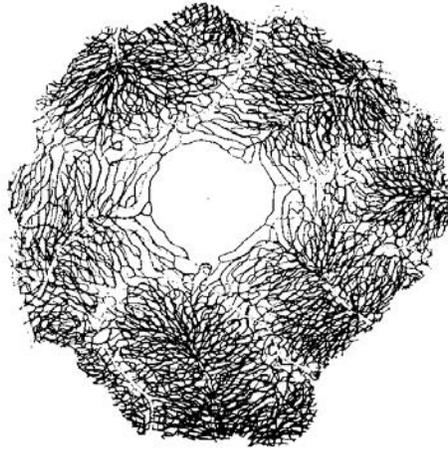


Fig. 2. Red capilar de la retina de un macaco. Facsimil (Shevell, 03).

- **Conos y bastones**

Derivan su nombre de su respectiva forma fotópica, los bastones tienden a ser alargados y esbeltos, mientras que los conos son cónicos. La principal diferencia está en sus funciones visuales, los bastones sirven para la visión de baja luminancia (visión escotópica) ($1\text{cd}/\text{m}^2$) mientras que los conos sirven para la visión de alta luminancia. De ahí que la transición entre conos y bastones es uno de los mecanismos que permiten a nuestro sistema visual funcionar en un amplio rango de iluminación. A iluminancias mayores a $100\text{cd}/\text{cm}^2$ los bastones se saturan y solo los conos funcionan (visión fotópica). En niveles de luminancias medias ambos funcionan (visión mesópica) y contribuyen a la visión. También difieren sustancialmente sus sensibilidades espectrales (Fairchild, 05). Solo hay un tipo de bastón con una respuesta espectral a los 510nm y tres tipos de conos receptores (L,M,S) que abarcan una respuesta espectral pico espaciada (onda corta, onda media, onda larga). En ocasiones se les denomina RGB (red, green, blue). Sin embargo, este concepto no es del todo correcto (Fairchild, 05) debido a que la apariencia del color es un fenómeno mental, no físico. La longitud de onda de la luz no está dotada de un color, un ejemplo de ello es que una onda de 700nm es percibida como color rojo, debido a la selectividad que estimula de manera desigual los fotorreceptores del ojo que trasducen la luz física en respuestas neuronales fisiológicas. Es decir, el color rojo es una experiencia humana que resulta de eventos neuronales posteriores que se llevan a cabo en la retina y el cerebro (Shevell, 03).

La **Fóvea** es la parte más importante de la retina, donde tenemos la mejor visión del espacio. Donde fijamos el objeto visto del campo visual, es decir movemos la cabeza y ojos en dirección a la imagen vista la cual recae en la fóvea. Cubre un área que subtiende dos grados del ángulo visual en el campo central de la visión.

La **macula** es un filtro de color amarillo que protege a la fóvea de la energía a la exposición intensa de la onda corta. El pigmento macular es el filtro final, parte integral de la retina que absorbe más la región entre los $400\text{-}550\text{nm}$ con un pico cerca de 458nm . La densidad del pigmento macular también varía de capa a capa dentro de la retina, el pigmento macular se puede detectar antes del nacimiento y los aumentos en la concentración durante la vida temprana, pero permanece sin cambios después de 9 años de edad (Werner et al., 1987 en Shevell, 03).

El **nervio óptico** es una estructura del ojo y el último nivel del procesamiento neural, esta hecho de aproximadamente un millón de fibras de axones de las células ganglionares que llevan la información generada por aproximadamente 130 millones de foto receptores.

c) Fuentes de perdidas de luz en el ojo

Existen perdidas de luz en el ojo por reflexión y absorción a medida que ésta pasa a través de la óptica del ojo a la retina y deben tenerse en cuenta para el diseño de estímulos en experimentos psicofísicos. Las perdidas de luz debido a la reflexión en las superficies de los medios ópticos son mínimas, sin embargo, la más grande se produce en la superficie frontal de la cornea, donde se refleja aproximadamente el 3% de la luz, esto es debido a la diferencia sustancial en los índices de refracción del aire y de la córnea, otras reflexiones ópticas suman menos del 0.3% de la luz incidente. Las reflexiones especulares o imágenes de Purkinje de las superficies frontal y posterior de la córnea y la lente se pueden utilizar para realizar el seguimiento de la mirada de manera no invasiva. Las perdidas debido a la absorción de los medios oculares (córnea, humor acuoso, cristalino, humor vítreo, la retina y el pigmento macular) son abordados como una serie de filtros de color, donde sus espectros de trasmisión se han medido en ojos extirpados e in situ (Shevell, 03).

En consecuencia al reducirse la luz que llega a la retina las estructuras oculares disminuyen el enfoque de la imagen retinal. La calidad de la imagen retinal esta en función de la difracción de la pupila, las aberraciones en el lente y la córnea, la luz dispersada en el medio óptico y las propiedades de la retina (Shevell, 03).

d) Campo visual

Es una porción del espacio que el ojo es capaz de ver. Para determinarlo se realiza un examen del campo visual para conocer sus limites para cada ojo. Algunas enfermedades oftalmológicas pueden ocasionar la disminución de su amplitud. Sin embargo, un parámetro de sus limites que se considera normal es de 60° hacia dentro de la nariz hasta 100° hacia fuera en cada ojo y 60° por encima de la horizontal del eje de visión y 75° por debajo, la mácula tiene 13° centrales y la fóvea 3° (Wikipedia, 15).

2.1.2 Adaptación, acomodación, contraste y apariencia del color

Para entender mejor el procesamiento de las señales que captan el color en el sistema visual humano deben tenerse presentes los mecanismos dinámicos de adaptación (de la oscuridad, de la luz y cromática) que sirven para optimizar la respuesta visual.

Adaptación a la oscuridad

Se refiere al cambio en la sensibilidad visual que se produce cuando se reduce el nivel de la iluminación presente. Al principio todo el teatro aparece completamente oscuro, pero después de unos minutos uno es capaz de ver claramente los objetos. Esto sucede porque el sistema visual está respondiendo a la falta de iluminación volviéndose cada vez más sensible y por lo tanto capaz de producir una respuesta visual significativa para un nivel de iluminación baja.

Al principio los conos se vuelven gradualmente más sensibles hasta después de un par de minutos (10 minutos) la sensibilidad visual es más constante. En ese momento el sistema de bastones ha recuperado la sensibilidad suficiente para superar a los conos y empiezan los bastones a controlar la sensibilidad global. La sensibilidad de los bastones continúa mejorando hasta que se vuelve asintótica después de 30 minutos.

Adicionalmente al cambio del diámetro de la pupila (hasta 5 veces su tamaño), existen otros mecanismos que se cree que son responsables de la adaptación a la variación de la iluminación que se relacionan con los mecanismos neurales como: (Fairchild, 05).

- Regeneración y agotamiento de foto-pigmento
- Transición de conos y bastones
- Control de ganancia en los receptores y otras células de la retina
- Variación de las regiones a través de los fotorreceptores
- Retroalimentación neural
- Respuesta de compresión
- Interpretación cognitiva

Adaptación a la luz

Es el proceso inverso de adaptación a la oscuridad. Sin embargo, difieren sus propiedades visuales, en este caso el sistema visual debe ser menos sensible a fin de producir percepciones útiles, ya que más energía disponible no es significativamente más iluminación visible. Se trata de los mismos mecanismos fisiológicos que sirven para la adaptación de la iluminación, aunque existe una asimetría resultante en el movimiento hacia delante y hacia atrás, resultando en un tiempo de adaptación de 5 minutos en lugar de 30 minutos inversos. El sistema visual tiene un rango dinámico de salida limitada (100:1) en cuanto a las señales que producen nuestras percepciones. El mundo en el que nos desempeñamos incluye niveles de iluminación que varían al menos 10 veces la magnitud (Fairchild, 05).

Adaptación Cromática

Esta adaptación es en gran medida independiente al control de sensibilidad de los otros tres mecanismos de la visión del color, se ha discutido que se trata del control de la sensibilidad independiente de los conos. Un ejemplo de este fenómeno se puede observar mediante la visualización de una hoja blanca de papel bajo distintos tipos de iluminación (luz natural, fluorescente e incandescente). La luz de día contiene más energía de longitud de onda corta que la luz fluorescente y la iluminación incandescente contiene relativamente mucha más energía de longitud de onda larga que la luz fluorescente. Sin embargo en papel conserva su color blanco bajo las tres fuentes de luz, esto es porque el sistema de conos S se vuelve menos sensible bajo la luz natural para compensar la longitud de onda corta adicional y el sistema de conos L se convierte relativamente menos sensible bajo iluminación incandescente para compensar la energía adicional de longitud de onda larga (Fairchild, 05).

Acomodación

Es la capacidad de enfocar adecuadamente cuando cambian las condiciones de iluminación. El ojo se ajusta dependiendo de los niveles de iluminación, dilatando y contrayendo la pupila para ajustar la cantidad de luz que entra al ojo.

Contraste

Es la habilidad para detectar la imagen tanto en zonas oscuras como en zonas de mayor claridad. El contraste máximo sucede entre áreas blancas y negras. El ojo analiza el contraste de la escena dando paso a los contrastes espaciales que suceden al mismo tiempo, donde se distinguen los detalles finos y los detalles gruesos. En los contrastes temporales ocurren en el mismo lugar pero a destiempo (percepción del movimiento). Estas acciones se llevan a cabo en circuitos complejos de la retina².

Mecanismos visuales que impactan en la apariencia del color

- Memoria del color. Se refiere al fenómeno donde al reconocimiento de los objetos a menudo se les asocia con un color definido. Ejemplo: el cielo azul, incluso el color pueden ser recordado de una manera más saturada que el estímulo real.
- Constancia del color. Se refiere a la percepción de todos los días, donde los objetos permanecen sin cambios a través de los cambios significativos en el color de la iluminación y el nivel de luminancia. La constancia del color es atendida por los mecanismos de adaptación cromática y la memoria del color.
- Descuento de la fuente luminosa. Se refiere a la capacidad del observador para interpretar automáticamente las condiciones de iluminación y percibir el color de los objetos después de descontar las influencias del color de la iluminación.
- Reconocimiento de objetos. Se debe generalmente a las propiedades espaciales, temporales, de luz y oscuridad de los objetos, más que a las propiedades cromáticas.

El procesamiento de la información visual es complejo y aun no se entiende completamente su funcionamiento, en algún momento en el sistema visual la representación de las percepciones se combinan y distribuyen las señales de estímulo que producen las diversas percepciones, abriendo la posibilidad de múltiples permutaciones para una percepción determinada, como es el caso de la apariencia del color (*Fairchild, 05*).

2.1.3 Trastornos en el Sistema Visual

Debido a la influencia directa que ejerce la iluminación en la salud visual de las personas, se han realizado estudios relacionados con una mala iluminación en los lugares de trabajo y la aparición de fatiga visual, ocasionando en los ojos de los usuarios sequedad, picor y escozor; dolor de cabeza, cansancio, irritabilidad, mal humor, entre otros (*Beltran M. y Merchan A., 2013*). Al presentarse estas deficiencias por tiempo prolongado puede desencadenar trastornos visuales como: miopía, lagrimeo, disminución de la agudeza visual, dolores de cabeza etc.

Un estudio realizado en Candelaria de Bogotá en personal de la salud donde se evaluaron los niveles de iluminación y su relación con posibles efectos visuales en sus empleados, algunos aspectos relevantes que se evaluaron en cuanto a la sintomatología destacan el enrojecimiento ocasional con 34%, visión borrosa 34%, cansancio 22%, molestia la luz solar 22%. En percepción de la iluminación destacan brillos y reflejos 26%, lámparas artificiales molestas 18%. De ahí que los síntomas por iluminación que más destacan son: vista cansada 44%, fatiga en los ojos 34%.

² Ministerio de Salud Pública, Programa de Salud Ocular (2008). "La visión en el adulto mayor". Documento PDF

a) Edad avanzada

Con la edad se deterioran las funciones visuales; repercutiendo en la alteración de la percepción del color, disminuye la visión del contraste entre el objeto y el fondo, disminuye la capacidad de adaptación a los cambios del nivel de iluminación, se pierde la acomodación a la visión cercana, es más fácil sufrir deslumbramiento, se reduce la capacidad para fusionar la información de ambos ojos, disminuye la visión de profundidad, los reflejos y movimientos oculares son más lentos, se deprime la visión periférica del campo visual (*Salud ocular, 08*). Provocando siguientes afecciones oculares más comunes:

- **Cataratas.** Opacidad del cristalino. Provoca disminución de agudeza visual, es la causa de ceguera más frecuente. Se requiere protección UV.
- **Glaucoma.** Aumenta cada vez más con la edad, debido a lesiones en las células de la retina y el nervio óptico y factores hereditarios. Existen varios tipos
- **Retinopatía diabética.** Es una complicación de la diabetes que afecta la microcirculación de la retina.
- **Degeneración macular.** Afección degenerativa que afecta la mácula (parte central donde se tiene agudeza visual. No puede realizar tareas finas.
- **Alteraciones lagrimales.** Aparece lagrimeo por obstrucción, sequedad en los ojos.
- **Presencia de moscas volantes.** Alteraciones en el vítreo ya sea por lesiones en la retina o por pérdida de su consistencia.
- **Alucinaciones.** Percepción aparente de objetos que no existen como: luces, relámpagos o más compleja.
- **Alteraciones.** Lo más frecuente es sentir que se achica y aleja debido a jaqueca o epilepsia.
- **Cromatopsia.** Lo que se ve está teñido de un color uniforme, debido a algunos medicamentos
- **Embolias.** Puede deberse a cristales de colesterol en ocasiones tienen repercusiones visuales.
- **Trombosis.** De los vasos retinianos ocurre una pérdida de la visión por una parte por el sangrado de la retina que actúa como pantalla, tapando los fotorreceptores o por lesión isquémica.

b) Migraña

Es una enfermedad que tiene como síntoma principal el dolor de cabeza muy intenso, que presenta cerca del 16% de la población con incidencia más alta en mujeres, afecta generalmente la mitad derecha o izquierda de la cabeza, se acompaña de sensibilidad a la luz

solar (fotofobia) que se relaciona con problemas en el sistema visual. (*Wikipedia*, 15).

c) *Vista cansada*

Conocido también como presbicia o fatiga visual. Los textos aluden a que se trata de una pérdida de elasticidad del cristalino para cambiar su curvatura para enfocar los objetos cercanos. Así como la pérdida de funcionalidad del músculo ciliar para hacer trabajar el cristalino. En un estudio realizado en Bogotá, Colombia, donde se analizó la percepción de riesgo que tienen los trabajadores con relación a las condiciones de iluminación en la que desarrollan sus actividades, donde se midió la iluminación de las áreas de trabajo y un estudio optométrico a cada persona, resultando en que el 86 % de la población presentaba algún defecto refractivo como la vista cansada y represento el 44% de los síntomas por la iluminación (*Beltrán y Merchán*, 13).

2.1.4 *Percepción, Procesos Psicológicos y Preferencias*

La manera en que representamos el mundo que nos rodea en nuestra mente, parte de la detección de la energía física en el ambiente y que codifica en señales nerviosas nuestro cuerpo, es decir a partir de sensaciones. La sensación es un proceso cerebral primario que procede de nuestros sentidos (vista, olfato, tacto, gusto, oído y cinestesia). Sin embargo, esas sensaciones son organizadas, seleccionadas e interpretadas dando paso a un segundo proceso que es la percepción, donde también influyen la experiencia y los recuerdos previos.

En el caso de la visión, previamente se abordó su estructura y como es que el ojo transforma el estímulo visual en imágenes en nuestro cerebro, para el caso de los demás sentidos sucede un proceso similar, es decir nuestros sistemas sensoriales convierten la energía de los estímulos en mensajes nerviosos llamada transducción sensorial.

De ahí que la percepción del espacio se puede abordar a partir de las leyes de la Gestalt o leyes de la percepción, donde psicólogos de esta corriente demostraron que el cerebro humano organiza y ordena los elementos percibidos en forma de configuraciones recurriendo a ciertos principios a partir de la percepción de la forma: (figura y fondo), agrupación (proximidad, semejanza, continuidad, conexión, cierre). Percepción de la profundidad: (pista binocular y pistas monoculares: tamaño relativo, interposición, claridad relativa, gradiente de textura, altura relativa, movimiento relativo, perspectiva lineal, luces y sombras). Percepción del movimiento (fenómeno Phi). Percepción de la constancia (forma y tamaño y luminosidad) (Departamento de psicología de la salud, 07).

De acuerdo con Rudolf Arnheim, psicólogo y filósofo alemán quien ha realizado contribuciones al estudio de la forma, percepción de las imágenes y psicología del arte, entre otros. Señala que en la manera que percibimos la profundidad se deriva de la ley de simplicidad, donde la forma percibida tiende a organizarse en una figura más sencilla. Los gradientes incluso refuerzan más la percepción de la profundidad, aquellos que generan luminosidad son más efectivos. Los gradientes son incrementos o decrementos sobre una percepción del gradual en el espacio y tiempo. En este sentido la iluminación introduce los gradientes, cuando es de manera lateral causa un fuerte efecto de tridimensionalidad, revelando la forma a los conos (*Arnheim*, 97).

Estos autores (Vietch, Newsham, Loe, Rowlands) consideran que en el momento que entendamos porque ciertas condiciones de iluminación provocan ciertos comportamientos,

entonces podremos recrearlos consistentemente. En este sentido la luz y el color son dos elementos que definen la percepción que se forma el usuario de un espacio determinado. A continuación se retoman los procesos psicológicos relacionados con las condiciones de iluminación en base a la categorización realizada por Veitch³.

1. Control Percibido. Se basa en hallazgos sobre como la percepción sobre el control puede moderar reacciones de estrés, se relaciona con la oportunidad que tiene el usuario de modificar los factores ambientales que le causan algún disgusto (ruido, iluminación). Este principio es aplicado por los diseñadores de iluminación para adoptar controles individuales de iluminación con la consideración de que proveen un beneficio al usuario (en espacios de trabajo).

2. Atención. Se basa en que ciertos resultados pueden ser incrementados bajo la probabilidad de dirigir la atención de los observadores sobre elementos particulares del ambiente. Bajo el principio de la distribución luminosa en un espacio arquitectónico por medio del efecto de “fototropismo humano”, proceso mediante el cual la atención es atraída y dirigida en el campo visual por medio de la luz (fototropismo positivo) y es común le ocurra al ser humano, así como a otras diversas formas de vida. El diseño de la iluminación del espacio Iluminación es un elemento de jerarquía utilizado en la arquitectura.

3. Análisis Ambiental. Se relaciona con los juicios estéticos que se realizan, se interpreta y categoriza lo que se observa. Van mas allá de reacciones emocionales, la investigación al respecto se ha dirigido hacia dos objetivos; determinar las dimensiones hacia donde se realizan los juicios estéticos y el como se conectan los juicios estéticos con otras respuestas, dando lugar a las preferencias. Mediante la *distribución luminosa* los usuarios basan su juicio estético sobre la apariencia del lugar, las características dominantes son: la luminosidad (brillantes del lugar) y el interés.

4. Efecto. La satisfacción y preferencia de los juicios tienen una componente emocional, es decir, como hace sentir el espacio al usuario-observador. La satisfacción es el sentimiento de bienestar que se tiene cuando se ha cubierto una necesidad, entonces aquellas condiciones que producen satisfacción son aquellas que en consecuencia se prefieren. Para algunos autores (Hawkes, Loe, Rowlands, Bean & Bell) esto es lo que define la calidad lumínica. En términos de *luminancia e iluminancia* se han realizado experimentos para determinar los factores que influyen como: la edad, sexo, nacionalidad. Sin embargo, la única generalidad se trata de que la mayoría de las personas prefieren iluminancias mayores que las recomendadas para la práctica de alguna actividad específica.

De acuerdo a los aspectos antes expuestos sobre la percepción, las necesidades, preferencias, experiencias, emociones y comportamientos de los usuarios desempeñan un rol importante en la calidad de los servicios de salud cuando estos son considerados en el diseño ambiental de los espacios para la salud (Ullán A. et. al., 11).

Se han realizado estudios en el área del diseño ambiental para conocer las preferencias en diversos aspectos como la iluminación y el color en pacientes adultos y adolescentes, incluso considerando si afecta o no estar hospitalizado. Indagando sobre que elementos y características hacen preferible una habitación de hospitalización. Definiendo aspectos físicos (iluminación, limpieza, dimensiones, vistas), aspectos simbólicos (respuestas referentes al color, decoración y

³ Veitch, J. A. (2001). “Psychological processes influencing lighting quality”. Journal of the Illuminating Engineering Society, 30(1), 124-140

otros elementos del lugar), necesidades, preferencias, experiencias, procesos emocionales relacionados al espacio (ansiedad, miedo, relajación, alegría), procesos cognitivos relacionados con los juicios estéticos sobre la configuración del hospital (Ullán A. et. al., 11).

2.2. SISTEMA CIRCADIANO

También conocido como ritmos circadianos, pertenece a los ritmos biológicos que son cambios cíclicos en los parámetros biológicos que se han observado en algunos reinos de plantas y animales. Cada ritmo tiene sus propias características: amplitud o magnitud del periodo de cambio y un periodo de frecuencia de oscilación (IESNA,00).

Propiamente el ritmo circadiano ocurre en horarios de 24 horas aproximadamente, en particular resultan importantes porque caracterizan los patrones de variación observados en la mayoría de los ritmos fisiológicos de los seres humanos como: temperatura corporal, patrones del sueño, secreción de hormonas y presión arterial. La iluminación disponible en el ambiente resulta ser el primer estímulo del sistema circadiano de los mamíferos.

La información del ambiente visual es procesada por la retina y retransmitida hacia el hipotálamo en el cerebro vía neural por el llamado tracto retino hipotalámico (RHT). Mediante el sistema visual (foto-receptores y foto-pigmentos) en donde solo algunos son los encargados de realizar la señal de transducción en el sistema circadiano. Estudios realizados por diversos laboratorios sugieren que la sensibilidad máxima del sistema circadiano y neuroendocrino se ubica en 500nm (onda corta [short wavelength]). Sin embargo, aun no existe un completo acuerdo sobre una longitud de onda específica a la cual es máximamente sensible el sistema circadiano, estudios demuestran que se ubica entre un espectro de 420nm-460nm la supresión de la melatonina humana (Brainard, 08).

Un nuevo foto-pigmento llamado melanospina "*melanopsin*", presente en las retinas de los seres humanos, roedores y monos, fue encontrado en un subtipo específico de células ganglionares de la retina intrínsecamente fotosensible "*intrinsically photosensitive ganglion cells*" (*ipRGCs*). El cual responde a la iluminación presente y resultan ser los principales foto-receptores que regulan el sistema circadiano (Brainard, 08). Los estudios sugieren que este nuevo sistema foto-receptor es el encargado de la foto-transducción circadiana, neuroendocrina y otras respuestas neuro conductuales como la constricción de la pupila, el estado de alerta y respuestas cognitivas.

Otros estudios confirman que la luz azul monocromática es mas potente que otras longitudes de onda para evocar la fases de cambio en el sistema circadiano y el estado de alerta. A pesar de la evidencia que muestra que la melanospina presente en el ipRGCs provee la entrada primaria para el sistema circadiano y foto-transducción neuroendocrina, los foto-receptores llamados conos y bastones desempeñan un rol fisiológico en el Sistema Nervioso Central.

2.2.1 Impacto del Sistema Circadiano

La influencia que ejerce el sistema circadiano sobre los procesos fisiológicos del ser humano es el control sobre las hormonas que se liberan o suprimen a lo largo del día, como la melatonina que cuando se secreta se siente sueño y cuando se suprime se experimenta el estado de alerta, esto sucede de acuerdo a los niveles que se experimentan provocando diversas

reacciones fisiológicas como; el movimiento intestinal, secreción de otras hormonas como la testosterona por la mañana, mejorar las reacción en la coordinación, incrementar la eficiencia cardiovascular, fuerza muscular y presión sanguínea alta por la tarde (Gutknecht, 14). Por otro lado también ejerce una influencia psicológica, principalmente en aquellas personas que trabajan durante periodos nocturnos, afectando sus relaciones personales, causando una sensación de descontento e insatisfacción tanto en el trabajo como en entorno personal. Incluso el sistema circadiano también regula sustancias encargadas de controlar el humor como los proinflammatory cytokines que se han vinculado la depresión, puesto que alteraciones ambientales o genéticas del sistema circadiano conllevan a respuesta pro inflamatorias en el cerebro.

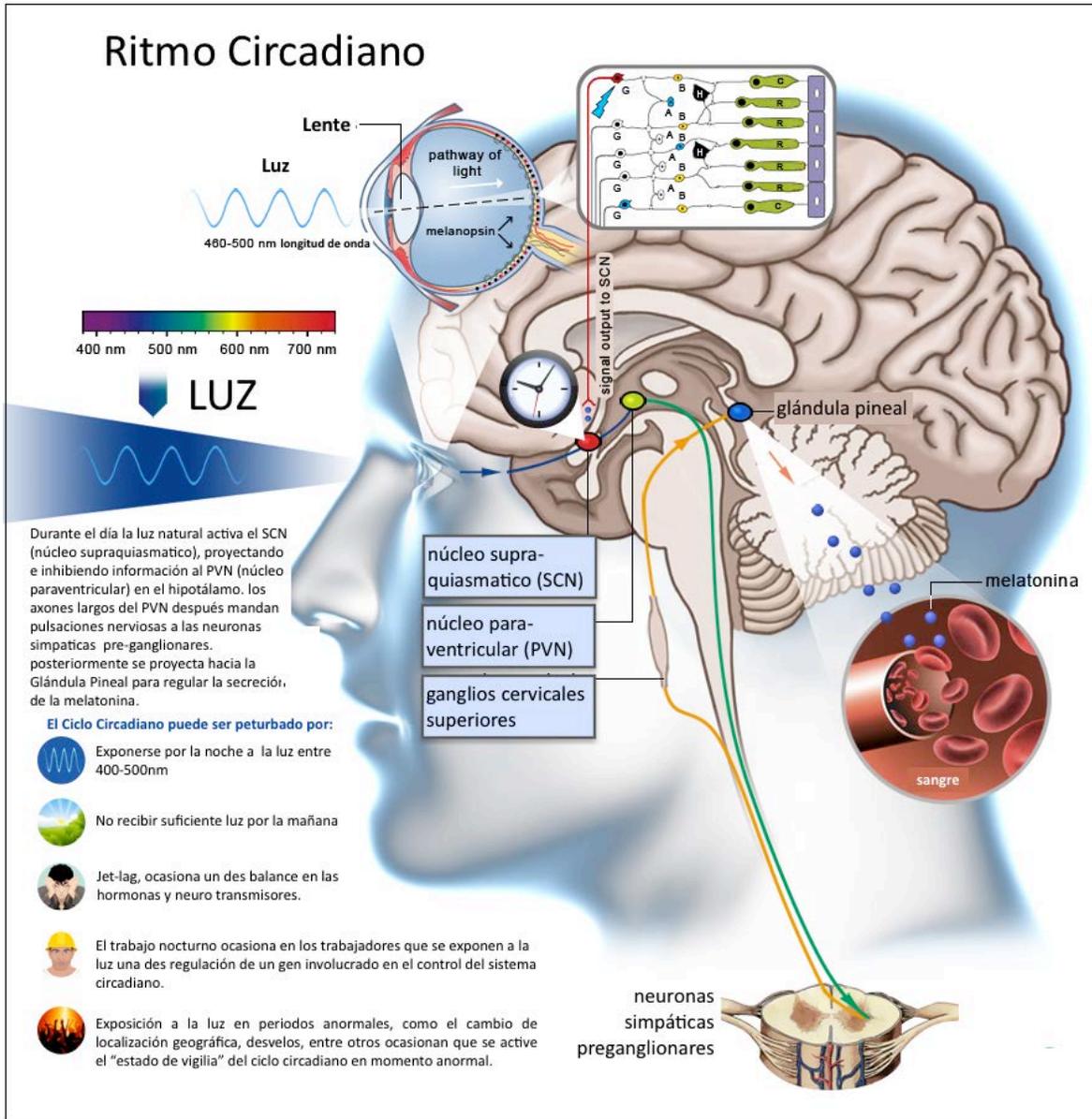


Fig. 3. Acción del Sistema Circadiano. Traducido por el autor.
Tomado de: <http://braintreatmentcenter.asia/english/sleep/>
Fecha de consulta Marzo,2015.

a) *Modelo de Foto-transducción circadiana*

El modelo de foto-transducción circadiana esta basado en la síntesis de un amplio rango de conocimiento existente sobre neuroanatomía, electrofisiología, psicofísica y con especial énfasis en estudios sobre la supresión nocturna de la melatonina causada por la luz en el ser humano.

Los estudios mas tempranos revelaron que se requería mayores niveles de luz blanca para afectar la supresión de la melatonina e inducir el cambio de fase circadiana que en el sistema visual. Recientemente el consenso general al cual se ha llegado es a la onda corta (440nm-500nm) donde es máximamente sensible. Para la comprensión de dicho modelo es necesario conocer sus propósitos; caracterizar las señales de entrada al sistema circadiano y predecir las respuestas que emanan del sistema circadiano.

b) *Iluminación Circadiana*

Recientemente el autor M. Rea expone la diferenciación del concepto de la iluminación circadiana "*Circadian light*", debido a que términos estrictos la definición de luz hace alusión solo a la radiación óptica capaz de producir una respuesta visual sin considerar la respuesta que genera en el sistema biológico. También enfatiza el cambio del concepto Estimulo Circadiano "*Circadian Stimulus*" (CS) utilizado en el Modelo de Foto-transducción Circadiano "Model of Circadian Phototrasduction", por el término Luz Circadiana "*Circadian Light*" (CL). Aunque los estudios representan hechos científicos sobre la clarificación de la anatomía básica y la fisiología del sistema foto sensorial que alimenta el sistema circadiano, aun falta mayor conocimiento que relacione los efectos no visuales de la luz con alguna aplicación específica.

Circadian Stimulus. Describe el estimulo fótico efectivo del sistema circadiano medido por la supresión de melatonina por la noche.

Circadian Light. Es la irradiancia espectralmente ponderada para el Sistema Circadiano Humano, es un término comparable a la iluminancia que es la irradiancia ponderada para el Sistema Visual Humano.

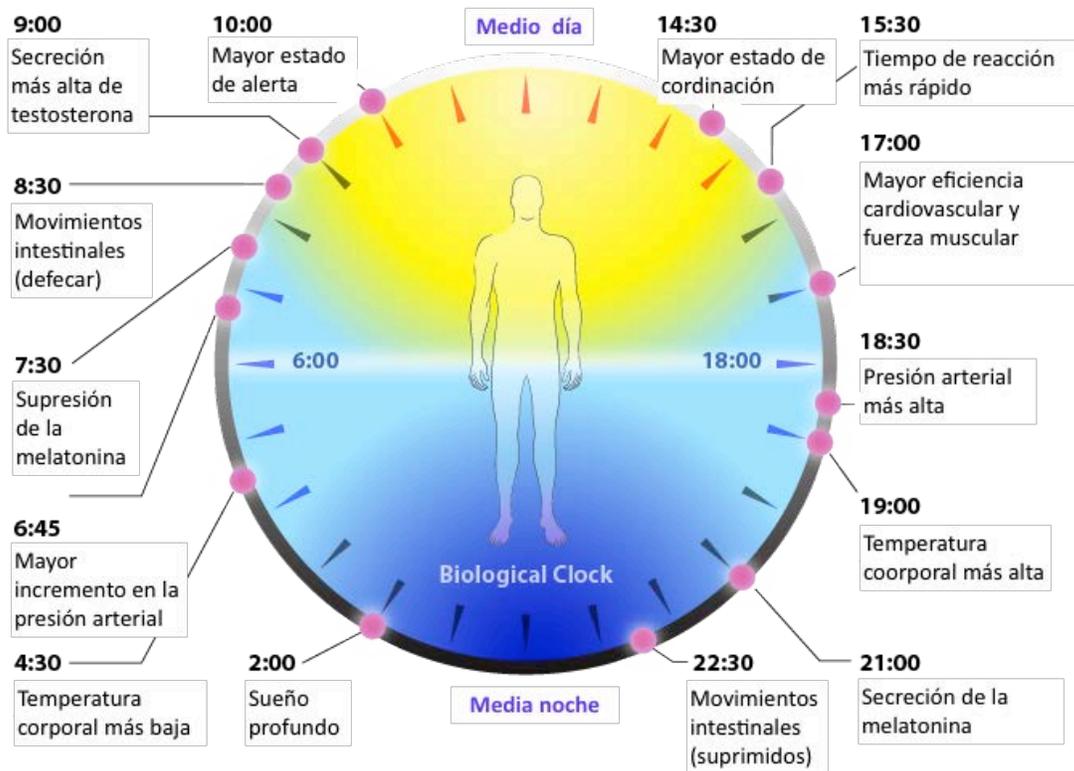


Fig. 4. Fig. 5. Acciones fisiológicas en el ser humano de acuerdo al SC. Traducido por el autor. Tomado de: https://learn.pharmacy.unc.edu/insomnia/sites/default/files/biological_clock.png Fecha de consulta: Marzo, 2015.

2.2.2 Desincronización del sistema circadiano

a) SAD

El trastorno afectivo estacional (SAD) es un tipo de Depresión que está relacionado con los cambios de estación, comenzando casi a la misma hora todos los años es decir durante los meses de invierno, minando la energía, provocando mal humor. Este trastorno lo padecen los países nórdicos, asociados al corto periodo de luz natural. Los niveles de melatonina son más altos de lo normal durante el día, provocando somnolencia, fatiga y otros efectos. Sin embargo, los efectos de la falta de luz natural pueden ser contrarrestados con tratamientos médicos y de exposición a la luz artificial (Boubekri, 08).

b) Alzheimer

La enfermedad del Alzheimer es la forma más común de demencia y personas que la experimentan sufren una reducción de sus capacidades visuales y una desincronización de sus ritmos circadianos debido a una degradación del núcleo supraquiasmático. La exposición a altos niveles de luz natural sin deslumbramientos regula su sincronización, reduciendo la prevalencia de comportamientos no deseables como deambular durante la noche.

b) Sueño

El ciclo de sueño/vigilia en el ritmo circadiano más importante, es un estado fisiológico de auto recuperación que se caracteriza por los bajos niveles de actividad fisiológica del cuerpo (presión sanguínea, respiración, etc.). En el sueño se identifican fases mediante la medición de los movimientos oculares, la cantidad de sueño que requiere dormir una persona esta en función de factores como la edad (niñez, lactancia, adolescentes, adultos mayores), los niveles de estrés, la ansiedad, pueden detonar múltiples desordenes asociados. Sus efectos tienen un alcance sobre la consolidación de la memoria, eliminación de residuos celulares.

2.3 EFECTOS NO VISUALES DE EXPOSICIÓN A LA LUZ

La iluminación tiene efectos no visibles (non-visual, non-image forming [NIF]) sobre el ser humano, conocidos como efectos biológicos relacionados a la foto-recepción circadiana. Con el descubrimiento del tercer foto-receptor ipRGCs, se sabe que la luz es una señal externa que sincroniza el reloj biológico interno, el cual dirige la mayoría de los ritmos fisiológicos diarios y el comportamiento, incluyendo: sueño-vigilia, temperatura corporal, secreción hormonal (melatonina, serotonina y cortisol).

2.3.1 Estado de alerta

Pocos estudios se han dirigido a examinar los mecanismos principales donde la luz que induce el estado de alerta durante el día (Rautkylä et. al., 12). La relación de la melatonina y el estado de alerta se justifica durante la noche, sin embargo, durante el día la luz puede ser utilizada para mejorar el estado de alerta. Existen mecanismos cerebrales implicados en la alerta durante el día inducidos por la luz, explicados a partir de dos vías; el camino del sistema circadiano y el camino del sistema límbico que envía señales a la corteza cerebral por medio de la amígdala “el centro de las emociones” lo que sugiere la participación de ésta en la lucidez mental inducida por la luz, provocando y modulando las emociones que generan respuestas de alerta (Rautkylä et. al., 12).

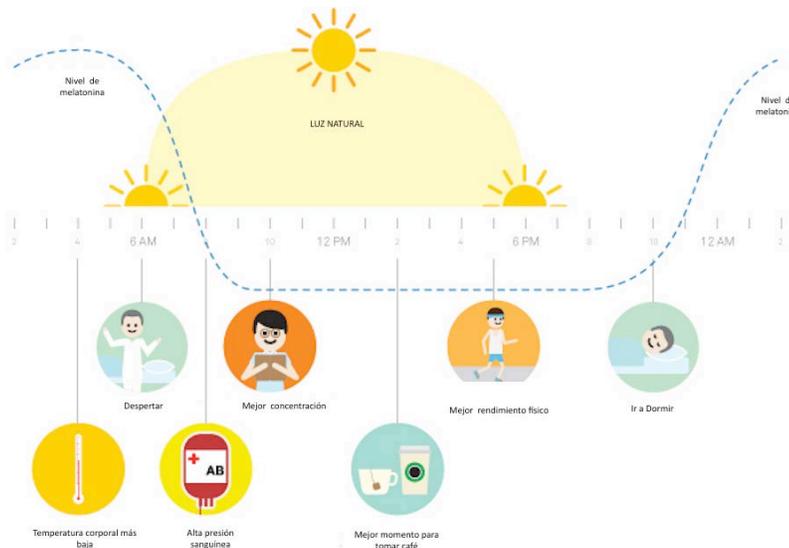


Fig. 6. Horario que promueve el estado de alerta. traducido por el autor.
 Tomado de: https://meccinteriors.files.wordpress.com/2015/03/be-light_4.jpg?w=646
 Fecha de consulta: marzo, 2015.

El estado de alerta se promueve por las conexiones entre regiones del cerebro y la retina. El núcleo supraquiasmático central (suprachiasmatic nucleus- SCN) que se encuentra en el hipotálamo y considerado como el reloj interno del cuerpo, controla la secreción de la melatonina por la noche que es la hormona que regula el ciclo circadiano. El SCN toma la señales luminosas de entrada que recibe de la retina a través del tracto retino hipotalámico (retinohypothalamic tract -RHT) de la melanopsina que contiene células ganglionares de la retina intrínsecamente fotosensibles (ipRGCs) situados en la retina. Investigaciones recientes han demostrado que los conos y bastones clásicos también contribuyen al ciclo circadiano. La orexina es un neuropéptido producido por el hipotálamo de los mamíferos que regula y estabiliza la función del hambre y del sueño, en consecuencia se relaciona con el estado de lucidez (Rautkylä et. al., 12).

Tabla 1. Zonas y neurotransmisores relacionados al estado de alerta. Tomado de: (Rautkylä et. al., 12). Alerting effects of daytime light exposure – a proposed link between light exposure and brain mechanisms. Retomado y adaptado para esta tesis.

Neurotransmisor	Rol en el estado de alerta	Localización
Noradrenalina	Permite que el cuerpo funcione adecuadamente en situaciones de estrés.	Tronco cerebral
Serotonina	Crea un efecto calmante o excitante dependiendo del área del cerebro donde se segregue.	Tronco cerebral
Acetilcolina	Modula la atención sostenida y media las respuestas de alerta.	Tronco cerebral
Dopamina	Aumenta la vigilancia y la secreción de muchas otras hormonas.	Mesencéfalo
Galanin y GABA	Bloquea el sistema de excitación por aferentes que contienen ácido gamma-amino butírico (GABA).	Hipotálamo
Histamina	Neuromodulador de la activación cortical y la vigilia.	Hipotálamo

Significa que el estado de alerta puede ser resultado de un estímulo emocional causado o modulado por la luz. Entonces esto sugiere que existe una relación entre la luz, el estado de alerta y las emociones. Estudios de neuro-imagen señalan que las emociones y la excitación están conectados. Estudios de psicología del color, indican que el color provoca sentimientos positivos o negativos. La composición espectral de la luz también afecta el estado de ánimo y el estado de alerta.

2.3.2 Efectos del trabajo nocturno

El trabajo nocturno en el ser humano implica alteraciones en la vida social y en el organismo los cuales son estudiados por la Cronobiología, que es la ciencia que estudia los ritmos biológicos (determinados y sincronizados por factores del entorno) y los cambios producidos por variables fisiológicas como la vigilia y el sueño detonados por sincronizadores como la luz/oscuridad. En el ciclo sueño/vigilia cuando una persona trabaja de noche se modifica provocando una desincronización interna. El trabajo durante la noche se asocia con irritabilidad y somnolencia durante el día, lo que no ayuda a descansar la *psiquis*, debido a que en el día el cuerpo se prepara para un estado de vigilia ya que encuentra los estímulos en las actividades sociales y horarios comerciales que realiza cotidianamente el hombre (Triguero et. al, 09).

En el largo plazo se asocian problemas con el sistema gastrointestinal y sistema nervioso, provocando efectos negativos en la seguridad del trabajo y calidad de vida de los trabajadores. Se asocian problemas en mujeres en la etapa del embarazo provocados por el trabajo nocturno. En cuanto a personal hospitalario en unidades cerradas (terapia intensiva y sala de cuidados coronarios) se realizó una investigación para evaluar aspectos de su salud posteriores al trabajo nocturno (edad, sexo, manifestaciones psicopáticas, estrés, libido, trastornos del ritmo cardiaco y del sueño) debido a las actividades que desempeñan. Los resultados indicaron que la manifestación psicopática de mayor incidencia fue el estrés (66%), la libido no se modificó en el 85% de los encuestados, la taquicardia representó el porcentaje mayor de los síntomas cardiovasculares (54%) y el índice de somnolencia posterior a la jornada de trabajo fue significativo (89%) (Triguero et. al, 09).



Fig. 7: <http://blogmedicina.com/consejos-trabajadores-turno-de-noche/turnos-noche-jpg/>. Trabajo médico nocturno. Tomado de

2.3.3 Vitamina D y su relación con la Luz Natural

La vitamina D regula la absorción de los nutrientes en el intestino delgado, ayuda a mantener los niveles normales de calcio y fósforo en el organismo. La absorción de estos nutrientes es esencial para el crecimiento y endurecimiento del sistema óseo, su deficiencia puede ocasionar padecimientos como el raquitismo. Recibimos entre el 80%-100% de la vitamina D que

necesitamos a través del proceso de la fotosíntesis que se lleva a cabo en la piel y la luz solar. Por esta razón es llamada la “vitamina del sol”. Esta vitamina también encontrarse en la dieta diaria (carne, huevo, cereales pescado, mantequilla), sin embargo los niveles que se pueden asimilar por esta vía son mínimos. Por esta razón es importante que los espacios interiores también provean niveles suficientes de luz natural que ayude a realizar la fotosíntesis debido a los largos periodos de tiempo que las personas transcurren al interior (*Boubekri, 08*).

Un hecho importante es que en pacientes hospitalizados que tienen restringida su movilidad se le ha detectado hipovitaminosis D, deficiencia de niveles de vitamina D, debido a la baja exposición de luz natural. Esto se ha detectado en lugares como Gran Bretaña debido a las condiciones geográficas, incluso en regiones árabes donde las mujeres utilizan ropa que cubre por completo su cuerpo volviéndose una barrera física contra la absorción de la luz solar. Estas deficiencias se relacionan con fractura de huesos en ciertas épocas del año, donde la luz natural es limitada en aquellas regiones. En nuestro país ubicado en una región intertropical tiene un acceso mas amplio a los periodos de disponibilidad de luz natural. Sin embargo, la problemática que se presenta es distinta, la influencia del contexto urbano-arquitectónico en la ciudad de México puede limitar el acceso a la luz natural (*Boubekri, 08*).

La población mas vulnerable a los efectos del limitado acceso de luz natural son las personas mayores de 65 años debido a que su piel produce cuatro veces menos vitamina D que las personas jóvenes entre 20 y 30 años. También se asocian efectos perjudiciales en el sistema cardiovascular e hipertensión. Esclerosis múltiple es una enfermedad degenerativa como la diabetes tipo 1 y la artritis reumatoide que afecta cerca de 2.5 millones de personas en el mundo principalmente mujeres. Se cree existe una correlación entre esta enfermedad y la exposición a la UV-B, por lo que se presenta más en personas que habitan en latitudes nórdicas y en zonas urbanas (*Boubekri, 08*).

La diabetes, padecimiento crónico de desorden metabólico, caracterizado por la hiperglicemia (altos niveles de azúcar en sangre), se relaciona la secreción de insulina con la luz natural (exposición UV-B). La radiación UV es un factor que produce cáncer de piel, el cual es prevenible si se limita la exposición de luz solar y otros recursos con radiación UV. Este tipo de cáncer esta en aumento y aunque es causado por la radiación UV, investigaciones sugieren que la absorción de vitamina D por la exposición al sol previene otros tipos de cáncer internos.

Por otro lado existe la hipótesis sobre la melatonina y el cáncer, que indica que bajos niveles de melatonina aumenta la incidencia de cáncer en ratas. Partiendo del hecho que la Melatonina es producida en la oscuridad de la noche, cuando ésta es suprimida aumenta la producción de estrógenos en los ovarios que a su vez estimulan la producción de células epiteliales conocidas porque aumentan la probabilidad de cáncer de ceno (*Boubekri, 08*).

- 3.1 LA ILUMINACIÓN PARA LAS NECESIDADES HUMANAS
 - 3.1.1 *Visibilidad*
 - 3.1.2 *Rendimiento visual*
 - 3.1.3 *Confort visual*
 - A) *Actividad visual en el quirófano*
 - b) *Comunicación*
 - c) *Salud y seguridad*
 - d) *Juicio estético*
 - e) *Ambiente y atmósfera*
- 3.2 ARQUITECTURA
- 3.3 ECONOMÍA Y MEDIO AMBIENTE

CAPITULO 3

CONCEPTO DE CALIDAD LUMÍNICA

3.1 LA ILUMINACIÓN PARA LAS NECESIDADES HUMANAS

El propósito de la iluminación es atender las necesidades visuales del ser humano, las cuales son diversas y complejas, incluso dinámicas a lo largo del tiempo. De este hecho se desprende una búsqueda continua por mejorar sus condiciones, hasta atribuirle aspectos que valoran su calidad. En este sentido, la calidad lumínica es un concepto que se ha ido construyendo de acuerdo a la complejidad que representa el propósito de la iluminación. La IESNA dice que el rol del diseñador especialista es combinar y jerarquizar las necesidades de las personas (usuarios del espacio arquitectónico), tomando en consideración el medio ambiente, la economía y los objetivos arquitectónicos particulares. Todo lo anterior traducido en un diseño operable con una instalación funcional, enfocándolo a la iluminación artificial.

Sin embargo, a la fecha no existe una definición precisa sobre la calidad de la iluminación o **calidad lumínica** como se plantea en esta tesis, recapitulando sobre aquello que han concluido algunos investigadores especialistas en iluminación y sobre las características que han definido al concepto a lo largo el tiempo. Éste surgió con el objetivo de aprovechar la energía eléctrica de una manera más económica (ahorro energético) fue entonces que se realizaron mediciones fotométricas en el campo tecnológico a las luminarias y resultó en un aumento continuo de los niveles de iluminación para ciertas actividades, como ejemplo, el requerimiento lumínico para la actividad de la lectura a aumentado de 20 luxes a 750luxes en los últimos 50 años.

Posteriormente se sumó el criterio de la eficiencia energética pero no desde un punto de vista del ahorro energético como elemento rector, sino como obtener una mayor vida útil, mejorar la eficacia luminosa e incrementar el índice del rendimiento del color (IRC), incorporar sistemas de control y sensores que regulen la iluminación natural y artificial (Colombo, 06).

Elisa Colombo, investigadora de ELI (*Efficient Lighting Initiative*- Argentina) menciona que la calidad de la iluminación esta basada en la búsqueda de índices fotométricos simples, calibrados, patrones de luz, condiciones de iluminación con impactos deseables sobre la eficiencia de la actividad a realizar, la salud, el comportamiento y la sistematización de las características de iluminación que aumentan la habilidad de discriminación de los detalles. Incluye a otros autores como R. P. Boyce que la define la calidad de la iluminación de manera mas general, de acuerdo al grado en que la instalación logra los objetivos planteados por el diseñador y las restricciones establecidas por el cliente. Veitch dice que ésta esta determinada por el grado de excelencia alcanzado según al juicio del contexto donde fue desarrollado el proyecto, incluye factores como: el bienestar de la persona, restricciones económicas y arquitectónicas.

Por lo tanto, podemos inferir que el concepto de calidad lumínica se enriquece cada vez más, al comprender un universo más amplio y complejo de variables que afectan la iluminación disponible en el espacio arquitectónico y de considerar la influencia que ejerce sobre factores humanos (acciones, emociones, percepciones, salud). Sin dejar de lado el ahorro, la eficiencia energética, nuevas aportaciones tecnológicas y automatizaciones.

Este capítulo se enfoca en ofrecer una visión global del concepto basado en el diagrama que emplea IESNA en su apartado de "*Quality of the Visual Environment*". El ambiente visual requiere de ciertas condiciones de iluminación que permitan analizar y evaluar a las personas los estímulos visuales contenidos, de ahí su relevancia.

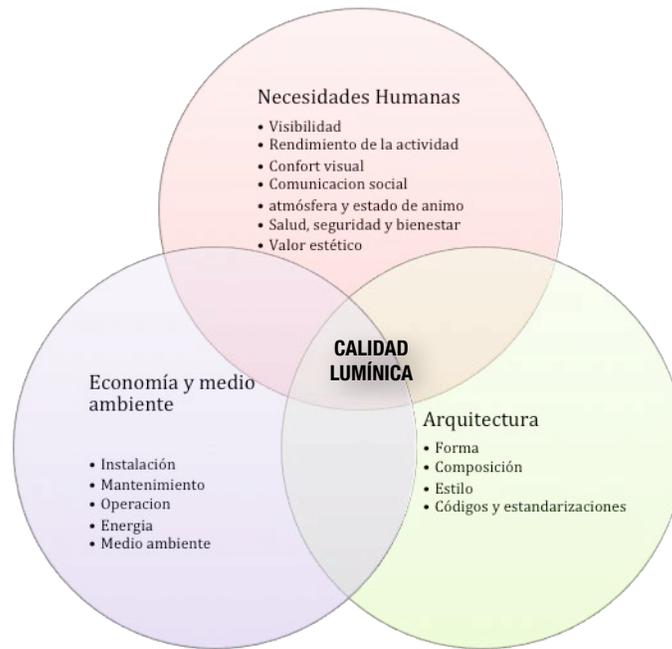


Fig. 1. Diagrama de Calidad en Lumínica. Traducido por la autora. Tomado de IESNA pág. 449

3.1.1 VISIBILIDAD

Es la habilidad de las personas para extraer información sobre el campo visual, una función de la iluminación artificial es favorecer la visibilidad, por ello se requieren buenas condiciones de iluminación. Las investigaciones se han dirigido a conocer cómo funciona y opera la visión. Las variables más importantes en la evaluación de la visión son el contraste, la luminancia, periodo y tamaño del objeto. Incluso se sabe que la edad del usuario condiciona su capacidad de visibilidad, los observadores de mayor edad requieren estímulos visuales de mayor luminancia, tamaño y contraste para compensar la capacidad visual de un observador más joven¹.

3.1.2 RENDIMIENTO VISUAL

El rendimiento visual es un acto continuo presente en las actividades visuales que realizamos y se relaciona con la eficiencia visual en condiciones umbrales y supra umbrales. En el umbral el estímulo visual apenas se puede discriminar y reconocer, es decir que la actividad se encuentra limitada debido a la precisión con que se realiza y el tiempo que toma llevarla a cabo. En condiciones supra umbrales el estímulo visual siempre es visto, sin embargo, la relevancia radica en que tan bien se visualiza el estímulo, influyendo considerablemente la "iluminación retiniana", la cual está determinada por la luminancia del campo visual y en consecuencia por la luminancia de las superficies presentes y las propiedades ópticas de los materiales.

¹Ver el capítulo 2 -"Influencia de la iluminación en el ser humano". En el apartado del Sistema Visual se tratan aspectos como su estructura, el campo visual y fuentes de desenfoco de la imagen retiniana, indispensables en el desarrollo de la visión.

En ocasiones suele confundirse con el rendimiento de la actividad que realiza el usuario en determinado espacio, sin embargo, las condiciones de iluminación disponible son solo un aspecto, influyendo también en el rendimiento humano otros factores humanos como: la capacitación, el ambiente laboral, habilidades motoras, etc. En el caso del rendimiento visual trata de minimizar estos factores humanos, enfocándose únicamente en la evaluación del estímulo visual (componente visual). Según estudios realizados por Weston en 1935 mediante el anillo de Landolt C (utilizado en exámenes de agudeza visual) y estudios posteriores mostraron principios cualitativos sobre el rendimiento visual, uno en particular que resulta aplicable a la sala quirúrgica y al desarrollo de la telemedicina es “incrementar el tamaño y el contraste resulta mas efectivo que aumentar la iluminancia” (Boyce, __). Se realiza mediante el equipamiento de sistemas de cámaras de video.

Modelo del Rendimiento Visual Relativo (RVR)

También se han formulado modelos cuantitativos que ejemplifican la influencia de las condiciones de iluminación y las características de la actividad sobre el rendimiento visual tal es el caso del modelo desarrollado por Mark. Rea en 1986 “Rendimiento Visual Relativo” (RVR) que mide el tiempo de reacción para la detección de diferentes estímulos visuales enfocados en la fovea.

El modelo RVR proporciona un método cuantitativo para predecir los efectos del cambio de tamaño del objetivo, el contraste de luminancia, la luminancia de adaptación sobre el eje (visión axial), el rendimiento visual supra umbral. Es aplicable a luminancias en el rango fotópico, no considera el efecto de la reducción de la calidad de imagen retiniana (nitidez), ni el efecto de las diferencias de color entre el blanco y el fondo. El modelo ha sido validado en tres experimentos independientes con diferentes actividades visuales.

Sintetizando, lo que este modelo nos aporta es que el sistema visual posee un amplio rango de compensación entre los tamaños visuales, contrastes, luminancias e iluminancias retínicas (zona de meseta en gráficas), sin embargo, bajo ciertas condiciones de relación no lineales entre los elementos antes mencionados, el rendimiento visual colapsa repentinamente hacia el umbral (zona de pendiente en las gráficas) (Colombo, et. al. 06).

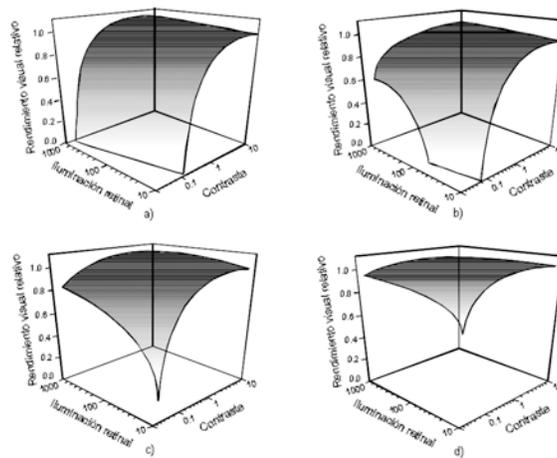


Fig. 2. Gráficas que ejemplifican el Modelo del Rendimiento Visual Relativo (RVR), donde se relacionan contraste y luminancia retinal para distintos tamaños de estímulo. Fuente : Colombo

Cabe mencionar que el modelo antes descrito es para actividades visuales directas es decir que no requieren de una búsqueda visual y aparecen directamente en la fovea. Sin embargo, para actividades que requieren de una búsqueda visual, el ojo requiere realizar una serie de movimientos y fijaciones, que son patrones basados en la expectativa donde se cree puede aparecer el estímulo visual buscado. Primero el objetivo es detectado en la periferia de la retina y posteriormente identificado por la fovea, esta situación se puede suceder en dos escenarios, en un campo visual vacío donde es rápidamente identificable, porque es diferente a todo lo demás y en un campo visual desordenado o saturado donde el objetivo buscado es muy similar a su entorno y se mimetiza. La velocidad con que sucede la búsqueda visual esta determinada por las características de precisión de la actividad y de las condiciones de iluminación (*Colombo, et. al. 06*).

El estudio de los efectos de las condiciones de iluminación sobre el rendimiento visual ha permitido conocer la relaciones que se establecen entre el estímulo visual, el rendimiento visual, el rendimiento de la actividad y la productividad. El estímulo visual esta determinado por las características de la actividad y en la manera en que ésta es iluminada, dicho estímulo y el estado en que opera el sistema visual determina a su vez el rendimiento visual. Las actividades visuales se conforman de tres componentes: visual, cognitiva y motora y de acuerdo al balance que exista entre cada una de ellas (*IESNA,00*).

Componente visual. Se refiere al proceso de extraer información relevante para el rendimiento de la tarea por medio de la vista.

Componente cognitiva. Se refiere al proceso por el cual el estímulo sensorial es interpretado y le precede una acción determinada.

Componente motora. Se refiere al proceso por el cual el estímulo es manipulado para extraer información y llevar a cabo las acciones decididas.

3.1.3 CONFORT VISUAL

El confort visual se relaciona con todo el ambiente visual iluminado y se trata de una consideración, en términos de preferencias y percepciones. Existen aspectos de la luz que causan situaciones de disconfort visual que impactan en el rendimiento visual, disminuyéndolo y generando en el usuario una serie de síntomas como: enrojecimiento, inflamación, picazón, hormigueo y lagrimeo de los ojos, dolor de cabeza y migraña. Sin embargo, es necesario corroborar que otras posibles causas estén motivando dicha situación antes de atribuirlo a las condiciones de iluminación del espacio arquitectónico.

La falta de confort visual se considera una señal de ruido para el sistema visual que esta diseñado para extraer información del ambiente visual. Se procede a destacar situaciones que generan disminución del confort visual (*Colombo, et. al, 06*).

- Actividades con alta exigencia visual pueden requerir acercar los ojos al estímulo visual (objetivo), lo que implica un ajuste en los mecanismos de acomodación del ojo para mantener definida la imagen sobre la retina, generando fatiga muscular.
- Situaciones cuando el observador no encuentra el estímulo visual deseado en el campo visual ya sea por una sub estimulación, o bien cuando existe una sobre estimulación y en cualquier caso genera estrés.

- Estímulos visuales atractivos (altos valores de luminancia, en movimiento o parpadeos) dentro del campo periférico que detecta el sistema visual por medio de la fovea y que resultan irrelevantes para el observador, pero que al encontrarse dentro de la escena visual se vuelven un distractor de la atención generando esfuerzo en tratar de ignorarlo, motivando la aparición de estrés.
- Altas reflectancias sobre superficies presentes en el ambiente visual pueden generar confusión perceptual al generar reflejos en la escena visual.

Condiciones de Iluminación que disminuyen el Confort Visual

Al proveer de iluminación a un espacio arquitectónico se deben evitar propiciar fenómenos relacionados con la luz (exceso o insuficiencia) como: variaciones, parpadeos, deslumbramiento, sombras, reflexiones de velo. No se deben considerar como fenómenos negativos ya que dependiendo del contexto tendrán aplicaciones positivas. Sin embargo, si no se tiene conciencia de su existencia, no se podrán considerar en el diseño de la iluminación del espacio.

Parpadeo (flicker). Es una condición nociva y desagradable de la luz con apariencia de destellos intermitentes para el ser humano y solo en condiciones de entretenimiento suele ser visto como atractivo o útil en casos de emergencia. En ocasiones su percepción no es visible a simple vista por el usuario pero si es captada por la retina, esto sucede con frecuencias bajas a la cual oscila la luz (60-80 Hz.) (Colombo, et. al, 06). Una alternativa para reducir su percepción es conectar las lámparas a fases diferentes de modo que se produzca un desfase en la emisión de luz de la instalación. O utilizar balastos electrónicos que eleven la frecuencia de modulación. Su eliminación esta ligada al desarrollo tecnológico de nuevas luminarias y su disponibilidad en el mercado.

Deslumbramiento (glare). Es una condición que impide momentáneamente que alguien vea adecuadamente, esto ocurre en dos formas. Primero por un exceso de luz que produce fotofobia en el observador provocando que parpadee rápidamente para poder ver claramente, un ejemplo de ello es el efecto que causa ver la luz solar directa, es necesario reducir la luminancia retinal oscureciendo la parte brillante del ambiente visual. En segundo lugar ocurre cuando el rango de luminancia es muy alto provocando dos efectos: reduce el rendimiento visual llevándolo a colapsar rápidamente a la zona de la pendiente (Ver modelo RVR) y provocar des confort visual. Es conocido como deslumbramiento fisiológico debido al enmascaramiento de la visión debido a la dispersión de la luz, reduciendo el contraste de la luminancia de la imagen retiniana. Existen modelos de predicción de deslumbramiento como: Probabilidad de Confort Visual (VCP), utilizado por la IESNA el cual evalúa los sistemas de iluminación en términos de porcentaje de aceptación del sistema en la población-observador mediante la percepción de deslumbramiento de luz directa de las luminarias, otro criterio es el unificado por la CIE llamado Sistema de Índice de deslumbramiento unificado (UGR) (IESNA, 00).

Sombras (shadows). Es una imagen oscura que proyecta un cuerpo opaco sobre una superficie al interceptar los rayos de luz, su magnitud depende del tamaño del objeto y de la fuente de luz, así como de la distancia entre la fuente de luz y el objeto. Entre mayor sea el objeto y la fuente sea más puntual y próxima al objeto, la sombra será mayor. Son un elemento esencial que ayuda a percibir y revelar la tridimensionalidad de la forma de los objetos. Sin embargo, pueden constituir un problema al provocar zonas de oscuridad dentro de la escena visual importantes para el observador. Su efecto puede minimizarse al utilizar iluminación localizada.

Reflexiones de velo (veiling reflections). Son reflexiones luminosas de superficies semi mate o especulares que cambian físicamente el contraste de la actividad visual, es muy similar al deslumbramiento fisiológico el cual cambia el contraste de luminancia de la imagen retiniana y solo que en el caso de las reflexiones de velo cambia el contraste de luminancia de la actividad visual. Los dos factores que determinan la naturaleza de la magnitud de las reflexiones de velo son la especularidad del material y la geometría entre el observador, el objetivo visual y algún recurso lumínico con un valor de luminancia alta. Con materiales difusores perfectos no ocurren reflexiones de velo (IESNA, 00).



Fig. 3. Sala de quirófano No. 3 del Centro Médico Nacional IMSS. Fotografía tomada por R. Ochandarena.

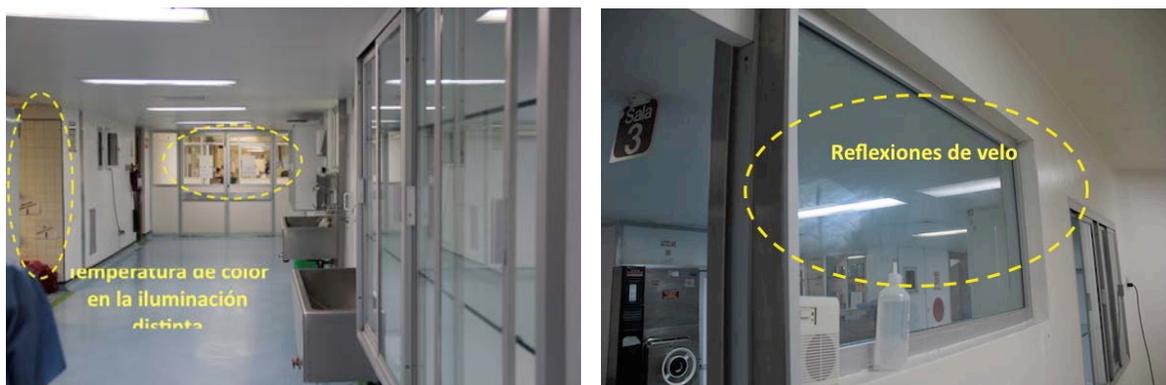


Fig. 4. Reflexiones de velo y no hay correlación en la temperatura de color de la iluminación artificial. Unidad quirúrgica, Centro Médico Nacional IMSS. Fotografía tomada por R. Ochandarena.

A) ACTIVIDAD VISUAL EN EL QUIRÓFANO

El médico cirujano basa en gran parte su actividad en lo que percibe por medio de sus ojos, en consecuencia el ambiente visual dentro del quirófano y sus zonas contiguas son de vital importancia para mantener la salud visual del personal que ahí se desempeña. Por lo tanto esta actividad es de alta exigencia visual debido a que requiere de una iluminación especial (ver capítulo 1) que permita realizar con certeza y seguridad los procedimientos quirúrgicos, además de seguir una serie de normativas enfocadas a la bioseguridad, dimensiones, tipo de acabados, niveles de iluminación, calidad del aire, sistemas de filtrado, sistemas de emergencia, entre otras mas, las cuales deben cumplir a cabalidad, con un rigor y periodicidad establecidas.

La relación entre la iluminación disponible en un espacio arquitectónico y el efecto que surte sobre la productividad es aun ambiguo, debido a que existen otros factores que simultáneamente afectan el rendimiento humano como: la motivación, relaciones laborales, condiciones de trabajo, etc. La certeza que se puede tener es que con una iluminación apropiada el rendimiento visual de la actividad resulta favorecida y se evita la disminución del confort (Colombo, *et. al*, 06). Sin embargo, existen aspectos considerables en función de mejorar el ambiente visual donde se lleva a cabo una cirugía. De acuerdo con el siguiente principio que menciona de *Lighting Quality*.; “la Iluminación que se provee debe estar diseñada para brindar a los usuarios una buena condición visual que les permita desempeñar la actividad visual de una manera eficiente, segura y confortable”. Debido a que la iluminación del ambiente visual actúa como una pieza que integra un mecanismo de factores humanos, fisiológicos y psicológicos que influyen en el rendimiento y la productividad del ser humano.

La figura 5, ejemplifica las consideraciones sobre el diseño de la iluminación del quirófano para favorecer la actividad visual. Que surgen del análisis de la actividad y el espacio. En principio el espacio esta clasificado de acuerdo al tipo de cirugías que se realizan, de ahí que la iluminación debe brindar: seguridad, mejorar el rendimiento visual y el confort de quien lleva a cabo la actividad (cirujanos, enfermeras, anesthesiólogo, ayudante) donde también influyen las necesidades y preferencias de los usuarios. La iluminación artificial generada impacta en el funcionamiento del equipamiento médico, porque producen efectos como el brillo, sombras, reflexiones y deslumbramiento sobre las superficies que se acentúan cuando su terminado no es mate, también sobre las pantallas de monitoreo y visualización digital. Por otro lado, la iluminación de un quirófano es provista en dos vertientes: Iluminación general del espacio (unidad quirúrgica) y la iluminación directa (lámpara quirúrgica y equipamiento médico). De ahí se desprenden ciertas consideraciones para poder generar un ambiente visual que disminuya la fatiga visual y la exposición a la radiación óptica dañina del usuario contemplando zonas de adaptación y transición visual por medio de luz natural. Así como la correspondencia de la temperatura de color de los diversos recursos luminosos (iluminación general e iluminación directa) del quirófano y zonas contiguas (unidad quirúrgica).

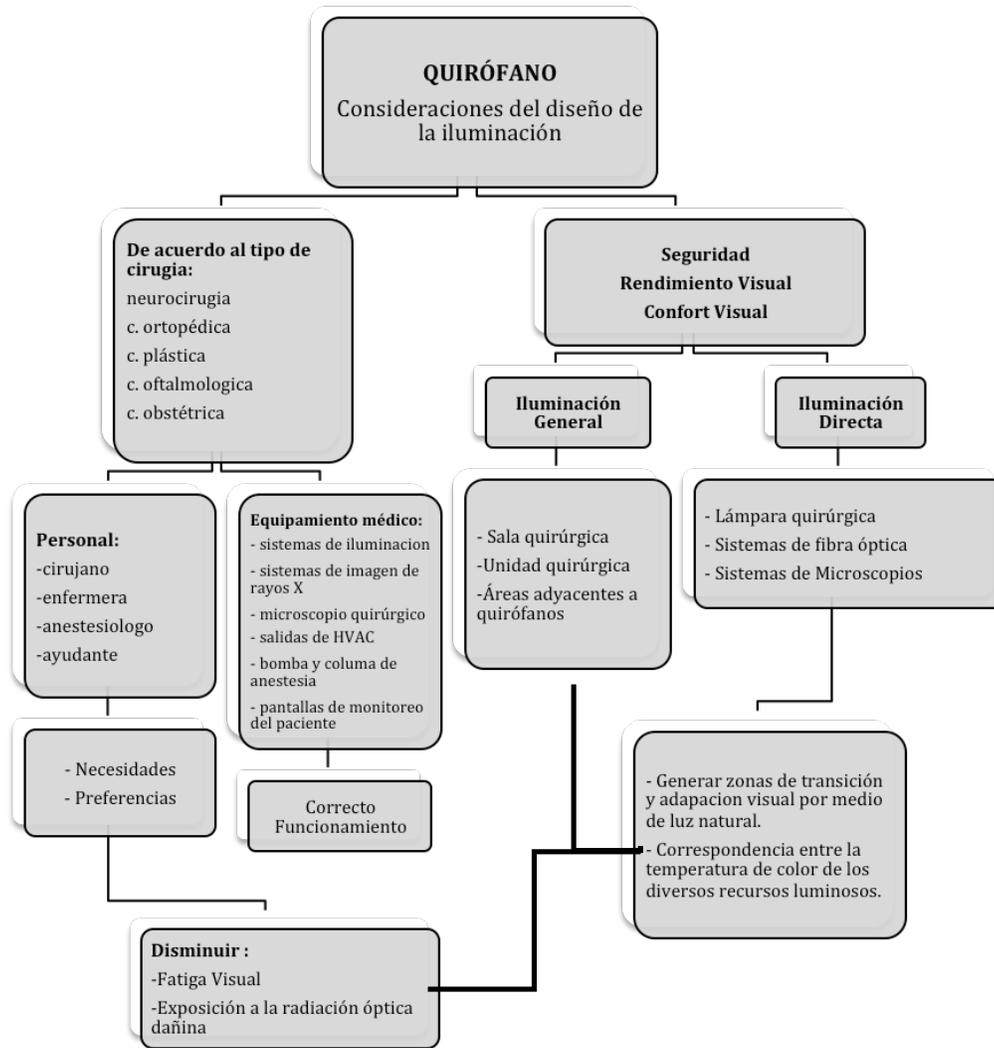


Fig. 5. Consideraciones sobre el diseño de la iluminación de una sala quirúrgica, para mejorar el ambiente visual.

B) COMUNICACIÓN

Se refieren a que las necesidades de comunicación social requieren de condiciones luminosas que conduzcan el mensaje adecuado, ya que gran parte de la comunicación se produce por medios no verbales. El reconocimiento facial es un ejemplo de ello, ya que esta influenciada por la cantidad de luz necesaria para detectar un rostro para modelar los rasgos faciales, creados por los patrones de luz y sombra (IESNA, 00).

C) SALUD Y SEGURIDAD

La salud y la seguridad son elementos dentro de las necesidades humanas primordiales para el diseño de la iluminación de un espacio, aunque en la mayoría de las ocasiones se desconocen los efectos de ésta sobre la salud (ver capítulo 2) y la normatividad aplicable se basa en regular parámetros lumínicos, solo de la iluminación artificial y la seguridad de dichas instalaciones, dejando de lado los efectos sobre la salud del ser humano. Principalmente se ha demostrado que la luz natural tiene un impacto directo en los ciclos de vigilia-sueño, el sistema circadiano de los seres humanos, al regular la supresión de la melatonina en el cerebro.

D) JUICIO ESTÉTICO

Las necesidades de juicio estético (manera en que distinguimos circunstancias y se forman opiniones) difieren de las respuestas emocionales. El hombre le da sentido a lo que ve de manera implícita, la iluminación participa en la jerarquía, dándole una importancia social dentro del campo visual, por otro lado también puede afectar la comprensión del mensaje si se introducen patrones que entren en conflicto. Mediante cuatro dimensiones de evaluación (coherencia, legibilidad, misterio y complejidad) se cuantifican los juicios estéticos.

E) AMBIENTE Y ATMOSFERA

El conjunto de condiciones, características y factores de diversa índole (sociales, culturales, económicos) que determinan un ambiente y atmosfera que envuelven un lugar que provocan sensaciones, esta relacionado con la iluminacion disponible que impacta en la imagen que se forma y percibe el usuario, evocando emociones y comportamientos. En cierta parte las emociones secundan esos procesos de decisiones y actitudes para predisponer o rechazar algo.

3.2 ARQUITECTURA

La iluminación ocurre en un contexto arquitectónico, esto quiere decir que la iluminación debe considerar las características del espacio arquitectónico, estilo y composición para que logre una integración que le de significado y contribuya al entendimiento del observador. Las necesidades que se llevan a cabo en el espacio determinan el nivel de iluminación que se requiere, IESNA tiene clasificado de acuerdo al género de edilicio los niveles de iluminación recomendados (oficinas, educación, hospedaje, residencial, comercial, espacios para la salud, exteriores, deporte, Industrial, transporte, etc.).

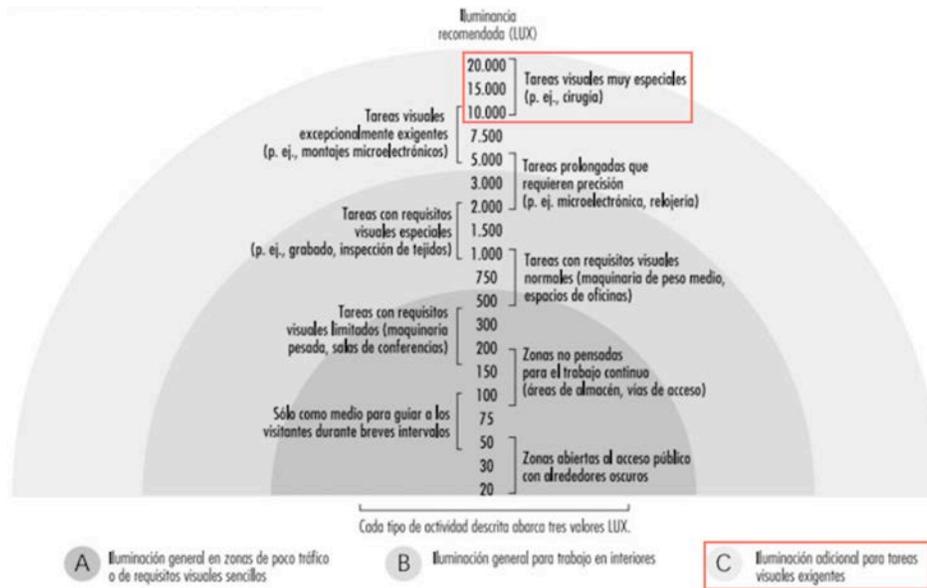


Fig. 6 Diagrama de relación entre las distintas actividades y niveles de iluminación adecuados.
 Tomado de : http://images.slideplayer.es/3/1102974/slides/slide_5.jpg

3.3 ECONOMÍA Y MEDIO AMBIENTE

El parámetro económico frecuentemente determina las opciones de los sistemas de iluminación. Quienes se encargan de las compras generalmente son muy sensibles con los costos iniciales, sin embargo para determinar sobre un sistema de iluminación a utilizar deben considerarse también la instalación, operación mantenimiento y ponderar el análisis del costo económico de manera global. Incluso el ahorro energético no debe ser implementado solo por parámetros normativos deben considerar el impacto que la iluminación ejerce en la salud.

- 4.1 EVIDENCE-BASED DESIGN (EBD - DISEÑO BASADO EN EVIDENCIA CIENTÍFICA)
 - 4.1.1 Reporte de últimos hallazgos
- 4.2 BIOPHILIA
 - 4.2.1 Biophilic Design (Diseño Biofílico)
- 4.3 CERTIFICACIÓN LEED®
- 4.4 TRANSICIÓN DE LOS SERVICIOS E INFRAESTRUCTURA PARA LA SALUD EN MEXICO
 - 4.4.1 Especialidades Médicas de mayor demanda
 - a) Oftalmología
 - 4.4.2 Espacios para la salud – “El quirófano”
 - a) Cirugía Ambulatoria
 - b) Cirugía con alta tecnología

CAPITULO 4

MODELOS DIRIGIDOS A MEJORAR LA CALIDAD EN LOS ESPACIOS PARA LA SALUD

La visión tradicional del diseño de los espacios para la salud se ha enfatizado en la parte eficiente y funcional enfocada al costo económico para proveer tratamientos y tecnología, una consecuencia de esta perspectiva es que las necesidades psicológicas y sociales de los usuarios no han sido consideradas en el diseño de la unidad médica, marginando pacientes y personal, generando mayor estrés y aumentando la experiencia traumática del hospital y la enfermedad. Lo anterior ha fomentado crear entornos que propicien la tranquilidad de los pacientes y que se beneficien aun más durante el proceso de la recuperación de la salud (Ulrich et. al, 07).

Existe una perspectiva internacional en crecimiento en el ámbito de la arquitectura para la salud entre los administradores, profesionales de la salud y arquitectos especialistas para crear espacios y ambientes que propicien y ayuden al paciente con el manejo del estrés y la enfermedad. Diversos estudios han demostrado que ambientes bien diseñados pueden reducir la ansiedad, la presión arterial y disminuir el dolor (Ulrich, 84; Ulrich, et al. 04; Ulrich, et. al. 07). Por el contrario las investigaciones también han ligado un diseño del espacio indiferente a las necesidades de los usuarios, con efectos negativos como: mayores episodios de delirio, elevar la presión arterial, aumento de dolor, mayor medicación y una mayor estancia hospitalaria (McCuskey, 12).

Estas nuevas corrientes que se interesan por mejorar la calidad ya sea el espacio donde se presta el servicio (hospitales, clínicas, centro médicos, etc.), o bien del servicio de atención a la salud para hacerlo más eficiente, surgieron de cuestionarse sobre cuales eran las bases científicas mediante las cuales se toman las decisiones de diseño de los espacios para la salud y su modelo de atención (EDAC, 08).

Roger S. Ulrich, profesor de arquitectura en la Universidad Texas A&M, miembro del Centro de diseño para la salud (The Center of Healthcare Design- CHD) inició con una serie de estudios en 1984 sobre los efectos de las ventanas y las vistas en las habitaciones de los hospitales durante la recuperación de cirugía del colon. Basándose en pacientes que podían ver arboles en lugar de paredes en su cuarto de hospitalización. Desde entonces el conocimiento sobre (Evidence-Based Design – EBD) ha ido creciendo. Según definiciones de autores como Stichler y Kirk Hamilton el termino EBD envuelve otras disciplinas que han usado el modelo *Evidence-Based* para la toma de decisiones y la practica en sus campos respectivos.

4.1 EVIDENCE-BASED DESIGN (EBD- DISEÑO BASADO EN EVIDENCIA CIENTÍFICA)

La evidencia basada en el diseño se desprende de numerosos estudios en psicología ambiental desde los años 60's expuestos en publicaciones como *Environment and Behavior*, *Journal of Architectural and Planning Research*. Científicos de estas áreas han indagado sobre ciertos temas relacionados a la experiencia del usuario y la señalización en el hospital. Arquitectos investigadores también han explorado las evaluaciones post-ocupacionales que informan sobre el comportamiento del usuario respecto al diseño del espacio (EDAC, 08).

Roger Ulrich fue pionero en la publicación de investigaciones sobre los efectos de contar con una vista hacia la naturaleza y el exterior en 1984. Se construyó el Hospital *Planetree*, desde entonces diversas disciplinas han convergido hasta formar lo que hoy se denomina EBD.

EBD es un proceso definido por el CHD (The center for Health Design) mediante el cual se toman decisiones acerca del entorno construido con base en investigaciones fundamentadas en obtener los mejores resultados posibles. Por otro lado el CHD se ha dedicado a explorar y disseminar dicho conocimiento enfocado a los espacios para la salud construidos reflejado en

mejores resultados para el paciente y el personal. Con la misión de transformar los espacios para la salud.

La guía EDAC (Evidence-Based Design Accreditation and Certification) es un procedimiento para acreditar a profesionales de la salud en el proceso EBD, que contiene todo el cuerpo de conocimiento de EDB formado hasta el momento, que se renueva y adapta de acuerdo a las necesidades. La guía EDAC indica siete tendencias y retos por alcanzar en el futuro:

- 1.- Atención pública enfocada a la calidad y seguridad
- 2.- Retos en reembolsos
- 3.- Población de adultos mayores en aumento y escasos de personal para su cuidado
- 4.- Información de la salud por medios tecnológicos
- 5.- Genoma y tecnología
- 6.- Saturación en los cuartos de urgencias y preparación para épocas de desastres
- 7.- Atención a la salud sustentable

4.1.1 REPORTE DE ÚLTIMOS HALLAZGOS

En la revisión del reporte elaborado por el (CHD) sobre diversas investigaciones que abordan la teoría de “Diseño de espacios para la salud basado en la evidencia científica” (Evidence-Based Healthcare Design), se extraen los hallazgos relacionados con el impacto de la iluminación disponible en el espacio arquitectónico en la salud del ser humano, con la finalidad de retomar dichos aspectos como una base teórica para ésta investigación. Los cuales se presentan agrupados en las siguientes temáticas (*Ulrich, et. al, 08*).

Errores médicos. Existen diversos estudios que relacionan ciertos factores ambientales como: el ruido, la iluminación, entre otros que propician errores médicos que afectan la seguridad del paciente. De acuerdo al tratamiento que se le da a factores como la agudeza visual y auditiva en las habitaciones individuales de hospitalización se pueden reducir los errores. Específicamente lo que se ha estudiado respecto a la iluminación son los niveles insuficientes que afectan el desempeño laboral. Un estudio evaluó en un hospital la zona de farmacia y la actividad del suministro de medicamentos a diferentes niveles de iluminación (450 lux, 1100lux, 1500lux) y la diferencia de porcentaje para cometer errores al surtir medicamentos fue de 2.6% para 1500 lux y de 3.8% para 450lux (*McCuskey, 12*).

Reducción del dolor. Diversos estudios han demostrado que exponer a los pacientes a la naturaleza produce alivio del dolor. Limitadas investigaciones sugieren que la experiencia del paciente para reducir el dolor está relacionada con la exposición a niveles altos de luz natural en sus habitaciones. Debido a que los mecanismos de cómo actúa la luz natural y el entorno de la naturaleza son diferentes. La componente directa (sunlight) de la luz natural incrementa los niveles de serotonina en los neurotransmisores que conocen el camino para inhibir el dolor. Walch condujo un estudio prospectivo sobre los efectos de la luz natural en pacientes con cirugía espinal en habitaciones soleadas y sombreadas. Pacientes con una habitación soleada fueron expuestos a 46% más de luz natural que los pacientes en la habitación sombreada. Los resultados mostraron que los pacientes de las habitaciones soleadas necesitaron 22% menos medicamento analgésico, impactando en 21% de reducción en costos de medicación. Menciona también que las habitaciones sombreadas se asocian a experimentar mayor dolor y que se debe de considerar el hecho de cuando se construye un nuevo edificio contiguo que limita la entrada de luz natural (*Ulrich, et. al, 08*).

Contaminación lumínica. Se realizó un estudio sobre el impacto de la iluminación artificial (con temperatura de color de la luz de día) en la fachada norte de cuartos de hospitalización con acceso limitado de luz natural, con una lámpara cerca de la cama que se encendía a las 10:00am y se apagaba a las 5:00pm. Los resultados sugieren que pacientes adultos mayores experimentaban un sueño más profundo en la noche cuando eran expuestos a mayores niveles de luz artificial (con temperatura de color de la luz de día) comparado con condiciones de iluminación de mayor oscuridad. Se requieren de mayores investigaciones para entender lo que sucede durante las horas de día y de noche para mejorar y optimizar la horas de sueño de los pacientes (Ulrich, et. al, 08).

Efectos de la iluminación en la depresión. Los mecanismos sobre los cuales actúa la iluminación como tratamiento para aliviar la depresión aun no se encuentran bien definidos. Sin embargo, se trata de un serio problema en pacientes con enfermedades mentales y de otras categorías como: cáncer y enfermedades cardiovasculares. Estudios han encontrado que la luz natural incidente en una habitación de hospitalización reduce la duración de la estancia del paciente y presentan índices menores de mortalidad que las habitaciones en sombra. Debido a que la luz incide sobre la retina influenciando la glándula pineal y mediante este camino retrasa o suprime la secreción de la melatonina, como resultado reduce la depresión, incrementando el estado de alerta y mejorando la calidad del sueño (Ulrich, et. al, 08).

De acuerdo con Golden, la luz representa mayores ventajas de actuación en la depresión estacional que los tratamientos antidepresivos farmacológicos, el reporte menciona que diversos estudios coinciden en un tiempo de dos semanas para que el tratamiento con luz actúe, mientras que un tratamiento antidepresivo conlleva de 4 a 6 semanas para obtener resultados visibles. Según Lewy la exposición a la luz por la mañana resulta más efectiva que por la tarde y medio día. Sin embargo, Martiny menciona que incluso tener exposición por la tarde a la luz reduce la depresión (Ulrich, et. al, 08).

Comunicación. Se han realizado estudios relacionados al grado de interacción y de comunicación entre el personal de enfermería y de los familiares de los pacientes. Uno de los estudios examinó el efecto de la iluminación controlable como un incentivo de la comunicación realizado por Miwa y Hanyu en el año 2006. Consistió en comparar cuatro tipos de cuartos con diferente ambiente interior (decoración e iluminación) con 80 estudiantes, los investigadores encontraron que los participantes con condiciones de iluminación controlable hablaban más de sí mismos, lo que reflejaba una mayor apertura, relajación e impresiones más favorables. Como conclusión el estudio sugirió que el control sobre las condiciones de iluminación favorece la comunicación entre las personas.

Efectividad del personal. Mrockzek, Mikitarian, Vieira y Rotrius en el año 2005 realizaron una encuesta al personal que trabajaba en la nueva unidad médica que había sido construida y encontraron que la luz natural dentro de la nueva unidad tenía el mayor impacto positivo en el entorno laboral, seguido de la música en el área del vestíbulo. Sin embargo, otros estudios que comparan unidades de atención para enfermedades mentales nuevas con unidades antiguas han concluido que las unidades nuevas no mejoran la satisfacción laboral, atribuyéndole el resultado a que no han sido diseñadas cuidadosamente provocando asoleamiento excesivo en la estación de enfermeras y una separación excesiva con respecto a los cuartos de hospitalización.

Tabla 1. Resumen de las relaciones entre estrategias de diseño de la iluminación y el impacto en la salud. Adaptada y traducida de “Summary of the relationships between design factors and healthcare outcomes”. Pag. 54.

Tabla resumen. Relaciones entre elementos de diseño y el impacto en la salud.			
Impacto en la Salud	Estrategias de Diseño		
	<i>Acceso a luz natural</i>	<i>Iluminación apropiada</i>	<i>Vistas hacia la naturaleza</i>
Reduce errores médicos		*	
Reduce caídas de pacientes		*	
Reduce el dolor	*	*	**
Mejora el sueño de los pacientes	*	*	
Reduce el estrés en pacientes	*	*	**
Reduce la depresión	**	**	*
Reduce la estancia hospitalaria	*	*	*
Incrementa la satisfacción del paciente	*	*	*
Reduce el estrés del personal	*	*	*
Incrementa la efectividad del personal		*	
Incrementa la satisfacción del personal	*	*	*

* Indica una relación directa o indirectamente entre la estrategia de diseño y el impacto en la salud por medio de estudios empíricos contenidos en el reporte de CHD.

** Indica que existe evidencia consolidada entre diversos estudios que indican que la estrategia de diseño mejora el impacto positivo en la salud.

4.2 BIOPHILIA

El concepto de *Biophilia* fue establecido por el ecologista americano Edward O. Wilson, quien publicó en 1984 el libro “The Biophilia hypothesis”, basado en la idea de que la percepción humana (pensamientos y comportamientos) hacia la naturaleza, su relación con otras especies y la manera en que se le atribuye cierto valor. Son guiados en diversos casos por mecanismos psicológicos irracionales, en el pasado de manera adaptativa y a la fecha influenciados por el curso de la evolución (KrČmárová, 09).

Wilson llama Biofilia a: “*innate tendency to focus on life and lifelike processes*” - tendencia innata hacia lo que tiene vida o lo parece (sistemas y procesos). El surgimiento de este concepto refleja los intereses ecologistas de la segunda parte del siglo 20, rechazando las soluciones tecnocráticas a las crisis ecológicas y de consumismo. Es un ejemplo de “*greening of science*” (KrČmárová, 09).

4.2.1 BIOPHILIC DESIGN (DISEÑO BIOFÍLICO)

El diseño biofilico a cualquier escala tiene como punto de partida un cuestionamiento simple: Como afecta el entorno construido el ambiente natural y como afecta la naturaleza la experiencia y aspiración humana? (Kellert, 08).

El diseño biofilico es una manera de traducir el entendimiento de la afinidad humana inherente hacia los sistemas y procesos naturales conocido como *Biophilia* en el entorno construido. Conocer sus limitaciones ayuda a tener aproximaciones más acertadas en el diseño del entorno construido (Kellert, 08).

- Entendimiento de la biología humana con un valor agregado hacia la naturaleza.
- Habilidad por transferir ese entendimiento en aproximaciones específicas en el diseño del entorno construido.

Se encuentra en un constante crecimiento el cuerpo de conocimiento que respalda el rol del contacto con la naturaleza hacia la salud humana y la productividad. Sus principales representantes son: Roger S. Ulrich, Harting, Frumkin entre otros y algunos de sus hallazgos más importantes son:

- El contacto con la naturaleza se ha encontrado que mejora la salud y la recuperación de la enfermedad y en procedimientos quirúrgicos, de una manera directa (por medio de luz y ventilación natural, vegetación) y de una manera representativa o simbólica (por medio de pinturas, fotografías e imágenes).
- Personas que viven próximas a espacios abiertos reportaron menores problemas relacionados a la salud y sociales, identificados de manera independiente en el ambiente rural y urbano. Se correlaciona la presencia de vegetación como pasto y arboles con un comportamiento adaptativo mas favorable.
- Los espacios dedicados a oficinas con luz natural, ventilación natural, mejoran el rendimiento del trabajador, presentan menores índices de estrés y una mejor motivación laboral.
- El contacto con la naturaleza se ha relacionado al funcionamiento cognitivo en actividades que requieren de concentración y memoria.

Dimensiones básicas (2)

1. Dimensión orgánica o naturalistica, la cual se define como las formas en el entorno construido de manera directa, indirecta o simbólica. Directa: contacto con el entorno autosustentable como: luz natural, plantas, animales, hábitat natural, ecosistemas.

Indirecta: macetas con plantas, fuentes de agua, acuarios. Simbólica: imagen, video, metáfora.

2. Dimensión vernácula o basada en el entorno, definida como entornos construidos que se conectan con la cultura y la ecología de una localidad geográfica, llamado “el espíritu del lugar”, es la manera en como las construcciones y los paisajes se convierten en una parte integral de la individualidad y la identidad de la colectividad. Trasformar metafóricamente materia inanimada en algo con vida. Esta dimensión le da un valor extra al territorio o lugar y se vuelve la razón principal del porque las personas asumen la responsabilidad de su cuidado por un largo tiempo.

Elementos de diseño biofilico (6)

Derivado de las dimensiones anteriores, surgen los 6 elementos de diseño biofilico.

1. Características ambientales
2. Formas naturales y formas
3. Patrones y procesos naturales
4. Luz y espacio
5. Relación con el entorno
6. Relaciones en la naturaleza humana desarrolladas

Atributos de diseño biofilico (70)

De acuerdo a los elementos de diseño biofilico precedentes se organizan en 70 atributos para su conocimiento y aplicación. En la siguiente tabla se muestran los atributos de acuerdo al elemento que corresponde.

Tabla 2. Atributos del Diseño Biofilico. (Kellert, 08)

1. Características ambientales	2. Formas naturales y formas
1. Color 2. Agua 3. Aire 4. Luz natural directa 5. Plantas 6. Animales 7. Materiales naturales 8. Vistas 9. Fachadas verdes 10. Paisaje y geología 11. Ecosistemas y hábitats 12. Fuego	13. Motivos botánicos 14. Árboles y columnas soporte 15. Motivos animales (vertebrados) 16. Conchas y espirales 17. Formas ovals en tubulares 18. Arcos, bóvedas y domos 19. Formas que se resisten a las líneas y ángulos rectos. 20. Simulación de características naturales 21. Biomorfismo 22. Geomorfología 23. Boimimetismo

3. Patrones y procesos naturales	4. Luz y espacio
<ul style="list-style-type: none"> 24. Variabilidad sensorial 25. Riqueza de la información 26. La Edad, el cambio y el valor del tiempo 27. Crecimiento y eflorescencia 28. Punto focal central 29. Patrones enteros 30. Espacios acotados 31. Espacios de transición 32. Series enlazadas y cadenas 33. Integración de las partes y el todo 34. Contrastes complementarios 35. Tensión y balance dinámico 36. Fractales 37. Escalas y radios jerárquicos organizados 	<ul style="list-style-type: none"> 38. Luz natural 39. Luz difusa y filtrada 40. Luces y sombras 41. Luz reflejada 42. Piscinas de luz 43. Luz cálida 44. Luz como forma 45. Amplitud 46. Variabilidad espacial 47. Espacio como forma 48. Armonía espacial 49. Espacios interiores-exteriores
5. Relación con el entorno	6. Relaciones en la naturaleza humana desarrolladas
<ul style="list-style-type: none"> 50. Conexión geográfica con el lugar 51. Conexión histórica con el lugar 52. Conexión ecológica con el lugar 53. Conexión cultural con el lugar 54. Materiales autóctonos 55. Orientación de paisaje 56. Características del paisaje que definen la forma 57. Ecología del paisaje 58. Integración de la cultura y la ecología 59. Espíritu del lugar 60. Evitar el efecto del no lugar o globalización 	<ul style="list-style-type: none"> 61. Potencial y refugio 62. Orden y complejidad 63. Curiosidad y atracción 64. Cambio y metamorfosis 65. Seguridad y protección 66. Capacidad y control 67. Afecto y apego 68. Atracción y belleza 69. Exploración y descubrimiento 70. Información y cognición 71. Miedo y temor 72. Reverencia y espiritualidad

A continuación se desarrollan los 12 atributos que corresponden a el elemento “Luz y espacio”, (Kellert, 08).

1. Luz natural. Se refiere a los efectos de la luz natural y al todo el espectro de color que conforma la luz natural. Según estudios realizados la luz natural es física y psicológicamente satisfactoria para el ser humano, la cual contribuye a su salud, productividad y bienestar en el entorno construido.

2. Luz difusa y filtrada. Los beneficios de la luz natural son maximizados al modular la luz del sol (componente directa) al mitigar los efectos del deslumbramiento. Este tipo de iluminación puede estimular la observación y los sentimiento de conexión entre los espacios interiores y exteriores.

3. Luz y sombras. El contraste entre estos dos elementos complementa la satisfacción tanto en

ambientes contruidos como en ambientes paisajísticos. Y la manipulación creativa de estos elementos estimula el misterio y la capacidad de discernir objetos a larga distancia.

4. Luz reflejada. El diseño de iluminación se puede ver beneficiado de manera funcional al mitigar el deslumbramiento y aumentar la distancia de penetración de la luz al interior del espacio arquitectónico al introducir reflejos de luz como: muros iluminados con color, plafones o cuerpos de agua.

5. Piscinas de Luz. En espacios paisajísticos ofrecen sentimiento de seguridad y protección en los recorridos.

6. Iluminación cálida. La percepción en cuanto a la calidez de las zonas iluminadas mejora al evocar sentimientos de calidez, seguridad e invitación.

7. Luz como forma. La manipulación de la luz natural puede estimular formas dinámicas y esculturales, las cuales pueden facilitar la movilidad, curiosidad, imaginación, exploración y el descubrimiento.

8. Amplitud. Las personas prefieren sentimientos de amplitud en los espacios contruidos y naturales, sobre todo en aquellos destinados a la protección y seguridad como: aeropuertos, estaciones, comerciales y educacionales.

9. Variabilidad espacial. Estimula el desarrollo emocional e intelectual de las personas. Resulta mas efectivo cuando se complementa la relación con la organización de los espacios contiguos.

10. Espacio como forma. Puede ser manipulado creativamente para combinar y crear formas. Convirtiéndose en un efecto que aporta belleza al entorno construido, el cual estimulara el interés, curiosidad, exploración y el descubrimiento.

11. Armonía espacial. La manipulación del espacio del entorno construido tiende a ser más efectivo cuando se mezcla la luz, el macizo y la escala dentro de un contexto delimitado. Este objetivo evoca el sentimiento de armonía, el cual desarrolla el sentimiento de seguridad y facilita el movimiento dentro de diversos espacios.

12. Espacios interiores-exteriores. El atractivo de los espacios interiores del entorno construido parece estar relacionado con la conexión que guardan con los espacios exteriores. Estos espacios marcan la transición entre la naturaleza y la cultura, un ejemplo de ellos son: columnatas, porches, vestíbulos, atrios y jardines interiores.

4.3 CERTIFICACIÓN LEED®

Actualmente se encuentran en crecimiento los programas y certificaciones que miden el grado de sustentabilidad de un edificio. Esto es por medio de indicadores agrupados en categorías que califican el desempeño y capacidad de recuperación, regeneración del medio ambiente y lo saludable que pueden ser los espacios contruidos para los usuarios. En el caso de los espacios para la salud existe la certificación LEED for Healthcare (Leadership in Energy and Environmental Design), que es la culminación de años de colaboración entre el Green Guide for Healthcare (GGHC) y U.S. Green Building Council (USGBC), Healthcare Without Harm and Center of Máximum Potencial Building System y Green Design. Esta certificación voluntaria esta basada en una escala positiva de puntos de acuerdo a lo que el mercado demanda de una manera consensuada, evaluando el impacto ambiental que provoca la construcción desde una perspectiva;



del ciclo de vida, estándares de diseño, construcción y operación verdes. Este sistema de medida esta dividido en cinco categorías: sitios sustentables (SS), uso eficiente del agua (WE), energía y atmosfera (EA), materiales y recursos (MR), y calidad del ambiente interior (IEQ). Con categorías adicionales como; innovación en diseño (ID) y el regionalismo (RP) consideradas en la practica constructiva. Esta certificación incluye a la luz natural en la categoría de “calidad del ambiente interior”. De acuerdo a la siguiente escala es que se otorga el tipo de certificación.

- Certificada (40-49 puntos)
- Silver (50-59 puntos)
- Gold (60-79 puntos)
- Platino (80 y por encima)

La guía LEED® 2009 for Healthcare (muestra de uso publico), publicada por USGBC señala en el apartado “*Indoor Environmental Quality - IEQ*” (*calidad del ambiente interior*) los créditos correspondientes que otorgan a la iluminación natural (Credit 8.1 Daylight and Views- Daylight. 2 Puntos) y (Credit 8.2 Daylight and Views – Views. **1-3 Puntos**).

- **IEQ- Credit 8.1 Daylight and Views - Daylight. 2 Puntos**

Intención. Proveer a los ocupantes de una conexión entre los espacios interiores y el espacio exterior mediante la introducción de luz natural y vistas a las zonas de mayor ocupación en el edificio.

Requerimientos. Instalación de controles que respondan al cambio de la iluminación por encima del umbral. Los controles deben permitir regular la luz artificial en respuesta a la presencia o ausencia de la luz natural en el espacio. Esto es en un mínimo del 75% del área del perímetro usado para la calificar por los créditos del apartado 8.2, con excepciones en las áreas donde la luz natural dificulte realizar la tarea, se considerará el merito. La evaluación de los niveles de iluminación podrán realizarse por medio de cuatro métodos.

1.- Simulación

Demostrar mediante simulaciones por computadora que el 75% o más del área del perímetro es usado para calificar por los créditos del apartado 8.2. con niveles mínimos de iluminación de 10 footcandles (fc) = (110lux) y un máximo de 55 fc (5400lux) en condiciones de Cielo Claro para la fecha septiembre 21 a la 9:00am y 3:00pm.

Proveer control del deslumbramiento sobre los dispositivos evitando situaciones de alto contrastes que puedan impedir las actividades visuales. Diseños que incorporen sistemas de persianas o parteluces en fachadas para controlar el brillo deben demostrar su aprobación para una iluminación mínima de 10fc (110 lux).

2.- Prescripción

- Para zonas con iluminación lateral. Se demostrara su valor, calculando el producto de la transmitancia de la luz visible (VLT) por medio de la relación entre el área del piso y de la ventana (WFR) entre 0.150 y 0.180.

$$0.150 < VLT \times WFR < 0.180$$

- El área de la ventana incluida en el calculo debe ser por lo menos de 30 pulgadas (0.8 m) por encima del piso.
- En una representación por medio de un corte se debe de ejemplificar que el plafón no obstruye la línea (proyección) que se extiende desde la parte alta de la ventana hasta el piso, con dimensión de dos veces la altura de la ventana, medido perpendicularmente desde el cristal.

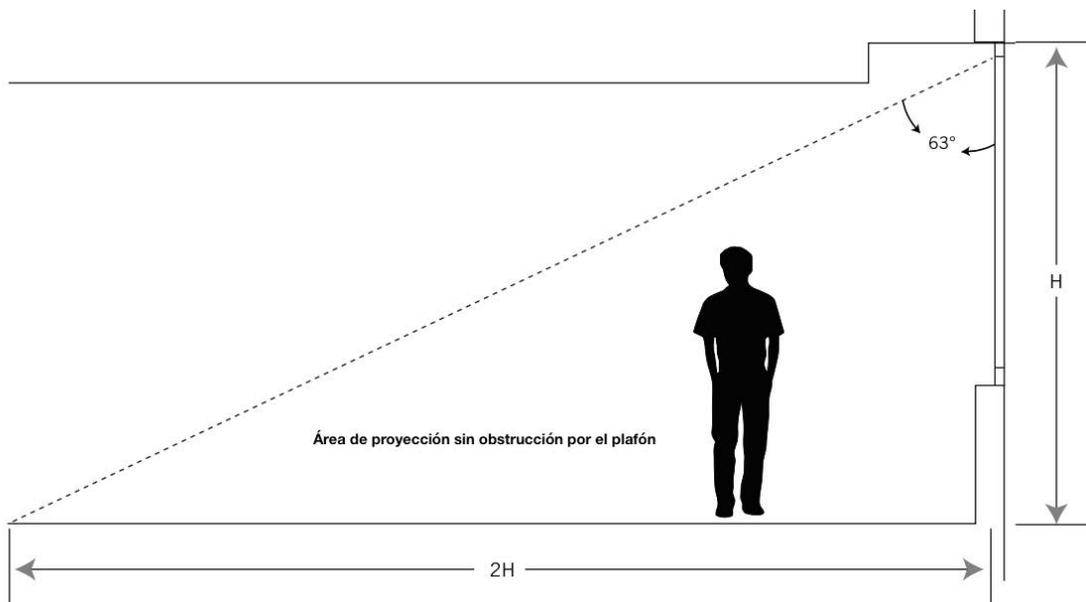


Fig. 1. Facsímil de IEQ Credit 8.1. LEED - Healthcare 2009

- Para zonas con iluminación cenital. Entre otros aspectos que no se especifican de manera clara referentes a la altura del plafón y distancias entre el contorno del domo, la luz natural y elementos que parten el espacio. Si utiliza difusor en el domo, este debe tener valores medibles mayores al 90%, según la ASTM1003.

3.- Medición

Demostrar mediante mediciones de luz interior, que se cuenta con niveles de luz natural mínima de 10 fc (110 Lux) y máximo de 500 fc (5400 lux), son cumplidos en el 75% del área del perímetro para acreditar el apartado 8.2. Las mediciones deberán ser tomadas a 10pies (3m) en red en los espacios ocupados y documentado en los planos del proyecto.

Proveer control del deslumbramiento sobre los dispositivos evitando situaciones de alto contrastes que puedan impedir las actividades visuales. Diseños que incorporen sistemas de persianas o parteluces en fachadas para controlar el brillo deben demostrar su aprobación para una iluminación mínima de 10fc (110 lux).

4.- Combinación

Se podrán utilizar cualquiera de los métodos antes mencionados de manera combinada para documentar los niveles mínimos de iluminación natural son de al menos del 75% en el perímetro del área utilizada para acreditar el apartado 8.2.

- **IEQ- Credit 8.2 Daylight and Views - Views. 1-3 Puntos**

Intención. Proveer a los ocupantes de una conexión entre los espacios interiores y el espacio exterior mediante la introducción de luz natural y vistas a las zonas de mayor ocupación en el edificio.

Requerimientos. Proveer de acceso a vistas de acuerdo al siguiente criterio.

Unidades con áreas de Hospitalización. (1-PUNTO)

El 90% de las áreas públicas, insertas en 20 pies (6m) o más y áreas perimetrales deben proveer como mínimo un ángulo de 11° de no obstrucción de vistas en sentido horizontal y vertical.

Unidades sin áreas de Hospitalización. (1-2 PUNTOS).

No se incluye

4.4 TRANSICIÓN DE LOS SERVICIOS E INFRAESTRUCTURA PARA LA SALUD EN MÉXICO

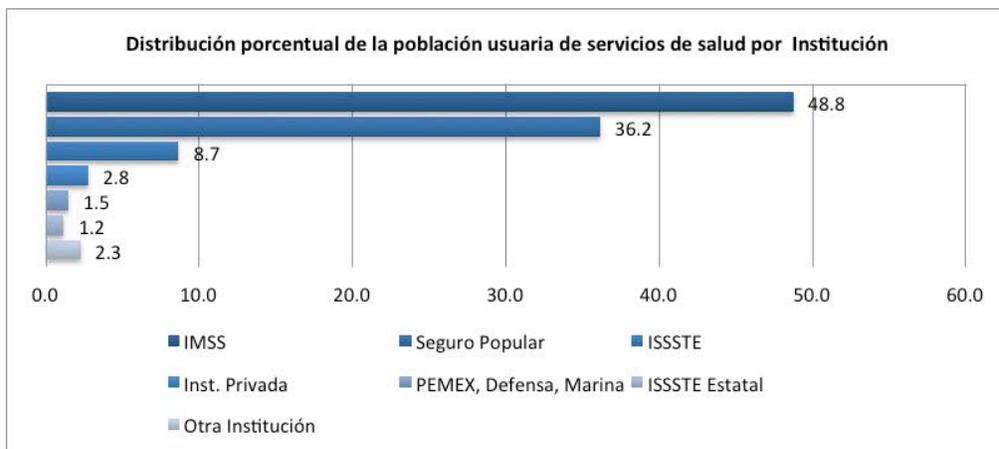
El sistema de atención a la salud en México es distinta a como se aborda en Estados Unidos de donde provienen las certificaciones antes descritas, según la Organización Mundial de la Salud (OMS), un sistema de salud abarca cualquier actividad que esté encaminada a promover, restablecer o mantener la salud. Se encuentra a un nivel de organización social o forma parte de ella, que surgió ante la necesidad de responder a los problemas y necesidades de la salud. Se consideran sistemas abiertos a la interacción con otros sistemas y elementos. Estos se clasifican según la forma en que se encuentran estructurados y en como obtienen su financiamiento y las formas en que los distintos grupos o clases sociales acceden a ellos. El sistema nacional de salud Mexicano esta conformado por tres grupos; el primero son instituciones de seguridad social (IMSS, ISSSTE, PEMEX, SEDENA que atienden a personas llamadas derechohabientes. El segundo grupo son los que atienden a población abierta otorgados por la secretaria de salud (federal o estatal) y por IMSS Solidaridad en zonas rurales, con cuotas según tabulador socioeconómico y en algunos casos subsidio. El tercer grupo es el sector privado, quienes acuden poseen la capacidad económica para solventar los gastos generados por la atención, en este rubro se encuentran desde los pequeños consultorios hasta grandes hospitales con equipamiento para todas las especialidades con diversos planes de cobertura (Soto, Lutzow, González, __).

La capacidad de cobertura del sistema de salud enfrenta un gran reto para los siguientes años, ya que según el Plan Nacional de Salud 2007-2012 mantenemos aun un rezago en enfermedades de un país subdesarrollado como: padecimientos infecciosos, desnutrición y mortalidad materno- infantil, además de que se adicionan enfermedades de un país industrializado como: cáncer, cardiopatías, obesidad y diabetes. Y los resultados del censo de población y vivienda 2010 no son muy alentadores ya que indican que de un total de 112, 336,538 personas que integran la población mexicana, un 33.8% carece de derecho habiencia a los servicios de salud y solo el 57% de la población se encuentra asegurada (INEGI, 10).

Esta desigualdad es más evidente cuando se compara el Distrito Federal con solo el 63.8% de población asegurada con estados como: Michoacán con el 54.2%, Guerrero con el 53.3% y Puebla con el 49.5% de población asegurada que ocupan los últimos lugares en la lista. Del total de la población asegurada, el Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS) atiende a una población del 48.8%, el seguro popular de la Secretaria de Salud (SSA) 36.2%, el Instituto de Seguridad de Servicios Sociales de los Trabajadores del Estado (ISSSTE) 8.7%, son los organismos que tienen un mayor impacto por el volumen de servicio que brindan.

Cabe precisar que la siguiente gráfica no suma el 100%, sino 101.5% ya que hay población que se encuentra asegurada en más de una institución, es decir que México cuenta con aparatos burocrático-administrativos duplicados que acentúan la desigualdad del acceso a los servicios de salud en la población mexicana. La salud es un estado indispensable para el desarrollo humano y sin ella la desigualdad se hace aun más aguda. En el primer congreso internacional sobre medicina y salud se dijo que se deberá de establecer un sistema de salud

público, descentralizado, de cobertura universal y escalonado, orientado hacia la prevención, la atención primaria y la hospitalización general (UNAM-OPS,09).



Grafica 1. Distribución porcentual de la población derechohabiente en México. Fuente: Censo INEGI 2010.

Como parte de esta problemática se han desarrollado nuevos esquemas en políticas de atención a la salud, una de ellas es la cirugía ambulatoria como un modelo de gestión de los servicios médicos y por otro lado como una práctica médica donde se ofrecen principalmente servicios auxiliares de diagnóstico y tratamiento que atienden a pacientes programados de diversas especialidades. La infraestructura física que alberga a esta serie de servicios médicos debe responder eficientemente y eficazmente al tipo de atención médica que se desea brindar. Por esta razón el servicio público y privado integran sus unidades médicas en base a su demanda de atención médica, economía y objetivos propios, sin embargo, se tiene una clasificación general según su funcionamiento; la unidad integrada (como una unidad controlada por el hospital o como una unidad satélite del hospital) en estos establecimientos se comparten recursos humanos, instalaciones, equipos, servicios generales y la administración en un mismo inmueble (MIDAS, 06) y la unidad autónoma como las UNEMES de la Secretaría de Salud que carecen de cuartos de hospitalización y de áreas de urgencias permitiendo que sean unidades menos costosas en su construcción inicial y principalmente durante su vida de operación. Sin embargo, cada organismo manifiesta un modelo de atención con diversas especialidades un ejemplo de ello son las Unidades Médicas de Atención Ambulatoria (UMAA) del IMSS que atienden nefrología, neumología, oncología y gastroendoscopia entre otras, el ISSSTE cuenta con Centros de Cirugía Ambulatoria (CCA). En 2004 se creó el Seguro Popular de Salud (SPS) con la finalidad de incorporar paulatinamente a población no asegurada a un nivel básico de atención hasta llegar a una cobertura total nacional.

De acuerdo con Ardizzone en el trabajo monográfico sobre Centros de Cirugía Ambulatoria, menciona que un principio filosófico de los centros de cirugía ambulatoria es la valoración del paciente en función de afectar lo menos posible su vida cotidiana y poder reincorporarse lo antes posible a su vida laboral. Haciendo hincapié en que la inversión más poderosa para salvar vidas no ha sido un medicamento, ni la tecnología, si no involucrar al

paciente en su salud. Cambiando el paradigma del paciente como un ser que espera a recibir un tratamiento por una persona activa y responsable de su salud. Se pretende con esta alternativa de servicios médicos y de infraestructura en salud brindar una alta capacidad resolutive debido a los avances tecnológicos, la evolución de las técnicas anestésicas y quirúrgicas lo permiten (MIDAS, 06). Propiciando la práctica de la cirugía de un gran número de patologías sin la necesidad de hospitalizar al paciente para alcanzar los resultados esperados y garantizar la adecuada recuperación dentro de estándares de calidad de la atención médica (NOM-205-SSA1-2002).

Institucionalmente estos modelos de atención disminuyen de modo significativo los costos de atención y proporcionan un gran apoyo a las unidades de mayor especialidad al permitir desarrollar procedimientos más complejos, aprovechar la infraestructura médica y descongestionar a los hospitales generales y complementar a los centros de salud.

4.4.1 ESPECIALIDADES MÉDICAS DE MAYOR DEMANDA

En el campo de la atención a la salud existen ciertas especialidades médicas de mayor demanda para la población derivado de la situación epidemiológica en particular que se presenta en México, intensificada por el rezago en la atención médica como consecuencia del crecimiento poblacional con problemas sociales como: pobreza, inseguridad, desigualdad, educación y nutrición que no han sido atendidos oportunamente y en cierta parte por la carente atención médica que se brinda en el nivel básico de salud donde se deberían de solucionar, controlar y prevenir cuestiones de salud antes de requerir una especialización.

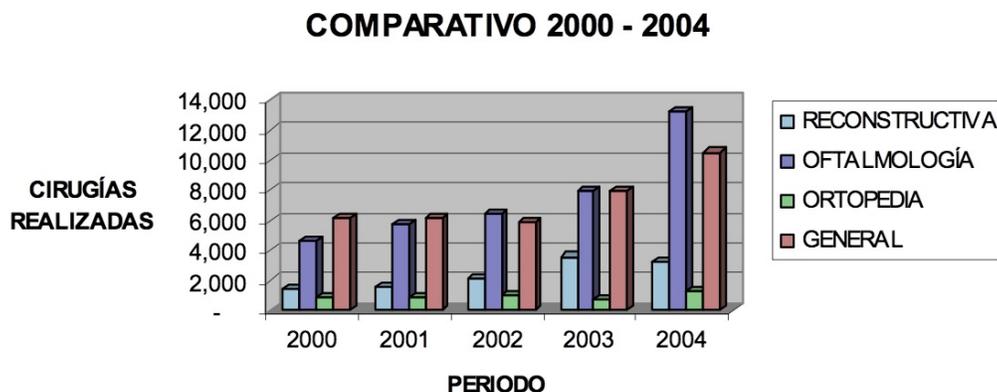
Se han creado otras estrategias para contribuir a que más usuarios tengan atención a sus padecimientos, sobre todo aquellos que se encuentran en una situación de mayor vulnerabilidad y marginación ya que no cuentan con ningún tipo de seguridad social. Se trata de la ejecución de acciones referentes a la atención médica de bajo costo y alta efectividad, conformadas por campañas quirúrgicas intensivas que concentran recursos humanos, técnicos y materiales. Financiado por donativos de fundaciones y coordinado por autoridades locales, el (DIF) Desarrollo Integral de la Familia y organizaciones civiles. Las cirugías se engloban en cinco especialidades¹:

1. Ortopedia: Se interviene a pacientes con pie equino varo y luxación congénita de cadera.
2. Oftalmología: Se realizan extracciones de catarata y se corrigen problemas de estrabismo (desviación de la línea visual de uno o de los dos ojos) y pterigión.
3. Cirugía Plástica Reconstructiva: Se realizan cirugías para corregir malformaciones congénitas como labio y paladar hendido, secuelas de quemaduras, cirugía de mano (procedimientos quirúrgicos para corrección de polidactilia, sindáctila).
4. Cirugía General: Se proporciona atención de hernias inguinales y umbilicales, realización de colecistectomías por laparoscopia.

¹ (SSA) Secretaría de Salud (2004). "Cirugía extramuros, una experiencia de vida". Comisión Nacional de Protección Social en Salud, Dirección General de Gestión de Servicios de Salud. Pág. 42- 61.

5. Otras: Cirugías de corazón como persistencia del conducto arterioso, comunicación interventricular e interauricular; Cirugía cardiovascular periférica como varices; Salud Reproductiva se realizan salpingoclasias.

□



Grafica 2. Comparativo de “cirugías extramuros” realizadas del año 2000 al 2004.
Fuente: SSA, Cirugía extramuros.

En estas acciones se conjuntan los esfuerzos altruistas de cirujanos, hospitales, academias y universidades, dejando atrás las barreras entre instituciones oficiales e iniciativa privada. Los resultados globales sobre el tema de cirugía extramuros desde 1995 al 2004 suman un gran total de 122,149 cirugías practicadas, las cuales reflejan un comportamiento ascendente principalmente en las especialidades de Oftalmología y Cirugía General que incluye diversas especialidades y subespecialidades como la cirugía gastroenterológica, hernias diversas, urología, vascular periférico y cirugía pediátrica general, entre otras, han logrado un aumento acelerado con respecto a otras (*cirugía extramuros*, __).

En cuanto a la cirugía oftalmológica la actividad de diferentes grupos como la Asociación Para Evitar la Ceguera, Fundación Conde de Valenciana, Hospital Juárez, Hospital de la Luz y Academia Mexicana de Cirugía, se ha visto incrementada por la integración de grupos de oftalmólogos del Hospital General de México para este programa (*cirugía extramuros*, __).

A) Oftalmología

Para la especialidad de Oftalmología se realizaron 15,323 procedimientos quirúrgicos extramuros entre los años 2002 y 2003, el 65% fue cirugía de cataratas (10,034 intervenciones de este tipo). Para el tratamiento de éstas, se utilizaron primordialmente técnicas tradicionales de extracción de la catarata y la colocación de lente intraocular de las características preseleccionadas y específicas para cada paciente y solo el 14 % utilizó la técnica de facoemulsificación². Las cataratas producen ceguera y generan discapacidad en las personas en

²Técnica quirúrgica reciente, que requiere de un facoemulsificador. Equipo que mediante ondas ultrasónicas y una unidad de vitrectomía puede deshacer las cataratas, succionarlas e introducir un líquido para conservar la estructura de la cápsula del cristalino. Tiene varias puntas para distintos tipos de cataratas, así como puntas para insertar el lente intraocular una vez

tal magnitud que deben considerarse como un Problema de Salud Nacional ya que el 50% de casos de ceguera son ocasionados por la catarata senil (CENETEC,06). Los 5,289 procedimientos oftalmológicos extramuros restantes corresponden a tratamiento quirúrgico de estrabismo y de pterigiones (*cirugía extramuros, ___*).

Otra causa importante que genera personas con discapacidad visual es la diabetes debido a los altos índices de incidencia en la población, se considera es la primera causa de ceguera en México. Entonces la oftalmología cobra vital importancia dentro de las especialidades de mayor demanda presente y futura, por un lado por las enfermedades que causan algún tipo de afectación en la visión o en alguno de los diversos elementos que conforman dicho sistema de la visión o que se relacionan entorno al ojo humano, como la diabetes que puede presentarse en cualquier etapa de la vida. Por otro lado se encuentran las enfermedades relativas a la edad, es decir aquellas que tienden aparecer con el paso del tiempo y el desgaste natural del cuerpo humano y en este sentido a México se le sumará paulatinamente un problema más de salud a aquellos que no hallan sido resueltos, ya que para el año 2050 habrán casi 26 millones de habitantes mayores de 65 años según proyecciones del INEGI. Y se plantea la pregunta, México que esta haciendo para poder enfrentar este requerimiento, sobre todo en el sentido de infraestructura física para la atención a la salud geriátrica de manera integral.

Esta investigación considera que para proponer alguna estrategia desde un punto de vista arquitectónico que brinde algún beneficio se requiere de un objetivo claro y conocimiento sobre la historia y evolución de las especialidades médicas lo que permitirá prever su desarrollo y necesidades futuras arquitectónicas.

Los antecedentes de la oftalmología en México han tenido un desarrollo muy importante en los últimos 200 años, datan desde que llegaron los europeos a tierras mexicanas encontrando que en las prácticas médicas quirúrgicas habían adelantos en la oculística. Y para el siglo XIX se consolida la especialidad y Jaime Lozano Alcázar precisa que la primer cirugía de cataratas apareció en la gaceta de México de 1803 hecha por el Dr. José Muñoz Miguel (*González, 10*). En el mundo en 1847 aparece el oftalmoscopio en Inglaterra. En la época de 1865 se inició la “Fundación para la atención de los enfermos de los ojos sin recursos”, año en el cual también llega el oftalmoscopio a México, dando origen al “Hospital de Nuestra Señora de la Luz”. La introducción de la asepsia y la anestesia tópica con cocaína impulso también la especialidad, se fundó la Sociedad Mexicana de Oftalmología el 18 de febrero de 1898. Manuel Uribe y Troncoso fue el oftalmólogo mexicano con más reconocimiento internacional por haber diseñado un dispositivo para poder visualizar en vivo el ángulo de la cámara anterior. En los sesentas del siglo XX se desarrollaron las residencias medicas debido al apoyo y organización de la Universidad Nacional Autónoma de México, surgió la Sociedad Mexicana de Oftalmología que certifica a los egresados y cuida los intereses de la especialidad (*González, 10*). Para este siglo se espera la

removidas las cataratas. Dentro de las principales ventajas de esta técnica, es que la incisión necesaria varía entre los 2 y 4 mm evitando complicaciones. SSA- CENETEC (2006) “Guía de Equipamiento para la Atención de Pacientes con Cataratas”. Vol. 1

aparición de más prótesis oculares, nuevos lentes, trasplantes de córnea, más implantes de tejidos creados en laboratorio para solucionar la falta de córneas, adelanto en la cirugía refractiva y para evitar la presbicia, el uso de nuevas tecnologías y la aparición de laboratorios de enfermedades virales, bacterianas y parasitarias con el fin de desarrollar nuevos tratamientos, incluso la aplicación de microchips para problemas generados por ceguera y la interacción con ingenieros mecatrónicos y eléctricos (González, 10).

Estos nuevos avances darán origen a nuevas prácticas quirúrgicas, procedimientos médicos, diagnósticos y tratamientos que requieren espacios arquitectónicos idóneos para su ejecución. En este sentido el campo de la arquitectura requiere de investigación científica para responder a estas nuevas necesidades de la salud del usuario. Por lo tanto, el problema de acceso y permanencia de los servicios médicos correlaciona también a los arquitectos (diseñadores, proyectistas, constructores) en el sentido de las decisiones que se toman y que determinan la futura operatividad del espacio, el gasto de los recursos económicos y la percepción que causará en el usuario, repercutiendo en la efectividad del tratamiento médico otorgado.

4.4.2 ESPACIOS PARA LA SALUD – “EL QUIRÓFANO”

El quirófano o bloque de quirófanos dentro de un hospital es concebido como el lugar sagrado dentro de un hospital, ya que brinda el prestigio del hospital en función del número de infecciones hospitalarias que se llegan a presentar y entre menor es ese número y las condiciones de carácter higiénico son mejores se eleva la confiabilidad y el prestigio de la institución. Salvaguardar la asepsia y desinfección es primordial al interior de un quirófano ya que representa el área más limpia del hospital y bajo ningún motivo deberá contaminarse. Y si bien todos los quirófanos requieren de una asepsia minuciosa, las cirugías que se realizan al interior son de complejidad distinta, implicando requerimientos diferentes entre si, los cuales pueden ser agrupados en relación al tipo de procedimiento quirúrgico.

Tabla 2. Clasificación de quirófanos. Reproducción de: Rosell Farrás Gracia. “Ventilación general en hospitales”. Instituto Nacional de seguridad e higiene en el trabajo. Hospital Sant Pau. Barcelona.

Tipo de quirófano	UNE 100713:2005	UNE EN ISO 14644-1:2000	Denominación de quirófano	Tipo de intervención
A	Clase I	ISO clase 5	Quirófanos de alta tecnología, Cirugía especial	Trasplantes de órganos, cirugía cardiaca, vascular, ortopédica sin implantes y neurocirugía
B	Clase I	ISO clase 7	Quirófanos convencionales	Cirugía convencional y de urgencias. Resto de operaciones quirúrgicas
C	Clase I	ISO clase 8	Quirófanos de cirugía ambulatoria	Cirugía ambulatoria y salas de partos

El quirófano se encuentra inmerso en una unidad quirúrgica o bloque quirúrgico por la necesidad de utilizar eficazmente los recursos físicos, espaciales, equipos y evitar la duplicación de personal, se trata de maximizar la polivalencia de los quirófanos por dos razones principales; la primera por el alto costo económico del equipamiento especializado que se requiere en ciertas cirugías y la segunda para prevenir la contaminación cruzada. En esta última condicionante se fundamenta la teoría de requerir un pasillo limpio y uno sucio (circulación blanca y circulación gris)³. En la actualidad se considera que la existencia de estos pasillos o circulaciones separadas no debe ser, en sí mismo, un requisito (*Ministerio de Sanidad, 09*). Sin embargo, hay que tener presente que el quirófano mantiene relaciones funcionales con otras áreas en base a las entradas y salidas del mismo, además de otras áreas que integran la unidad quirúrgica (administrativa, técnica y servicios de apoyo).

Debido a que la bioseguridad es el elemento de mayor cuidado en un quirófano es necesario precisar cuales son aquellos elementos que la vulneran. Las principales fuentes de microorganismos son las propias personas cuando estas se mueven, entonces al disminuir el número de personas y sus movimientos se reduce la carga bacteriana, además de asegurar un adecuado flujo y renovación de aire (*Ministerio de Sanidad, 09*). Por lo tanto los elementos de tráfico por restringir y segregar son: pacientes, personal, suministros y residuos.

Otros elementos que figuran dentro del porque se dan las infecciones hospitalarias, se tiene que la mayoría de las infecciones quirúrgicas postoperatorias proceden de la flora endógena del propio paciente. Así pues, la integridad del sistema inmunitario y otros factores del paciente son más importantes respecto al origen de las infecciones que el número de bacterias presentes en el medio ambiente del quirófano (*D. Allo y Tedesco, 05*). Por otro lado la infección del sitio quirúrgico (ISQ) es una causa importante de morbilidad y mortalidad en pacientes hospitalizados debido a: 1. Agentes patógenos multiresistentes y 2. Aumento de la edad promedio en los pacientes con enfermedades subyacentes crónicas, debilitantes o con inmunodepresión.

Para reducir la ISQ es necesario aplicar medidas a los avances en las practicas de control de infecciones que incluyen ventilación mejorada de quirófanos, métodos de esterilización, uso de barreras, técnicas quirúrgicas y profilaxis antibiótica. Ya que el riesgo esta originado por las características del paciente, del personal que realiza las intervenciones y del hospital. Existe una clasificación de herida quirúrgica (limpia, limpia-contaminada, contaminada, sucia/infectada) hecha por los cirujanos en el informe operatorio para realizar la vigilancia del paciente y calcular las tasas de infección dentro del hospital.

Es necesario conocer los elementos que conforman los sistemas de control de infecciones hospitalarias (a. acondicionado, calefacción y ventilación) denominados (Heating, Ventilating and Air-

³ En nuestro país, el Sistema Nacional de Salud se rige bajo este condicionamiento. Sin embargo, valdría la pena la realización de evaluaciones sobre bioseguridad que permitan establecer que tan eficiente resulta este esquema de distribución arquitectónica.

Conditioning- HVAC) en los centros hospitalarios, los cuales deben satisfacer una variedad de demandas y aplicaciones su papel va mas allá de brindar confort, deben de brindar protección al paciente, al personal y a los visitantes. Su principal función es:

- Proveer ventilación exterior para tener una ventilación por dilución
- Reducir las partículas aerotransportadas para evitar contagios, enfermedades intrahospitalarias e infecciones postoperatorias
- Restringir el movimiento del aire dentro y entre las diversas áreas

Para lograr este objetivo los ingenieros y encargados de mantenimiento del sistema, junto con la unidad de vigilancia epidemiológica hospitalaria se apoyan en diversas estrategias de ingeniería que existen en el mercado como⁴:

- Filtración HEPA (High Efficiency Particulate Arrestance)
- Irradiación Germicida Ultravioleta (UCGI)
- Control diferencial de presión ambiental
- Dilución por ventilación

Los sistemas de filtrado de aire y lámparas UV corresponde a las técnicas de control aerobiológico utilizadas en el diseño de edificios con el objeto de controlar agentes patógenos, que se pueden transportar vía aérea y reducir infecciones transmisibles del mismo modo. Seguido de lo anterior, tanto el desarrollo de distintos tipos de filtrado de aire como las técnicas para utilizar lámparas ultravioleta en el control de las condiciones ambientales contribuye a la reducción del peligro de infección en las salas de operaciones y es diferenciado de acuerdo al nivel de descontaminación que se obtiene con su funcionamiento. La clasificación de los microorganismos aerotransportados tales como bacterias, virus y esporas de hongos se clasifican según su tamaño, ya que es lo que más impacta en la eficiencia de la filtración. La Sociedad Americana de calefacción, Refrigeración y Acondicionamiento de Aire (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers - ASHRAE) regula los aspectos relacionados a las distintas eficiencias de filtración (Valor Mínimo Reportado de Eficiencia- Estándar ASHRAE 52.2).

El objetivo es garantizar las condiciones de un aire limpio, el cual se compone a base de gases de acuerdo a esta proporción; 21 % de oxígeno, 78 % de nitrógeno, y pequeñas cantidades de otros gases como Argón y CO² y debido a que en los edificios se originan procesos naturales o actividades humanas que alteran la concentración y composición del aire, requiere ser limpiado o filtrado para renovar sus propiedades. Si no se tiene una correcta ventilación de los ambientes interiores se pueden provocar sensaciones de malestar como: fatiga, irritación de ojos, nariz, tos, nauseas, dolores de cabeza, garganta y problemas respiratorios en general. En ambientes hospitalarios existe el riesgo de contagio de transmisión aérea como la tuberculosis, por lo tanto el objetivo es diluir y remover contaminantes generados en el ambiente acondicionado, mediante inyección de aire limpio proveniente del exterior a fin de provocar una renovación del aire interior.

⁴ "Prevención de infecciones en hospitales". Tomado de:
http://www.aircare.com.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=139&Itemid=181

La ventilación es medida en cambios de aire por hora (la cantidad de veces que se inyecta el volumen correspondiente al ambiente en una hora)⁵.

En México estrictamente todos los quirófanos deben guardar la mismas condiciones de bioseguridad, así lo especifica las normas de diseño de ingeniería en acondicionamiento de aire del IMSS. Sin embargo, los quirófanos donde se realizan operaciones de trasplantes con pacientes inmunodeprimidos, se tiene un cuidado especial al incorporar un sistema de flujo laminar que proporciona un control adicional contra la contaminación bacteriana, el cual tiene por objeto suministrar aire estéril a baja velocidad y uniforme en un local específico, el cual deberá ser clase 100 y eficiencia de 99.97%.

Tabla 3. Condiciones especiales que deben de mantener los locales especiales. Fuente: IMSS. Normas de Diseño de Ingeniería en acondicionamiento de Aire. Capítulo 10, “Sistemas de Flujo Laminar”.

Zona Extremosa, Tropical y Altiplano				
Locales	T.B.S.°C	H.R.%	Presión	Ruido (db)
Quirófanos especiales	21+/- 2	50+/-5	12 P.A./Cuartos	30-40
Inmunodepresos	24+/- 2	50+/-5	12 P.A./Cuartos	30-40
Velocidad del aire en sistemas de flujo laminar				
Locales	Área de trabajo P.P.M.	Área perimetral P.P.M.	Rejillas de retorno P.P.M.	
Quirófanos especiales	100+/- 20%	300+/-10%	300+/- 10%	

A) Cirugía Ambulatoria

Ha surgido una modalidad quirúrgica llamada cirugía mayor ambulatoria, son aquellos procedimientos de cirugía mayor que se realizan en salas de cirugía que no producen invalidez, afectación o modificación de los parámetros de las funciones vitales del paciente en la valoración postoperatoria inmediata; requiriendo únicamente de hospitalización en cama no censable y ser dados de alta en un lapso no mayor a 24 horas, a partir del ingreso a la unidad quirúrgica (NOM-205-SSA1-2002). Se consideran ambulatorias todas las visitas a instalaciones de atención que no conlleven una hospitalización con estancia nocturna (NOM- 040-SSA2-2004). La atención ambulatoria, es el servicio que se otorga a toda persona que acude a un Establecimiento de salud, para consulta o tratamiento, y abandona el establecimiento en un lapso de unas horas desde el inicio de la consulta. Sintetizando la cirugía mayor ambulatoria es un procedimiento quirúrgico que

⁵ Existen diversas normas al respecto que regulan la renovación del aire como:

- El apartado 4.4.7 Quirófano Especial, dentro de “descripción y tratamiento de locales especiales, de las normas de diseño de ingeniería en acondicionamiento de aire, del IMSS.
- UNE-100713:2005, sobre instalaciones de acondicionamiento de aire en hospitales
- UNE-ENISO14644, sobre salas limpias y locales anexos
- HVA Design Manual for Hospital and Clinics, publicado por ASHRAE.

conlleva un periodo de observación al interior del centro hospitalario (sin trascurrir la noche) antes de que el médico otorgue el alta hospitalaria, para posteriormente pasar la recuperación en casa. Se diferencia de la cirugía menor ambulatoria en que el alta hospitalaria es inmediata, debido a que existe un riesgo mínimo.

B) Cirugía con alta tecnología

Las cirugías que se realizan en quirófanos con equipamiento de alta tecnología reciben la clasificación tipo “A” según normas europeas, donde se llevan a cabo; trasplantes de órganos, cirugía cardiovascular, ortopédica con implantes, neurocirugía, etc. Tratándose de procedimientos de alta complejidad en términos de tiempo y riesgo de complicación del paciente que recibe la cirugía. Aunado el alto costo del equipamiento médico requerido, cual es altamente sofisticado en su instalación y operación.

A partir de la aparición de la ingeniería biomédica en los años 80’s, la medicina robótica ha tenido avances en rubros de rehabilitación, asistencial, diagnóstico y cirugía robótica. Generando necesidades y características especiales en los espacios arquitectónicos que los contienen. Principalmente en las instalaciones electromecánicas que requiere el equipamiento médico de acuerdo a las especificaciones eléctricas, de funcionamiento y dimensiones de la marca. Los avances tecnológicos han permitido la evolución del instrumental quirúrgico, desencadenando cambios en las características físicas del quirófano (iluminación, acabados de materiales, bioseguridad, entre otros).



La cirugía robótica emplea a la endoscopia como técnica quirúrgica, mediante la cual se auxilia de sistemas de cirugía robótica. Dichos sistemas se clasifican en base a la interacción que tiene el cirujano con el sistema.

- Sistemas control supervisado: El cirujano programa con antelación los movimientos que serán ejecutados por el robot.
- Sistemas de control compartido: El robot garantiza que el cirujano ejecute los movimientos estables, sin embargo el cirujano controla todo el proceso.
- Sistemas tele-quirúrgicos: El cirujano ejecuta la cirugía a cierta distancia controlando los movimientos de los manipuladores robóticos.

El sistema de cirugía robótica “Da Vinci (intuitive surgical) HD” comparado con la cirugía laparoscópica y la cirugía abierta para realizar un procedimiento quirúrgico de cáncer de próstata, resultó ser más efectivo al minimizar las complicaciones que suelen presentarse en el paciente repercutiendo en; una menor pérdida de sangre, disminuyendo el tiempo de hospitalización, recuperación de la función urinaria y sexual en menor tiempo. Lo anterior esta relacionado a que se trata de un procedimiento menos invasivo al cuerpo por que afecta menos tejidos y aumenta la precisión de las incisiones.

Este tipo de sistema quirúrgico revoluciona las necesidades del espacio arquitectónico que lo contiene debido a; su diseño, funcionamiento y principalmente a la interacción entre el equipo médico y el paciente. Se exponen diferencias entre un quirófano tradicional y un quirófano con cirugía robótica en la siguiente tabla.

Tabla 4. Diferencias en las características del espacio para un quirófano tradicional y un quirófano para cirugía robótica. Fuente: elaboración propia

Característica del espacio arquitectónico	Quirófano Tradicional	Quirófano con sistema de cirugía Robótica
<i>Privacidad visual</i>	Requerida debido a que se exponen los tejidos y fluidos del cuerpo, causando un impacto visual en el personal que no esta dentro de la sala. Así como para mantener la intimidad del paciente durante la cirugía abierta.	Debido a que el procedimiento ya no es tan invasivo, ya no se exponen los tejidos del paciente. Garantizar la intimidad del paciente resulta ahora más importante, así como el ambiente que se genera en el espacio con el objeto de mejorar la estancia del usuario en el quirófano.
<i>Iluminación</i>	Se requiere de iluminación general en la sala, y de lámpara quirúrgica que concentre e intensifique la iluminación del sitio quirúrgico.	La iluminación general es requerida como en cualquier local para el funcionamiento general de la sala. Sin embargo, la lámpara quirúrgica ya no es necesaria porque el instrumental del sistema quirúrgico esta diseñado de tal manera que la iluminación del sitio quirúrgico es interna. Además de que existe la visualización tridimensional en la consola de mando. Lo que permite ahora mejorar las condiciones de iluminación general del espacio en función de la influencia que ejerce en el usuario y lograr una mejor calidad lumínica.
<i>Ruido</i>	Se requiere no exceder el nivel establecido de 30-40 db. Principalmente en quirófanos de ortopedia, por el nivel de ruido que provoca el instrumental	El propio equipo realiza incisiones mas pequeñas y precisas. Además de ser herramientas de ultima generación que están diseñadas para hacer menos ruido. Brinda mayor libertad en la

	médico (taladros, cierras, etc.). Requiriendo sistemas de materiales aislantes del ruido en muros, plafón y puertas.	elección de materiales para confinar el quirófano, en el sentido perceptual y de bioseguridad.
<i>Asepsia y bioseguridad</i>	Debido a la naturaleza de las incisiones que se realizan en el cuerpo humano, la pérdida de sangre y la cantidad de residuos biológico infecciosos que se generan durante la cirugía, la limpieza y asepsia que se requiere es minuciosa. Requiriendo materiales en acabados altamente resistentes, lavables y antibacteriales.	Al realizar incisiones menos invasivas, la cantidad de residuos biológico infecciosos son menores, facilitando la limpieza y asepsia del quirófano. Brinda mayor libertad en la elección de materiales para confinar el quirófano, en el sentido perceptual y de bioseguridad.

5.1 APLICACIÓN DE UN MODELO DE EVALUACIÓN DE PARÁMETROS DE DISEÑO CONCEPTUALES DE LUZ NATURAL A UN QUIRÓFANO

5.1.1 *Desarrollo de la aplicación*

5.1.2 *Descripción de parámetros*

- a) *iluminancia media*
- b) *Cobertura*
- c) *Luz difusa*
- d) *Autonomía en luz natural*
- e) *Estímulo circadiano*
- f) *Área de acristalamiento*
- g) *Vistas*
- h) *Ganancia de calor*

5.1.3 *Cálculo de parámetros*

5.1.4 *Integración y análisis del medidor gráfico*

5.1.5 *Resultados*

CAPITULO 5

APLICACIÓN DE UN MODELO DE EVALUACIÓN DE PARÁMETROS DE DISEÑO CONCEPTUALES DE LUZ NATURAL A UN QUIRÓFANO

En los capítulos anteriores hemos visualizado la relación que guarda los niveles iluminación disponible en el espacio arquitectónico con la salud del ser humano, el aporte medible que este recurso nos puede brindar para realizar nuestras actividades y la manera en que se está abordando su implementación en la infraestructura para la salud, como un elemento para favorecer la salud y aumentar la calidad de los servicios de atención médica. Sin embargo, es complejo en la práctica arquitectónica incorporar la mayor cantidad de variables que afectan este aspecto de la arquitectura, requiriendo un mayor esfuerzo (tiempo, conocimiento, interés, economía, entre otros.) por parte de los arquitectos para poder proveer un diseño de iluminación integral desde la concepción del proyecto. Se requiere conocimiento sobre el fenómeno de la luz natural aplicado al espacio, ya que desde proyecto se determinan ubicaciones, orientaciones, configuraciones de fachadas, etc. que determinarán la cantidad y calidad de la luz.

Es necesario contar con herramientas de análisis simplificadas sobre el diseño de la iluminación aplicables a la fase de diseño que involucren los conceptos teóricos del diseño de la iluminación natural y arrojen datos medibles que auxilien en la identificación del cumplimiento del objetivo planteado para llevar a cabo la actividad en determinado espacio. Existen diversos modelos de evaluación de luz natural que se pueden clasificar en dos grupos; aquellos que buscan la rapidez por medio de la simplificación de supuestos permitiendo la evaluación de diversas alternativas, que fallan en la representación del desempeño de la luz natural a lo largo del año. Y aquellos que buscan la precisión del recurso lumínico (climate-based daylight modelling approaches - CBDM) (J. Mardaljevic, 2011), más especializados y acertados en el pronóstico a lo largo del año, sin embargo, consumen un tiempo mayor y reducen las posibilidades de análisis.

En este capítulo se relacionaron los conceptos teóricos estudiados, con una aplicación metodológica para la fase de proyecto arquitectónico enfocado a las aperturas visuales en fachada (ventanas) con la finalidad de simplificar los conceptos y hacer más accesible el entendimiento de las variables que intervienen en la definición de la calidad lumínica de un quírofano con apertura visual desde un punto de vista arquitectónico.

5.1 MODELO DE EVALUACIÓN DE PARÁMETROS RELACIONADOS A LA CALIDAD LUMINICA DE UN QUIROFANO

Se retomó el modelo de evaluación “Parámetros conceptuales de diseño de luz natural” (Conceptual design metrics for daylighting) debido a la manera simplificada en que estructuran la valoración de los indicadores sus autores (R.P. Leslie, L.C. Radetsky, A.M. Smith, 2012). Por medio de un medidor gráfico que actúa como un semáforo indicando mediante tres señales cromáticas distintas el nivel de cumplimiento del objetivo de cada parámetro evaluado, posteriormente se conforma de manera general el medidor gráfico de la propuesta particular. Se eligió este modelo porque considera en la evaluación, el estudio del estímulo circadiano por medio de un modelo validado “Un modelo de la fototransducción por el sistema circadiano humano” (M.S.Rea, et. al. 2005) y porque se acerca más al concepto de calidad lumínica.

De esta manera se pueden constituir diversos medidores gráficos en la evaluación de múltiples propuestas arquitectónicas. No pretende establecer desde un inicio si una propuesta es correcta o incorrecta, justamente se trata de una herramienta que permite la comparación y variación de los indicadores en función de las necesidades lumínicas particulares. Lo cual permite analizar, ponderar y justificar decisiones que afectarán: la calidad lumínica, costo de construcción, vistas agradables y el consumo energético que utilizará para minimizar la ganancia de calor.

La aplicación de esta metodología está dirigida al proceso inicial de diseño donde se establecen las primeras configuraciones como la orientación, proporciones, dimensiones, fachadas, entre otros. Mediante evaluaciones simples con datos iniciales disponibles (localización,

orientación, tipo de espacio, horario) que permiten seleccionar los primeros patrones que posteriormente se desarrollaran con mayor profundidad.

Los parámetros que se evalúan son ocho:

- Iluminancia media (Average illuminance). Proveer de suficiente iluminación para el desempeño de la actividad.
- Cobertura (Coverage). Abarca la mayor cantidad de área iluminada dentro del espacio, evitando zonas de penumbra.
- Luz difusa (Diffuse daylight). Control del brillo, tratando de minimizar la entrada de la componente directa de la luz.
- Luz natural autónoma (Daylight autonomy). Ahorro de energía por medio de maximizar el uso de las horas de luz natural y mantener apagada la luz artificial.
- Estímulo circadiano (Circadian stimulus - CS). Proveer luz suficiente para activar el estímulo circadiano.
- Área de acristalamiento (Glazing area). Control del costo de la construcción minimizando el área de ventanas y domos.
- Vistas (Views). Proveer vistas hacia el exterior.
- Ganancia de calor solar (Solar heat gain). Reducir los requerimientos energéticos y mejorar el confort mediante el monitoreo de la ganancia de calor por medio de las ventanas. (*no considerado en la aplicación).

El parámetro “Ganancia de calor solar (Solar heat gain)” no fue considerado en la aplicación del método debido a que el planteamiento de este trabajo estuvo enfocado al aporte lumínico y la consideración del aspecto térmico representa un enfoque distinto que podrá ser considerado en futuras investigaciones.

5.1.1 DESARROLLO DE LA APLICACIÓN

La aplicación de la metodología se realizó como una interpretación personal de la autora de esta tesis en función de las necesidades lumínicas de un quirófano tipo C (cirugías ambulatorias). Se plantearon una serie de objetivos dirigidos a favorecer la calidad lumínica por medio de la evaluación integral del diseño de luz natural (ocho parámetros).

Objetivos de diseño iniciales:

- Proveer de luz natural suficiente para realizar las actividades complementarias de la cirugía: equipar, revisar, recibir, trasladar y limpiar.
- Evitar la entrada de iluminación natural directa debido a que genera brillos y reflejos que causan disminución del rendimiento y confort visual durante la actividad de la cirugía.
- Promover la estimulación circadiana para generar los efectos visuales y no visuales positivos en los ocupantes durante las horas de luz diurna.

- Brindar vistas por medio de una apertura para generar conexión con el exterior por medio de un vano.
- La localización se encuentra en un contexto geográfico definido por las siguientes coordenadas:

Latitud: 19.434782 (en decimales)
19°26'5.2146" (en grados)

Longitud: -99.1566 (en decimales)
-99°9'23.7594' (en grados)

El quirófano con apertura visual fue evaluado en las cuatro orientaciones principales (norte, oriente, sur, poniente), con dimensiones; de 7.5 m de largo por 6 m de ancho. El programa que se utilizó para estimar la iluminancia en el plano horizontal de trabajo fue el programa AGI32 (versión 15) que sugiere la metodología original, mediante una red de 30 puntos sobre el plano de trabajo que se encuentra a una altura de 1.10m con una separación de 1.5m (mesa quirúrgica)¹. Los cálculos se realizaron para condiciones de cielo nublado y cielo despejado para días representativos² de cada estación: marzo 20, junio 21, septiembre 22, diciembre 21. En el siguiente horario 8:00am, 12:00pm, 4:00pm,. Dando como resultado 12 simulaciones para cielo despejado y 12 simulaciones para cielo nublado de cada propuesta³.

Total 96 simulaciones, que se conforman de la siguiente manera:

- Apertura norte: 24 simulaciones
- Apertura oriente: 24 simulaciones
- Apertura sur: 24 simulaciones
- Apertura poniente: 24 simulaciones

Tabla 1. Fechas y horarios evaluados

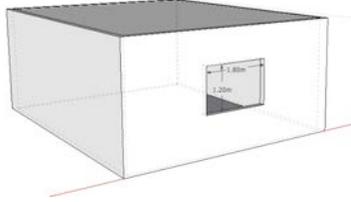
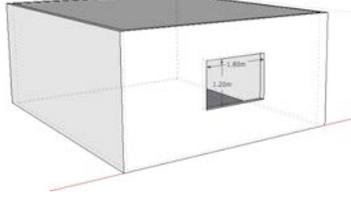
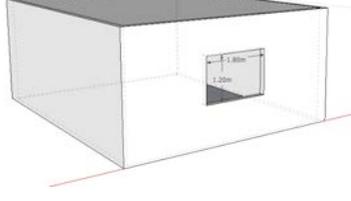
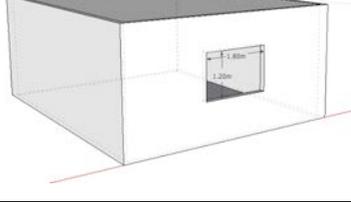
Equinoccio Marzo 20 (horario local)	Solsticio Junio 21 (horario de verano)	Equinoccio Septiembre 22 (horario de verano)	Solsticio Diciembre 21 (horario local)
9:00am	9:00am	9:00am	9:00am
12:00am	12:00am	12:00am	12:00am
3:00pm	3:00pm	3:00pm	3:00pm
6:00pm	6:00pm	6:00pm	6:00pm

¹ El plano de trabajo se consideró la altura de la mesa quirúrgica, la cual oscila entre los 0.75m hasta 0.95m dependiendo del modelo, marca y de acuerdo al tipo de cirugía para la cual fue diseñada.

² Las fechas de cuando ocurren los equinoccios y solsticios, fueron tomados de la tabla: "Equinoxes, Solstices, Perihelion and Aphelion, 2000-2020. Consultado el 25 de agosto de 2013, en la pagina: <http://www.usno.navy.mil/USNO/astronomical-applications/data-services/earth-seasons>

³ La elección de la fecha y hora de las simulaciones esta en función del momento que interesa conocer la disponibilidad de la luz natural de acuerdo a los objetivos de diseño, por lo tanto, estas son variables que ponderará el diseñador, incluso determinará si requiere aumentar o disminuir el numero de simulaciones, así como transformar el horario local u horario de verano a tiempo solar verdadero.

Tabla 2. Orientaciones evaluadas

Vista del quirófano	Orientación
	1-N Quirófano (7.50m x 6.00m) con apertura NORTE (1.80m x 1.20m)
	1-O Quirófano (7.50m x 6.00m) con apertura ORIENTE (1.80m x 1.20m)
	1-S Quirófano (7.50m x 6.00m) con apertura SUR (1.80m x 1.20m)
	1-P Quirófano (7.50m x 6.00m) con apertura PONIENTE (1.80m x 1.20m)

5.1.2 DESCRIPCIÓN DE LOS PARÁMETROS

A). ILUMINANCIA MEDIA (AVERAGE ILLUMINANCE). Parámetro de la disponibilidad de la luz natural sobre un plano horizontal de trabajo para desempeñar una actividad visual específica.

Finalidad: Proveer un rango de iluminación natural suficiente al quirófano sobre el plano horizontal de trabajo para el desempeño de actividades complementarias (preparación y limpieza del quirófano). Para evitar encender la luz artificial durante las horas que no se realizan cirugías. Prevenir generar brillos o reflexiones entre los materiales de las superficies (muros, plafón y piso) y los equipos electrónicos (equipamiento médico) mientras estén en funcionamiento durante el desempeño de una cirugía.

Indicador gráfico: el color negro representa un nivel equilibrado y suficiente, es decir que se cumple el rango de valores de iluminancia, el color gris representa un nivel insuficiente en niveles

de iluminancia y contraste (valores cercanos), finalmente el color blanco representa un nivel de iluminancia por debajo de lo requerido o por encima produciendo situaciones que disminuyen el confort visual.

Determinación: Los valores de iluminancia suficientes (E_d) recomendados por IESNA de acuerdo a la actividad y el espacio (operating room) es de 127,000 luxes en la mesa quirúrgica emitidos por la lámpara quirúrgica. Por otro lado la recomendación de la “Guía Técnica de Eficiencia Energética en Iluminación para hospitales y centros de atención primaria” desglosa valores para la mesa quirúrgica entre 20,000-100,000 luxes, para la iluminación general 1,000 luxes y para la iluminación alrededor de la mesa quirúrgica de 2,000 luxes. Por lo tanto el valor de la iluminancia media (E_d) de luz natural suficiente empleado es de 1000 luxes considerando solo el uso de luz natural para la realización de las actividades complementarias en el quirófano.

Para determinar los valores insuficientes de iluminancia (E_{min}) que marca la metodología original plantea que se puede utilizar el modelo del Rendimiento Visual Relativo (Relative Visual Performance - RVP). Sin embargo, el criterio simplificado que se adoptó para determinar el (E_{min}) es el valor que propone la guía de 500 luxes y como valor máximo (E_{max}) 1,500luxes. Se calculó el valor de los 30 puntos que conforman el plano de trabajo, para determinar la iluminancia media (E_{avg}) para cada día y hora especificados, para interpretarse de la siguiente manera:

- **Negro:** si E_{avg} es mayor o igual que E_d y menor que E_{max} .
- **Gris:** si E_{avg} es mayor que E_{min} pero menor que E_d o si E_{avg} es mayor que E_{max} .
- **Blanco:** si E_{avg} es menor que E_{min}

2. COBERTURA (COVERAGE). Es un parámetro expresado en porcentaje de área del plano de trabajo que esta por encima del criterio de la iluminancia mínima especificado por (E_{min}).

Finalidad: Evitar áreas dentro del quirófano por debajo de la iluminancia mínima, se considerar la iluminación ambiental para mejorar la calidad lumínica. Un porcentaje del 100% representa que el total del área recibe niveles adecuados de iluminación natural para el desempeño de la actividad. Un porcentaje del 80% o menos indica que existen áreas con niveles de iluminación insuficientes, la yuxtaposición de éstas contribuye a disminuir el confort visual.

Indicador gráfico: el color negro representa que el total del área se encuentra por encima de los niveles mínimos. El color gris representa que la mayoría del área se encuentra por encima de los niveles mínimos de iluminancia. Finalmente el color blanco representa que un área significativa se encuentra por debajo de los niveles mínimos.

Determinación: El porcentaje de los puntos calculados sobre el plano de trabajo por encima de la iluminancia mínima (E_{min}) fueron simulados para condiciones de cielo despejado y nublado.

- **Negro:** si el 100% de los puntos son igual o mayor que E_{min} .
- **Gris:** si el 80% - 99% de los puntos son igual o mayor que E_{min}
- **Blanco:** si menos del 80% de los puntos son mayores que E_{min}

3. ILUMINANCIA DIFUSA (DIFFUSE DAYLIGHT). Es un parámetro expresado en porcentaje de área del plano de trabajo que cuenta con luz natural sin la componente directa. La presencia de luz directa en un quirófano donde se realizan actividades visuales críticas es un indicador de disminución del rendimiento y confort visual, debido a que genera brillos, deslumbramiento y reflexiones. Aumentando el potencial térmico.

Finalidad: Evitar la entrada de la componente directa de la luz natural al interior del quirófano sobre el plano de trabajo y superficies (muros, plafón y piso) debido a que generan altos contrastes y deslumbramiento en la actividad visual de los usuarios.

Indicador gráfico: El color negro indica que la totalidad del plano de trabajo esta libre de la componente directa y cuenta solo con luz natural difusa, el color gris indica que hay presencia de la componente directa, el color blanco indica un aumento progresivo de la presencia de la componente directa.

Determinación: El porcentaje de los puntos que se consideran con iluminancia directa (E_{sun}) se retoman del modelo original debido a la escasez de datos validados para la ciudad de México. Los valores considerados están en función de la disponibilidad de la luz natural a lo largo del año, es decir para los meses de marzo, junio y septiembre se asume una iluminancia directa de (E_{sun}) 10,000 lux y desciende en diciembre a (E_{sun}) 5,000 lux. El porcentaje de los puntos calculados en el plano de trabajo igual o menores a (E_{sun}) fueron simulados para condiciones de cielo despejado y nublado.

- **Negro:** si el 100% de los puntos son igual o menor que E_{sun} .
- **Gris:** si el 80% - 99% de los puntos son igual o menor que E_{sun}
- **Blanco:** si menos del 80% de los puntos son menores que E_{sun}

4. LUZ NATURAL AUTÓNOMA (DAYLIGHT AUTONOMY). Es un indicador que expresa ahorro energético en función del tiempo que la iluminación artificial permanece apagada al contar con sistemas de control y atenuación. Es un porcentaje del plano de trabajo con valores de iluminancia (E_d)

Finalidad: Este parámetro es considerado como un indicador de ahorro cuando no hay actividad de cirugías, es decir cuando se realizan las actividades complementarias, sin embargo, en un quirófano no es posible considerar realizar la actividad solo con luz natural debido a los requerimientos lumínicos.

Indicador gráfico: El color negro representa un gran potencial de ahorro energético. El color gris representa un potencial de ahorro moderado. Finalmente el color blanco representa un potencial de ahorro mínimo.

Determinación: El porcentaje de los puntos calculados sobre el plano de trabajo por encima de la iluminancia (E_d) fueron simulados para condiciones de cielo despejado y nublado.

- **Negro:** si el 80% - 100% de los puntos son igual o mayor que E_d
- **Gris:** si el 50% - 79% de los puntos son igual o mayor que E_d
- **Blanco:** si menos del 50% de los puntos son mayores que E_d

5. ESTIMULO CIRCADIANO (CIRCADIAN STIMULUS). Es un indicador que relaciona los niveles de luz disponible en el ambiente con la activación del estímulo circadiano de los ocupantes. Debido a que la luz en ciertos niveles de iluminancia, espectro y tiempo de exposición durante el día tiene el potencial de mejorar los patrones del sueño y el estado de alerta.

Finalidad: Proveer la luz suficiente para promover la estimulación circadiana en los usuarios. Este parámetro es considerado uno de los más importantes dentro de la aplicación de la evaluación

debido a que esta basado en un modelo validado “Modelo de la fototransducción por el sistema circadiano”.

Indicador gráfico: El color negro representa un nivel alto de estimulación circadiana a lo largo del año en condiciones de cielo despejado y nublado ahorro energético. El color gris representa un estímulo circadiano moderado. El color blanco representa un nivel de oscuridad circadiana, al no recibir la luz suficiente para activar el estímulo del sistema circadiano.

Determinación: Tanto para las condiciones de cielo nublado como despejado se calculó un valor del estímulo circadiano-(CS) para cada uno de los valores de iluminancia de cada simulación (fecha y hora a lo largo del año) 32 simulaciones por propuesta evaluada, posteriormente se obtuvo un valor promedio (CS), al cual se le asignó una puntuación de 0-2, dependiendo del porcentaje de (CS), dando una puntuación máxima posible de 24 a lo largo del año. Una puntuación de 2 se da cuando el promedio CS es superior al 35% (120 lux o más), una puntuación de 1 cuando el promedio (CS) esta entre el 10% y el 35% (40 lux o más), finalmente una puntuación de cero se da cuando el (CS) es inferior al 10% (menos de 40 lux). El valor que se muestra en el medidor gráfico es igual a la suma de las puntuaciones de las 16 fechas y horas calculadas (16 para cielo nublado y 16 para cielo despejado).

El cálculo del (CS) fue retomado de la metodología original, la cual se basó en un modelo de la fototransducción por el sistema circadiano humano. El cual calcula la supresión nocturna de la melatonina contabilizando el nivel de luz en la cornea, la espectralidad de la luz y la duración de la exposición y el tamaño de la pupila. Para tal calculo el tamaño de la pupila se fijó en 2.3 mm, la duración de la exposición una hora, el nivel de luz en la cornea se estimó de forma conservadora mediante la adopción de la iluminancia horizontal media en el plano de trabajo y dividiendo ese valor a la mitad.

- Negro: si el puntaje del (CS) es mayor que 16.
- Gris: si el puntaje del (CS) se encuentra entre 9-16.
- Blanco: si el puntaje del (CS) es menor que 9.

6. ÁREA DE ACRISTALAMIENTO (GLAZING AREA). Es un indicador que expresa los costos de construcción en función del porcentaje del área de ventana o domo respecto al área del espacio arquitectónico.

Finalidad: Considerar que el costo relacionado al área de la apertura evaluada no debe ser considerada solo por sus dimensiones como lo indica el método original. Una ventana para un quirófano requiere de la selección de materiales que aseguren la asepsia y control térmico. No obstante, los materiales son elementos se determinarán en etapas posteriores del proyecto.

Indicador gráfico: El color negro, gris y blanco representan sucesivamente al aumento del área de acristalamiento.

Determinación: El porcentaje se determinó dividiendo el área del quirófano entre el área de la ventana y /o domo.

- Negro: si A_g esta por debajo del 10%.
- Gris: si A_g esta entre el 10%-20%.
- Blanco: si A_g es mayor que el 20%.

7. VISTAS (VIEW). Es un indicador que expresa si se cuenta con vistas hacia el exterior desde el quirófano.

Finalidad: Proveer una conexión con el exterior por medio de una apertura visual en un muro del quirófano. Debido a que brinda información sobre lo que acontece en el contexto inmediato (áreas verdes, estado del tiempo). Se valora la vista hacia la bóveda celeste, sin embargo, si se incluyen vistas del horizonte superior o inferior adquiere mayor valor.

Indicador gráfico: El color negro indica que la vista ofrecida incluye porción de la bóveda celeste y porción del horizonte visual, el color gris indica que la vista ofrece solo acceso a una porción de la bóveda celeste y el color blanco indica que no existe vista alguna y que el aprovechamiento de luz natural de da por otros tipos de sistemas de transporte.

Determinación: El porcentaje se determinó dividiendo el área del quirófano entre el área de la ventana y /o domo.

- **Negro:** si la vista incluye vista de la bóveda celeste y del horizonte del contexto.
- **Gris:** si la vista solo incluye vista de la bóveda celeste.
- **Blanco:** si no existe ningún tipo de vista.

8. GANANCIA SOLAR * (SOLAR HEAT GAIN). Es un indicador que expresa la ganancia de calor sobre un espacio arquitectónico. Es el promedio de la energía irradiada del sol sobre el espacio arquitectónico por medio de la envolvente (principalmente áreas acristaladas), medido en watts por metro cuadrado (W/m^2). Es una estrategia pasiva de calentamiento utilizada durante los meses de invierno. Sin embargo, en nuestra latitud contribuye al consumo de energía de los sistemas de enfriamiento.

Finalidad: Reducir el consumo energético de los sistemas de climatización para mejorar las condiciones de confort al interior ocasionado por la ganancia de calor. En el desarrollo de esta aplicación desempeña un papel de referencia sobre la ganancia de calor que genera el diseño de la apertura visual que se propone.

Indicador gráfico: La metodología indica que este parámetro no cuenta con un color que indique su estado, simplemente muestra el valor calculado en (W/m^2) de acuerdo a la apertura evaluada.

Determinación: El promedio de la ganancia de calor por día es calculado por el programa eQUEST. El resultado es dividido entre el área del espacio para obtener W/m^2 y conocer la relación de acuerdo al área y el día.

**Este parámetro no es considerado para esta aplicación, solo se abordan aquellos lumínicos, Sin embargo, si se desea lograr un análisis integral deberá considerarse este parámetro.*

5.1.3 CÁLCULO DE LOS PARÁMETROS

5.1.4 INTEGRACIÓN Y ANÁLISIS DEL MEDIDOR GRÁFICO

5.1.5 RESULTADOS

En este sentido los parámetros resultantes deben considerarse como una interpretación práctica inicial, que es la base para obtener ejercicios futuros con mayor precisión. Partiendo de este principio se determinó que se requerían de datos mensurables que apoyarán el modelo conceptual empleado para que fuera válido y confiable para la Ciudad de México. Posteriormente se realizó un caso de estudio experimental al interior de un quirófano con luz natural que se desarrolla a profundidad en el capítulo seis.

Las limitaciones de una aplicación como la del medidor gráfico en primer término, es que se utilizan modelos de simulación que son alimentados con fórmulas y algoritmos desarrollados en otros países con datos meteorológicos de otras regiones geográficas, lo cual hace relevante la obtención de datos propios (iluminancia e irradiancia) de nuestro país para validar los modelos.

En segundo término los parámetros evaluados están en función de un parámetro en especial la "iluminancia media", el cual es un método para predecir el rendimiento del sistema y la uniformidad la cual se expresa en relación de dos cantidades (máximo-mínimos, máximos-media y media-mínimos) es decir que deber ser aplicado cuando se esperan resultados uniformes. Aplicable a iluminación generalizada y no focalizada (*IESNA, 2000*).

- 6.1 DESCRIPCIÓN DEL EXPERIMENTO
 - 6.1.1 *Contexto Urbano*
 - 6.1.2 *Características arquitectónicas*
 - 6.1.3 *Equipamiento Médico del quirófano*
 - 6.1.4 *Periodo de estudio*
 - 6.1.5 *Equipo de Medición de luz*
- 6.2 MÉTODO DE ANÁLISIS
 - 6.2.1 *Instalación*
 - 6.2.2 *Monitoreo*
 - 6.2.3 *Procesamiento de datos*
- 6.3 RESULTADOS
 - 6.3.1 *Gráficas*
 - 6.3.2 *Distribución de iluminación en quirófano*

CAPITULO 6

CASO DE ESTUDIO: QUIRÓFANO OFTALMOLÓGICO

Posteriormente al estudio teórico de los parámetros que se involucran en el diseño de la luz natural, el impacto que ejercen las condiciones de iluminación sobre el ser humano y conjuntar los fundamentos de la sustentabilidad encaminados a mejorar la calidad de la infraestructura física de los servicios de salud. Se desarrolló un estudio experimental en un quirófano oftalmológico con acceso a luz natural, para conocer por un lado el aporte cuantitativo de la luz natural que incidía en el espacio y sus implicaciones sobre aquellas actividades que podían desarrollarse de acuerdo a los niveles de iluminación registrados. Por medio de la medición de la iluminancia con instrumentos tecnológicos especializados en la medición del rango visible del espectro electromagnético (fotómetros). Así como conocer las necesidades: operativas, de seguridad, procesos y equipamiento de un quirófano en actividad.

Las mediciones obtenidas fueron parciales (15 días del año) debido a que el estudio se realizó mientras se encontraba en funcionamiento la sala quirúrgica y se dificultaba mantener estéril y en el mismo sitio de ubicación el equipo de medición. Sin embargo, con las mediciones realizadas se estimó la distribución lumínica correspondiente al quirófano durante esa época del año, así como su disponibilidad sobre un plano de trabajo.

El experimento se llevó a cabo en el Hospital de la Luz (HOL), el cual es uno de los tres¹ principales que se especializan en la atención oftalmológica asistencial en la zona metropolitana e incluso brinda servicio a algunos estados aledaños al Distrito Federal, por lo tanto en términos de frecuencia de uso sus instalaciones son altamente concurridas.

6.1 DESCRIPCIÓN DEL EXPERIMENTO

El experimento se llevó a cabo en este hospital debido a sus características arquitectónicas, la unidad quirúrgica (13 quirófanos totales) se encuentra iluminada por luz natural debido a su disposición perimetral en torno a un vestíbulo central que da acceso (circulación blanca) a los diversos quirófanos (9 con acceso de luz natural) por medio de un domo central (fig. 1). Posteriormente se encuentran las salas quirúrgicas con puertas acristaladas sobre los planos donde se recibe al aporte de luz natural y en el sentido contrario muros divisorios entre cada quirófano. Finalmente se encuentra el pasillo de ingreso y salida de pacientes, el cual también recibe iluminación natural por medio de la fachada acristalada poniente.

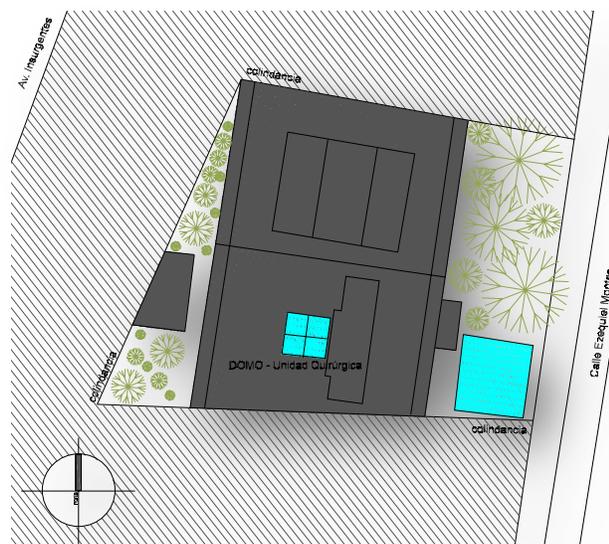


Fig. 1. Planta de conjunto, donde se visualiza el domo central de la unidad quirúrgica.

¹ Existen tres hospitales principales encargados de la atención de la especialidad de Oftalmología: 1. La Asociación para Evitar la Ceguera I.A.P. APEC) "Dr. Luis Sanchez Bulnes". 2. Instituto de Oftalmología "Fundación de Asistencia Privada Conde de Valenciana I.A.P." y 3. Fundación Hospital "Nuestra Señora de Luz I.A.P.". Los cuales manejan un esquema de operación público-privado, administrados por fundaciones y patronatos.

6.1.1 CONTEXTO URBANO-ARQUITECTÓNICO

El contexto urbano en el cual se encuentra inserto el hospital define la orientación de sus fachadas, la relación con los inmuebles contiguos, la homogeneidad de las alturas y en consecuencia los ángulos de obstrucción de luz natural que inciden en el edificio, el aporte de la componente reflejada exterior (CRE). Las alturas de los edificios aledaños oscilan entre cuatro y cinco niveles, sin embargo, al lado oeste existe un edificio de 13 niveles, convirtiéndose en la limitante mayor de la incidencia de la luz natural debido a la sombra que proyecta sobre el hospital (fig. 2).

- UBICACIÓN

El sitio donde se llevo acabo el experimento cuenta con la siguiente dirección: calle de Ezequiel Montes #135 C.P. 06030 Delegación Cuauhtémoc en la Ciudad de México D.F. Con un horario de labores de atención a pacientes de lunes a viernes de 08:00am a 15:00hrs, sábados de 08:00am a 13:00hrs y domingos cerrado. Sus coordenadas geográficas son: latitud: 19°26'5.22", longitud: -99°9'24" y altitud de 2240mmsm.



Fig. 2. Contexto Urbano – Arquitectónico. Porción: sur – oeste – norte. El edificio que representa la mayor obstrucción en la incidencia de la luz natural, debido a su altura (13 niveles) se ubica hacia el lado oeste (av. Insurgentes).

6.1.2 CARACTERÍSTICAS ARQUITECTÓNICAS

El quirófano es un espacio físico con características arquitectónicas enfocadas a garantizar la seguridad de la actividad (paciente, sanidad y control) inserto en una unidad médica, perteneciente a un sistema de salud (publico o privado) con necesidades operativas, sometidos a un constante cambio en el equipamiento medico que se utiliza en cada tipo de cirugía. La característica principal del espacio arquitectónico del quirófano es que se encuentra delimitada perimetralmente de los otros espacios con conforman la unidad quirúrgica por medio de elementos fijos (muros) y con un área central libre de obstrucciones fijas, para permitir el libre acomodo de los componentes móviles (mobiliario y equipamiento).

- DIMENSIONES

El quirófano donde se realizó el experimento es el número 4, el cual esta situado en el tercer piso a una altura de nivel de piso terminado de 8.95m (N.P.T.+ 8.95m), con una altura del plano horizontal de trabajo de 1.10m. El quirófano cuenta con las siguientes dimensiones: 5.80 m (orientación norte), 4.00m (orientación este), 5.80 (orientación sur), 4.00m (orientación oeste), con una altura interior de 2.30m: con una superficie total de 23.20m² (fig.3).



Fig. 3. Vista panorámica del quirófano 4 (dirección este), hacia el vestíbulo central iluminado por medio de luz natural a través de domo en azotea.

- ACABADOS

Los acabados de los materiales de las superficies del quirófano presentan las siguientes características: Plafón con acabado en PVC color blanco, con curva sanitaria hacia los muros en PVC color blanco marfil (fig.4). Muros este-oeste con cancel de aluminio y cristal claro con curva sanitaria hacia piso en PVC color gris en el perímetro y color azul al centro (fig.5). Muros norte-sur en PVC color blanco marfil con curva sanitaria hacia piso en PVC color gris en el perímetro y color azul al centro (fig.6).



Fig. 4. Color de plafón y muro.



Fig. 5. Cancel en muro (este-oeste) y color de piso.



Fig. 6. Color de muro (norte-sur) y color de piso.

- ILUMINACIÓN ARTIFICIAL

La iluminación artificial del quirófano (fig.7), se conforma únicamente de iluminación general (ocho lámparas T8) sin la utilización de lámpara quirúrgica, debido a que los procedimientos quirúrgicos que se realizan requieren de instrumental oftalmológico especializado (sistema de microscopio OPMI® Vario – Carl Zeiss) con iluminación artificial integrada, concentrada en el área quirúrgica a base de lámparas de xenón y sistemas microquirúrgicos (sistema de visión Constellation® y sistema de visión Infiniti®).

Las luminarias instaladas están empotradas y totalmente estancas, es decir que garantizan la separación del ambiente interior de la luminaria, la zona limpia y el falso plafón con un grado de protección IP65 el cual indica que son resistentes a los ataques químicos, equipadas con lámparas fluorescentes (fig.8), como lo indica la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC).



Fig. 7. Imagen del falso plafón del quirófano 4 (HOL) con iluminación generalizada (8 lámparas T8).

Luminaria HERMÉTICA HERMETICA luminaire Luminaire HERMÉTICA					CE	IP 65	IK 09	CLASE I
					PC	850 ⁰	0.9	0.15
Ref.	W	Plum	LxAxH	XxY				
82.42.00.0	2x36	73,6W	1286x367x110	345x1270				
82.42.03.0	2x58	112W	1591x367x110	345x1567				
82.44.00.0	4x18	80,3W	686x667x110	645x660				
82.44.10.0	4x36	147W	1286x667x110	645x1270				

Fig. 8. Ejemplo de ficha técnica de luminaria hermética para quirófano. La clase I, se refiere a que la protección contra los choques eléctricos está provista por separado del aislamiento principal. Código IK indica el grado de protección proporcionado por una envolvente contra los impactos mecánicos nocivos. Tomado de: Catálogo Lamp Lighting. cat_hospital_2010_4.pdf

6.1.3 EQUIPAMIENTO MÉDICO DEL QUIRÓFANO

El equipamiento medico empleado usualmente en el quirófano oftalmológico número 4 corresponde a:

Mobiliario

- Vitrina de material
- Banco A
- Banco B
- Banco C
- Silla para cirujano
- Carrito de instrumental A
- Carrito de instrumental B
- Mesa quirúrgica
- Reloj de pared
- Bote para desechos A
- Bote para desechos B
- Bote para desechos C
- Carro de anestesia

Equipo

Sistema de microscopio OPMI® Vario – Carl Zeiss
 Sistema de visión Infiniti® con monitor
 Sistema de visión Constellation®
 Equipo de grabación (cámara)
 Equipo de reproducción de imagen + (monitor HD)

La importancia de conocer el equipamiento médico que se utiliza en esta sala influye en la calidad de la iluminación, debido a que por un lado el mobiliario en su mayoría es realizado en acero inoxidable y se debe considerar en su selección un acabado mate para no generar resplandores que provoquen deslumbramiento en la sala. Por otra parte se debe garantizar las condiciones de rendimiento visual y confort visual durante el funcionamiento del equipo de reproducción de imagen digital para no generar reflexiones de velo en los monitores y pantallas.

IESNA emite recomendaciones asociadas a los colores y reflectancias que deben ser utilizadas en los quirófanos, tanto en las superficies de los acabados como la vestimenta del personal médico. En caso del plafón requiere de un color blanco con un 90% o superior de reflectancia, los muros requieren de un color claro con una reflectancia del 60% con acabado mate o semi-mate, el piso requiere de una reflectancia mínima entre 20 y 30%, incluso hasta un 8% de acuerdo a los materiales disponibles.

En el rubro de la vestimenta médica los colores más apropiados son colores como: el turquesa, azul-verde, gris perla con una reflectancia del 30%. El instrumental quirúrgico tanto plástico como de metal también deberá considerar un acabado mate para evitar brillos y deslumbramiento en el área quirúrgica.

6.1.4 PERIODO DE ESTUDIO

El estudio se llevo a cabo durante 25 días consecutivos al interior del quirófano núm. 4 (12-junio de 2012 al 6 – junio de 2012). Y 15 días consecutivos al exterior en la azotea del edificio (12-junio de 2012 al 26-junio de 2012). Sin embargo, para realizar el estudio de la disponibilidad solo se consideraron 15 días consecutivos donde se habían registrado datos interiores y exteriores simultáneamente (12-junio de 2012 al 26-junio de 2012).

Este periodo de tiempo se ubica en dos diferentes estaciones del año, parte en primavera y parte en el verano, lo que le confiere ciertas características particulares a la luz natural. Para el día 20 de junio inició la estación verano con el Solsticio de junio [del latín; solstitium (sol sistere), "Sol quieto"], esto ocurre cuando el sol alcanza el cenit sobre el Trópico de Cáncer provocando que la duración del día y altura del sol sea máxima respecto a otro día del año debido a la inclinación del eje de la tierra. Por otro lado ocurre lo contrario para el solsticio de invierno en el Trópico de Capricornio con la noche más larga.

Las características de la luz natural en este periodo del año se relacionan con la cantidad de horas disponibles durante el día, es decir que en este lapso de tiempo se cuenta con más horas de luz natural que el resto del año debido a que el ángulo de insolación es máximo para nuestra latitud y por lo tanto el recorrido del sol es más largo desde al amanecer hasta el anochecer, también alcanza una altura mayor y un ángulo de incidencia más directo (86° para el 21 de junio)², provocando sombras más cortas y altos niveles de radiación.

² www.sitiosolar.com/arquitecturasolarpasiva.htm Fecha de consulta 11/sep./2014

Con el propósito de aprovechar las horas de luz disponibles durante este periodo es que surgió el horario de verano “Daylighting savings time”, México adoptó este programa en 1996 para incrementar su actividad económica con los estados unidos de norte américa. Su aplicación busca el ahorro energético al disminuir el uso de luz artificial por la tarde, sin embargo, los efectos del ahorro no son del todo claros ya que también se requiere encender la luz por las mañanas, así como evaluar el impacto de modificar los horarios de trabajo sobre la salud del ser humano (ver capítulo 2).

6.1.5 EQUIPO DE MEDICIÓN

El equipo empleado en el experimento que registró los valores de iluminancia global al exterior e iluminancia difusa al interior del quirófano cuenta con las siguientes especificaciones.

Tabla 1. Instrumentos de medición utilizados en el experimento: “Medición de la intensidad lumínica de un quirófano con luz natural”. Equipo perteneciente al Laboratorio de Interacción con el Medio (LIM), de la Maestría en arquitectura del campo de conocimiento en Tecnología.

EQUIPO	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	IMAGEN
Fotómetro Marca: Li-cor Modelo: 210-LS	7	Sensor fotométrico con grado de investigación de $\pm 5\%$ dentro de la curva de CIE (curva fotópica) para medición de iluminación (radiación visible). Cuenta con un fotodiodo de silicón filtrado en la cabeza del sensor corrigiendo el coseno para proporcionar la respuesta mas adecuada en diversos ángulos de incidencia.	
Adquisidor de datos Marca: Agilent Technologies Modelo: 34970A	1	El Adquisidor de Datos / Data Logger se compone de una unidad central de tres ranuras con un multímetro digital incorporado en 6 1/2 dígitos, 11 funciones diferentes, ocho módulos plug-in opcionales para crear una unidad de registrador de datos compacto, sistema de adquisición de datos con todas las funciones de conmutación.	

<p>Computadoras portátil Marca: Toshiba, HP</p>	<p>1</p>	<p>El principal uso de la computadora portátil tiene tres objetivos, en primer lugar el arranque de las mediciones (la programación), en segundo lugar la recopilación de datos (descarga de mediciones), en tercer lugar el procesamiento de datos recabados, en el software desarrollado por la marca. Debido a la incompatibilidad del software del equipo diverso, fue necesario utilizar tres computadoras con diferentes versiones de sistema operativo (Windows XP, Windows Vista) para descargar y manipular la información recabada.</p>	
<p>Adquisidor de datos Marca: Campbell Scientific Modelo: CR1000</p>	<p>1</p>	<p>El Adquisidor de Datos / Data Logger recibe la información registrada por los instrumentos de medición (fotómetro y piranómetro), conectados a los 8 canales dobles o 16 sencillos. Su alimentación eléctrica puede ser directa o alterna, incluso puede ser abastecido energéticamente mediante una pila que se carga por medio de un panel solar.</p>	
<p>Batería Marca: Campbell Scientific Modelo: PS100</p>		<p>Batería de 12V con regulador recargable por medio del panel solar. Provee la energía necesaria al adquisidor de datos y demás equipo de medición.</p>	

Piranómetro Marca: Kipp Zonen Modelo: CMP11	1	Piranómetros marca Kipp and Zonen Modelo CMP21 para medición de radiación global horizontal .	
Caja para exterior	1	Caja para condiciones exteriores marca Campbell, para protección de los adquirentes de datos y batería.	
Panel solar	1	Panel solar de 10watts, modelo BP Solar, SX310M. Para proveer energía eléctrica de manera autónoma.	

Los parámetros de validez y precisión de las mediciones realizadas están relacionadas con la calibración de los fotómetros utilizados, así lo establece la Organización mundial Meteorológica (World Meteorological Organization - WMO). La calibración del equipo es un proceso de comparación de valores obtenidos contra otro instrumento con la medida de referencia (fotómetro de referencia No.26), estableciendo una relación entre los valores y las incertidumbres (asociados y medidos). Es decir que se requiere de un instrumento con un mayor nivel de precisión que proporcione los valores a verificar que comprobará a los demás instrumentos sometidos a la calibración. El objetivo de llevar a cabo una calibración como lo indica el fabricante del equipo es mantener y verificar el buen funcionamiento de los equipos y establecer parámetros de calidad, garantizando la fiabilidad y la trazabilidad de las medidas.

En el caso de este experimento en particular los instrumentos de medición utilizados en el quirófano pertenecen al Laboratorio de Interacción con el Medio (LIM) del Programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura, el equipo fue adquirido en el año 2006, el cual ha recibido mantenimiento y calibración de acuerdo a las recomendaciones del fabricante. Una referencia de este hecho se expresa en el “Reporte de calibración de sensores de iluminación” realizado para la tesis “Iluminación natural en arquitectura. Validación de los métodos de cálculo en la Ciudad de México” del año 2010. Como resultado de esta calibración surgieron nuevas constantes para el uso de los fotómetros, las cuales se encuentran enunciadas en la tabla 2.

Tabla 2. Número de fotómetros utilizados en el experimento con su respectiva constante de calibración. (F: corresponde a “Fotómetro”).

No. FOTÓMETRO	No. DE SERIE	CONSTANTES ANTERIORES	COSNTANTES NUEVAS
F-13	PH 8101	4.90993	4.888
F-15	PH 8103	4.85949	4.757
F-16	PH 8104	4.66769	4.414
F-17	PH 8105	5.02162	5.019
F-18	PH 8106	4.78229	4.614
F-19	PH 8107	4.70750	4.649

6.2 MÉTODO DE ANÁLISIS

El objetivo del experimento fue conocer cuantitativamente la distribución e intensidad lumínica en el quirófano 4 (porción de iluminación natural y porción de iluminación artificial) con la finalidad de valorar la utilización de luz natural durante las horas de trabajo en una área quirúrgica, lo cual determinó la instalación y programación de instrumentos de medición en dos espacios: en quirófano No. 4 y en la azotea del edificio.

6.2.1 INSTALACIÓN DE EQUIPO DE MEDICIÓN

- EN QUIRÓFANO

El montaje de los fotómetros previamente desinfectados se llevó a cabo el día 11 de junio, aprovechando la esterilización programada que se tenía para el área quirúrgica, se colocaron los fotómetros a una altura de plano de trabajo de la mesa quirúrgica, se conectó el adquisidor de datos y se realizaron pruebas de arranque pertinentes.

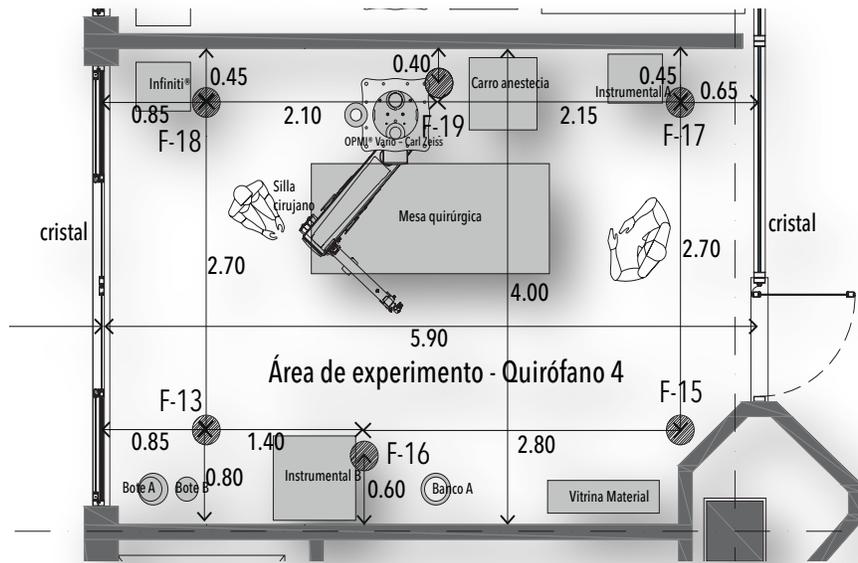


Fig. 09 Montaje de 6 fotómetros en el interior de un quirófano. (F-13, F-16, F-15, F-17, F-19, F-18.)



La distribución del acomodo de los fotómetros se realizó con la finalidad de abarcar homogéneamente el área del quirófano y no causar alguna dificultad en la operación del equipamiento quirúrgico al personal médico durante una cirugía.

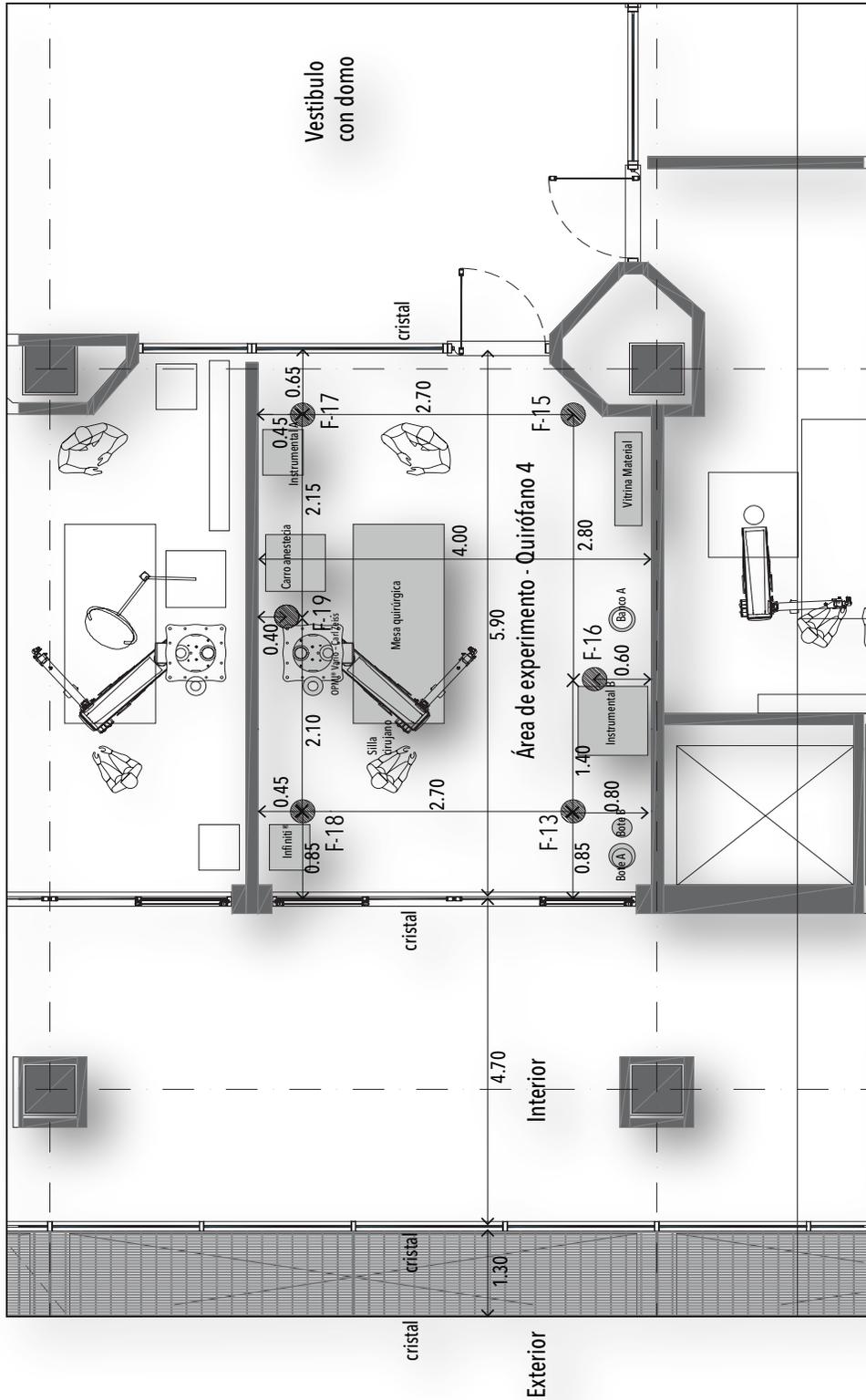


Fig. 10. Esquema de distribución en planta arquitectónica del quirófano 4 - "Área de experimento". La ubicación de los 6 fotómetros se encuentra indicada por un círculo achurado y la leyenda F-n Se determinó una distribución perimetral debido al funcionamiento del espacio y colocación del equipo adquirente de datos.

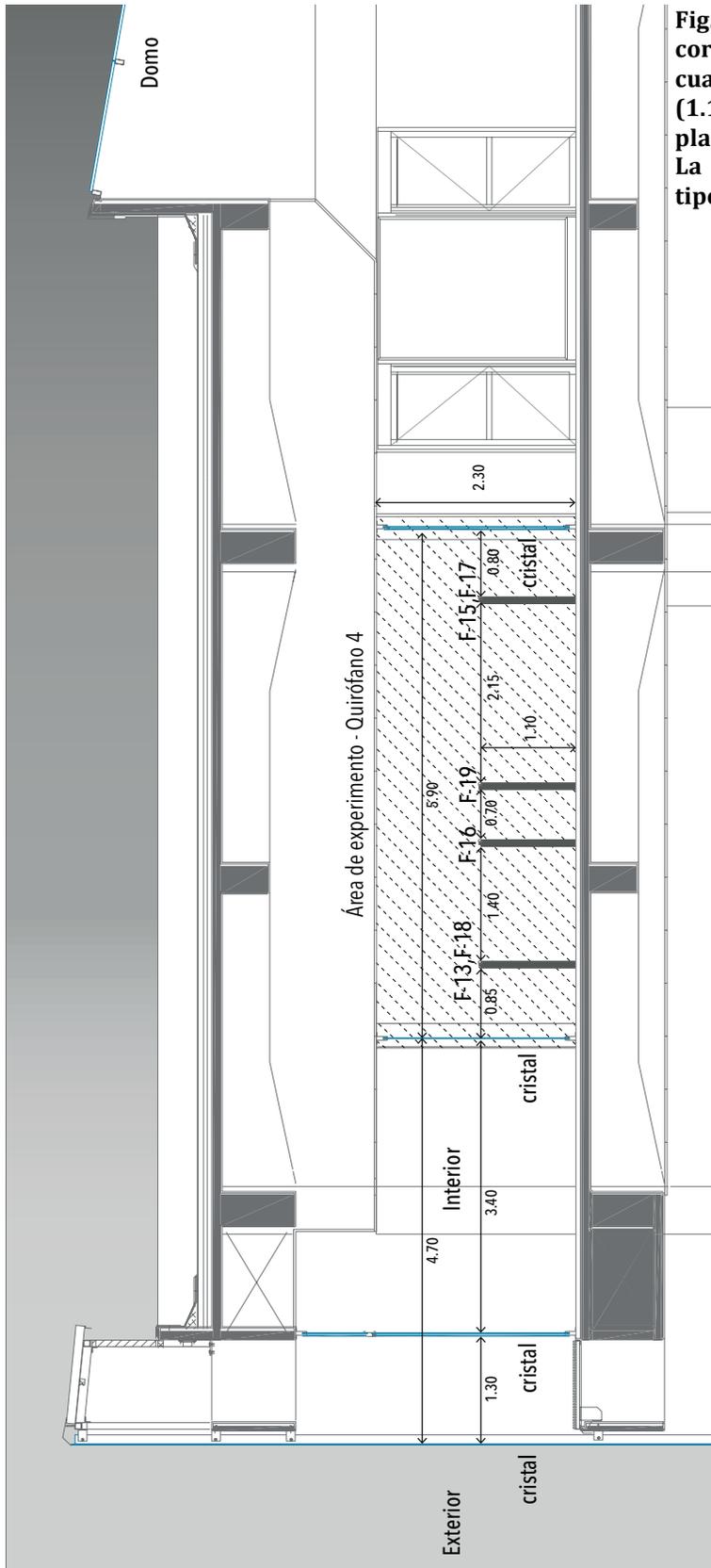


Fig. 11. Esquema de distribución en corte arquitectónico. La altura a la cual se situaron los 6 fotómetros (1.10m), guarda una relación con el plano de trabajo (mesa quirúrgica). La cual es regulable de acuerdo al tipo de cirugía a realizar.

- EN AZOTEA

Se instalaron dos fotómetros y un Piranómetro en la azotea del edificio donde no hubiera sombras proyectadas por el contexto urbano sobre el área quirúrgica con la finalidad de cuantificar la iluminancia e irradiancia global incidente. Para el funcionamiento del equipo de medición fue necesario la colocación del panel solar, orientado hacia el sur, para que suministrara de manera autónoma la energía necesaria al adquisidor de datos (Campbell CR1000), fotómetros y piranómetro por medio de la batería, bajo resguardo en una caja diseñada para condiciones exteriores.



Fig. 12. Imagen de azotea con caja exterior y panel solar sobre ducto de aire acondicionado



Fig. 13. Fotómetro No.22, sobre domo en azotea.



Fig. 14. Fotómetro No.23, sobre alero en azotea.



Fig. 15. Piranómetro No.1, Fotómetro No.24, sobre cubierta en azotea.

6.2.2 MONITOREO

El monitoreo de la luz natural se llevo a cabo por un periodo de 20.5 días consecutivos y en cada visita realizada al quirófano para descargar los datos del adquisidor Agilent se verificaba el estado general de los instrumentos (conexiones, ubicación, limpieza). Los fotómetros permanecieron midiendo las 24 hrs. y la programación del adquisidor de datos se inició el día 16 de junio del 2012 a las 12:47hrs, el escaneo de los sensores se realizaba a cada minuto (6 sensores = 6 datos a cada minuto), dando un total de: 1440 datos por día, por 20.5 días = 29,520 datos totales. La unidad de medición programada fueron los kiloluxes.

Durante un periodo de tiempo más corto (12 junio - 26 junio = 15 días) también se monitoreo la iluminancia e irradiancia global (al exterior) en la azotea de los quirófanos con la finalidad de conocer cuantitativamente el recurso que aporta la luz natural y considerado para esta investigación como el 100% de iluminancia, para posteriormente determinar el porcentaje de luz natural que incidía en el interior del quirófano.

6.2.3 PROCESAMIENTO DE DATOS

Los datos recopilados del monitoreo de la iluminación del quirófano 4, requirieron de un proceso que permitiera traducir los datos numéricos en información relevante para el objetivo del experimento, los cuales se realizaron en dos etapas. La primer etapa consistió en descartar los datos referentes a los minutos de las horas nocturnas y multiplicar los datos diurnos por 100,000 para obtener los valores en luxes, posteriormente se realizaron graficas por cada día que ilustraran el comportamiento general de cada fotómetro durante un día completo. De esta primer etapa los resultados que se desprendieron están enfocados a la distribución de la iluminación combinada (luz natural + luz artificial), así como el aporte solo de la iluminación natural en el quirófano 4.

Para la segunda etapa se utilizaron los datos procesados en la primera fase de los cuales se obtuvieron: la media aritmética, media armónica, media geométrica, desviación estándar, moda, mediana, máximos, mínimos y varianza por cada hora del día, abarcando 7 días de medición (15 horas diurnas = 15 gráficas por cada día por 7 días = 105 gráficas). Mediante dicho análisis exploratorio de datos estadísticos se conocieron los valores de iluminación más altos que se presentan en el quirófano, el momento del día en el que ocurren, así como su variabilidad y permanencia. Lo que permitió establecer un modelo grafico de distribución desde la azotea hasta el área quirúrgica.

6.3 RESULTADOS

En la tabla 4 se presentan solo los días completos en que se llevo a cabo la medición de luz en el quirófano 4, se diferencian los días laborables (realización de cirugías): lunes, martes, miércoles, jueves, viernes y sábado, del día domingo que se considera día no laborable en el Hospital de la Luz. Sin embargo, para esta investigación los días domingo se registró la medición solo de iluminación natural debido a que la iluminación artificial permanecía apagada. Descartando los datos de los días con mediciones parciales.

Tabla 3. Datos correspondientes a la trayectoria solar: amanecer, culminación, anoecer de los días que se realizó la medición de luz en el quirófano 4, así como la elevación máxima del sol durante cada día y el total de horas de luz natural. Datos obtenidos de la aplicación “Sun seeker” versión 4.4.2, fecha de consulta: noviembre, 2014.

	DÍA	FECHA	AMANECER	CULMINACIÓN	ANOCHECER	ELEVACION MAXIMA	DURACION DE LA LUZ DE DÍA
DIAS DE MEDICION EXTERIOR	Domingo-1 (no laborable)	17 Junio 2012	6:58	13:37	20:17	+86.03°	13h18m
	Lunes-2 (laborable)	18 Junio 2012	6:58	13:37	20:17	+86.02°	13h18m
	Martes-3 (laborable)	19 Junio 2012	6:58	13:38	20:17	+86.00°	13h18m
	Miércoles-4 (laborable)	20 Junio 2012	6:58	13:38	20:17	+86.00°	13h18m
	Jueves-5 (laborable)	21 Junio 2012	6:59	13:38	20:18	+86.00°	13h18m
	Viernes-6 (laborable)	22 Junio 2012	6:59	13:38	20:18	+86.01°	13h18m
	Sábado-7 (laborable)	23 Junio 2012	6:59	13:39	20:18	+86.03°	13h18m
	Domingo-8 (no laborable)	24 Junio 2012	6:59	13:39	20:18	+86.05°	13h18m
	Lunes-9 (laborable)	25 Junio 2012	7:00	13:39	20:18	+86.08°	13h18m
	Martes-10 (laborable)	26 Junio 2012	7:00	13:39	20:18	+86.11°	13h18m
DIAS DE MEDICION AL INTERIOR	Miércoles-11 (laborable)	27 Junio 2012	7:00	13:39	20:19	+86.16°	13h18m
	Jueves-12 (laborable)	28 Junio 2012	7:00	13:40	20:19	+86.21°	13h18m
	Viernes-13 (laborable)	29 Junio 2012	7:01	13:40	20:19	+86.26°	13h17m
	Sábado-14 (laborable)	30 Junio 2012	7:01	13:40	20:19	+86.33°	13h17m
	Domingo-15 (no laborable)	01 Julio 2012	7:01	13:40	20:19	+86.40°	13h17m
	Lunes-16 (laborable)	02 Julio 2012	7:02	13:40	20:19	+86.47°	13h17m
	Martes-17 (laborable)	03 Julio 2012	7:02	13:41	20:19	+86.56°	13h16m
	Miércoles-18 (laborable)	04 Julio 2012	7:02	13:41	20:19	+86.65°	13h16m
	Jueves-19 (laborable)	05 Julio 2012	7:03	13:41	20:19	+86.74°	13h16m
	Viernes-20 (laborable)	06 Julio 2012	7:03	13:41	20:19	+86.85°	13h15m

6.3.1 GRÁFICAS

La iluminancia difusa captada al interior del quirófano 4 por los 6 fotómetros: F-13, F-15, F-16, F-16, F-18, F-19. Son representados en las siguientes gráficas como: fotómetro 113, fotómetro 115, fotómetro 116, fotómetro 116, fotómetro 117, fotómetro 118, fotómetro 119 respectivamente.

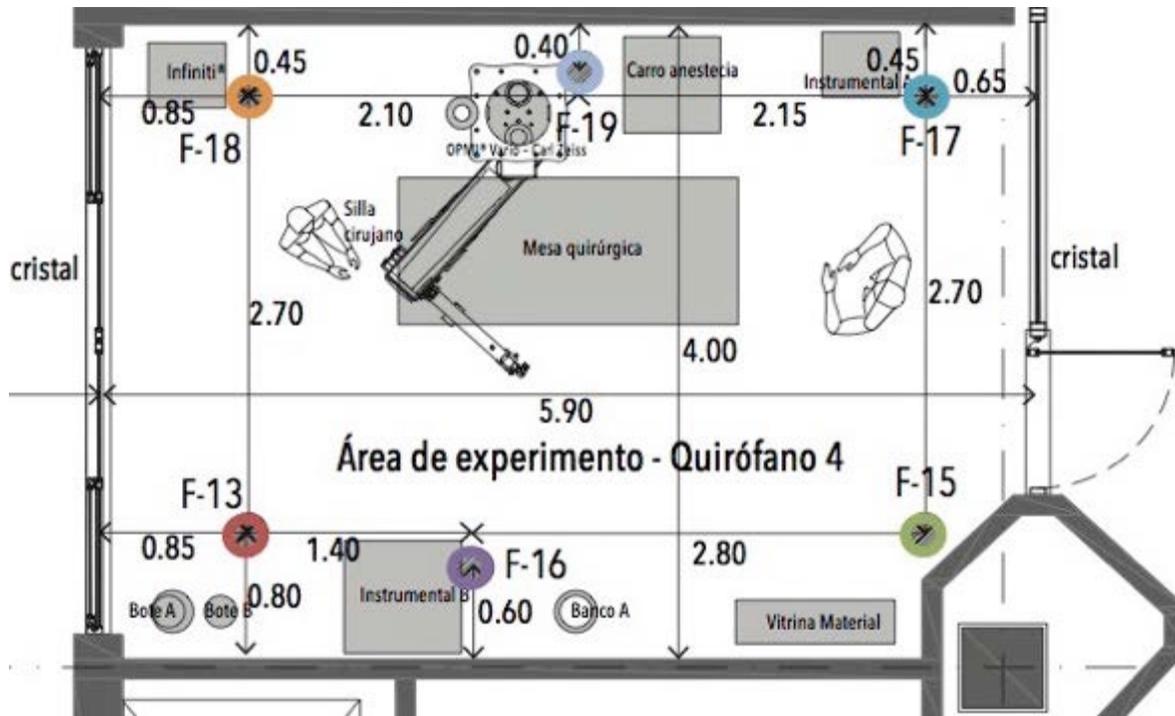


Fig. 15. Ubicación de fotómetros representados por el color que aparece en las gráficas.

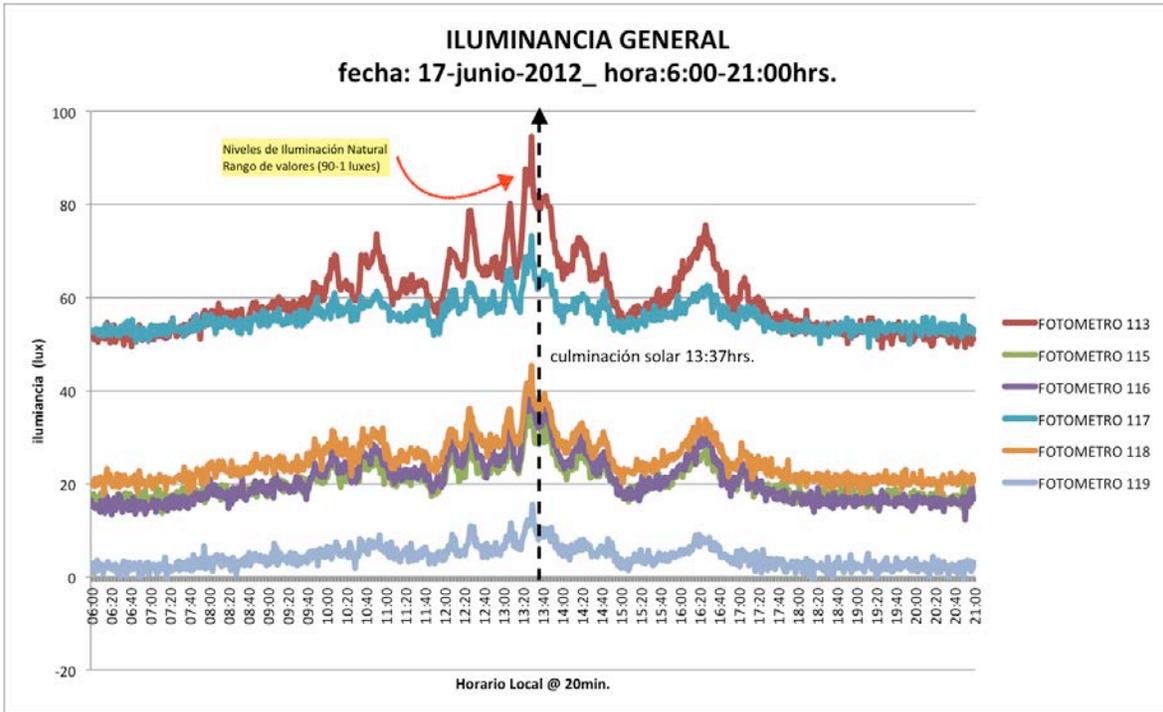
- FOTOMETRO 113
- FOTOMETRO 115
- FOTOMETRO 116
- FOTOMETRO 117
- FOTOMETRO 118
- FOTOMETRO 119

La gráfica que en lo sucesivo se denomina “**Illuminancia General**” de fechas (17 de junio de 2012 al 24 de junio de 2012) representa la iluminancia registrada por cada fotómetro a lo largo del día al interior del quirófano. Para los días domingo se trata exclusivamente de luz natural que incide en el quirófano, por tratarse de un día no laboral, los días lunes, martes, miércoles, jueves y viernes se trata de los niveles combinados de iluminación artificial y luz natural, perceptible en las gráficas dentro del horario de trabajo.

La grafica que en lo sucesivo se denomina “**Illuminancia por hora**” de fechas (17 de junio de 2012 al 24 de junio de 2012) representa la variación de la iluminancia registrada por cada fotómetro durante el periodo de una hora, cuando ocurre la culminación solar.

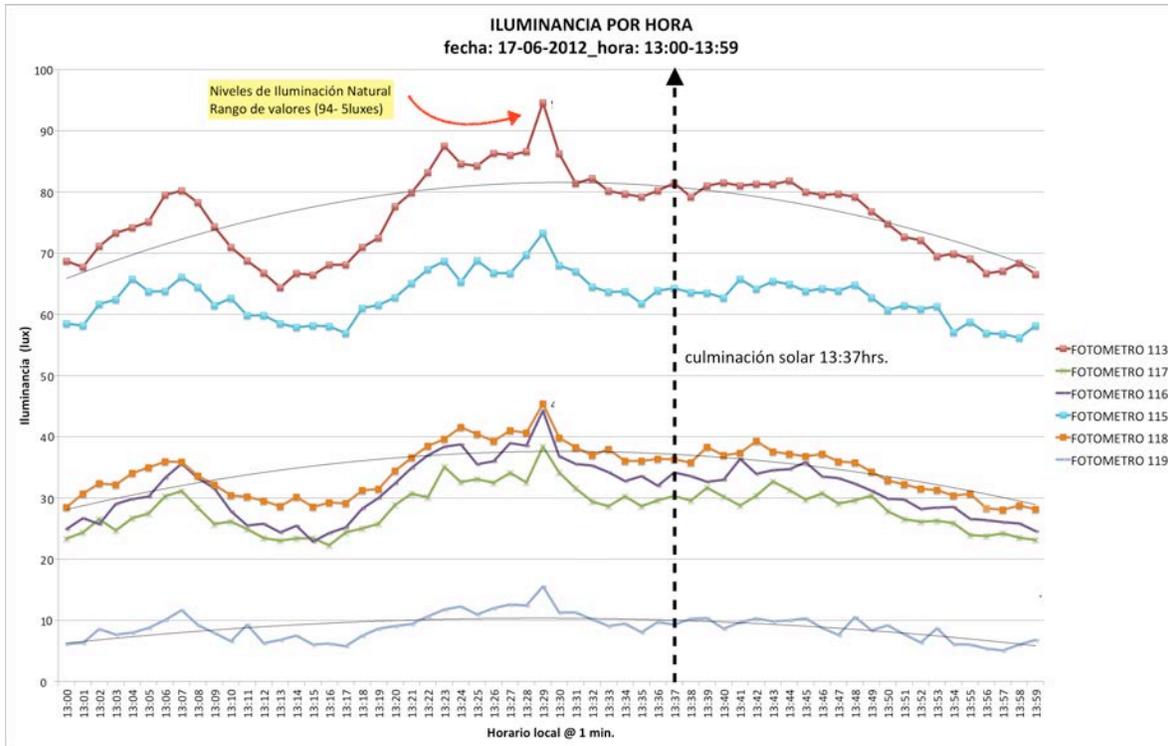
La grafica que en lo sucesivo se denomina “**Illuminancia Global Horizontal**”, de fechas (19 de junio de 2012 al 24 de junio de 2012) representa la iluminancia e irradiancia registrada el exterior en la azotea del edificio, traslapada con la irradiancia para determinar si presentan un comportamiento parecido. En este tipo de graficas se tiene en el eje primario vertical a la irradiancia y en el eje vertical secundario a la iluminancia. En algunos casos el eje horizontal esta desfasado para cada uno. Se trata de los valores máximos y mínimos que se presentaron durante ese día.

DOMINGO. (JUNIO 17, 2012)
 Horas de luz natural: 13h 18 m



Grafica 1. Iluminancia General (junio 17, 2012).

El horario entre las 9:40 am y las 17:00hrs. fue el periodo donde se registró la elevación de la iluminancia conforme avanzaba la trayectoria del sol y posterior a su culminación empiezan a descender los valores formando así una grafica de forma parabólica. Los valores de la iluminancia de los fotómetros 113 y 117 representan los valores mas altos (máximo 90.46 lux) respecto a los valores de los demás fotómetros, esto es por su ubicación más cercana a la apertura visual. Los fotómetros 115, 116 y 118 registraron los valores intermedios (40 lux) y el fotómetro 119 es el que registró los valores mas bajos (16 lux) debido a su ubicación al centro del espacio entre el equipamiento médico, lo que provocó un efecto de sombras sobre el.

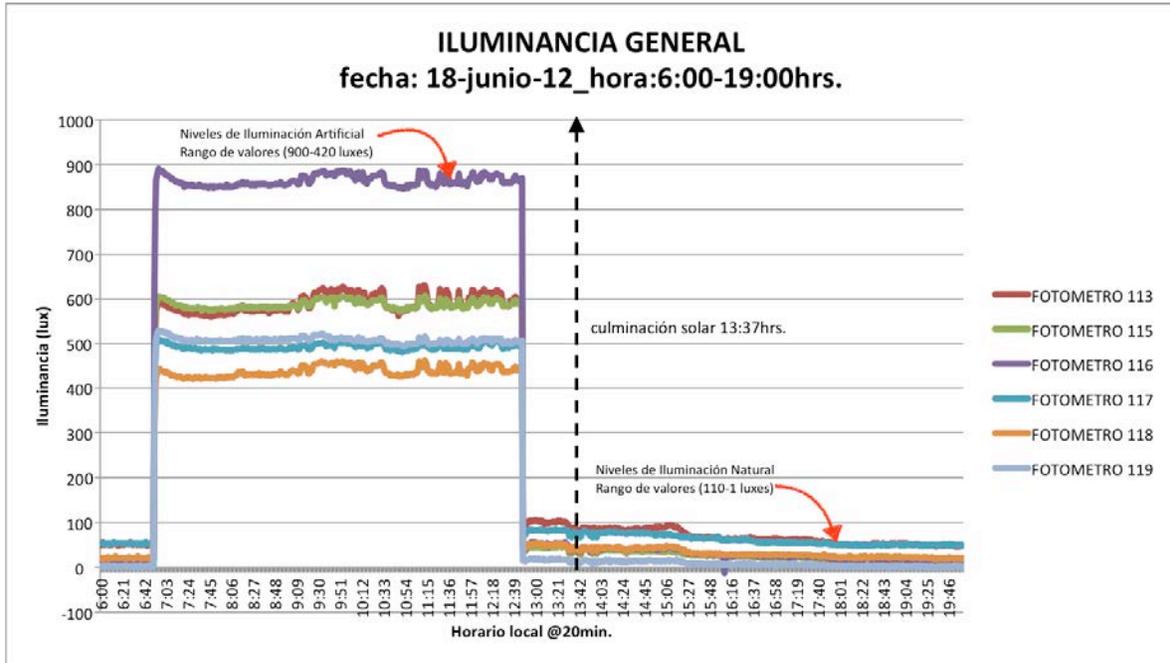


Grafica 2. Iluminancia por hora (junio 17, 2012).

Durante el monitoreo de la iluminancia por una hora (13:00-13:59hr), en el momento que ocurre la culminación solar, los parámetros máximos se mantienen entre 94 lux y 64 lux para el fotómetro 113, con una variación de hasta 30 lux durante una hora. Se desprende que en un mismo local se presentan regiones con diferentes niveles de iluminación, de acuerdo con las recomendaciones de IESNA, esos niveles de luz natural nos permiten realizar las siguientes actividades:

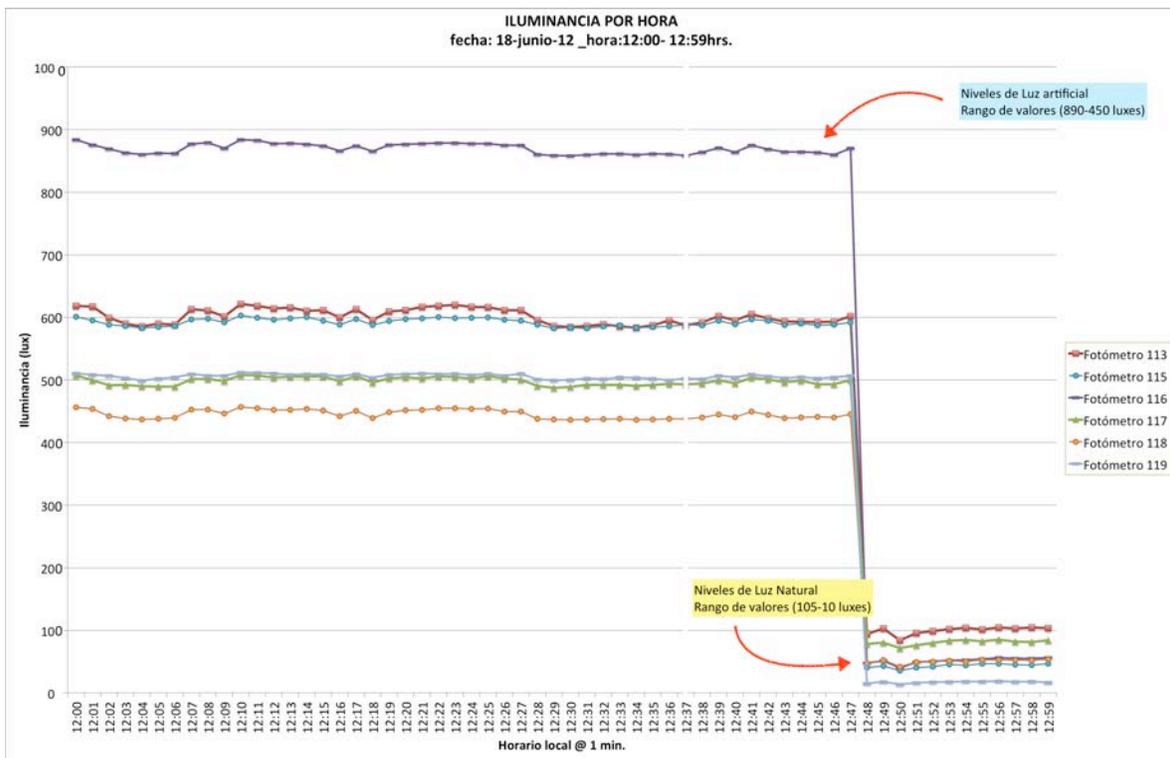
-
-
-
-

LUNES. (JUNIO 18, 2012)
 Horas de luz natural: 13h 18 m



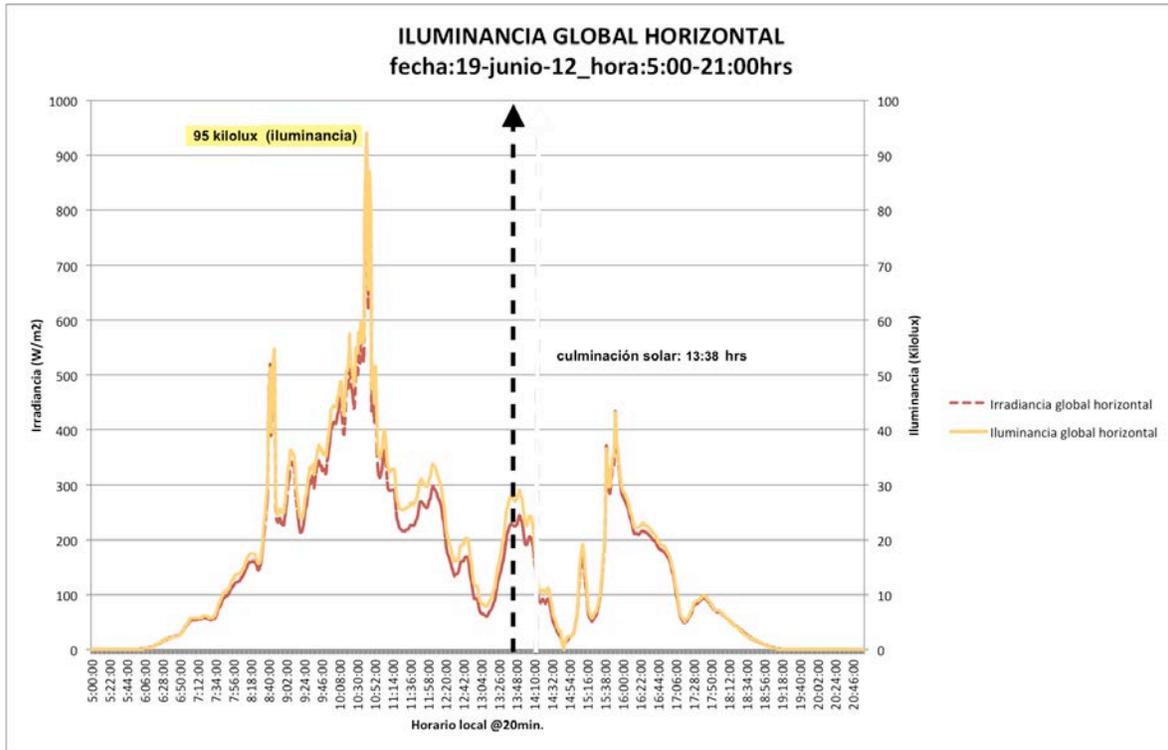
Grafica 3. Iluminancia General (junio 18, 2012).

En esta gráfica es muy perceptible el cambio de niveles entre la luz natural y la luz artificial a partir de las 12:40 hrs. de 900lux rápidamente descenden los valores hasta 110 lux, cuando apagan la luz artificial.

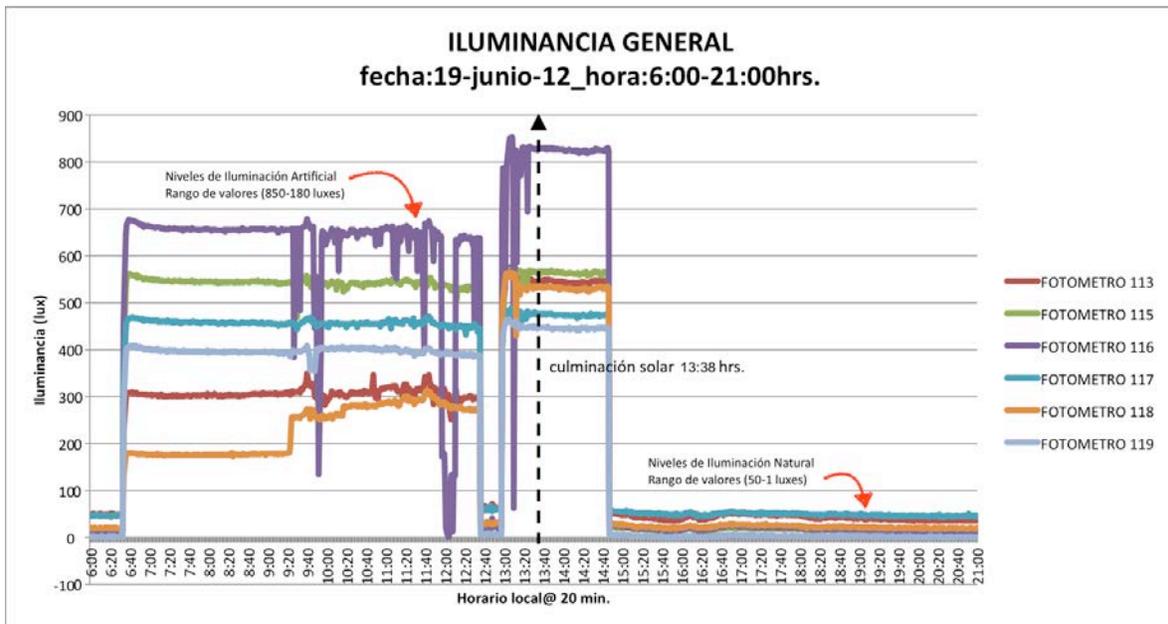


Grafica 4. Iluminancia por Hora (junio 18, 2012).

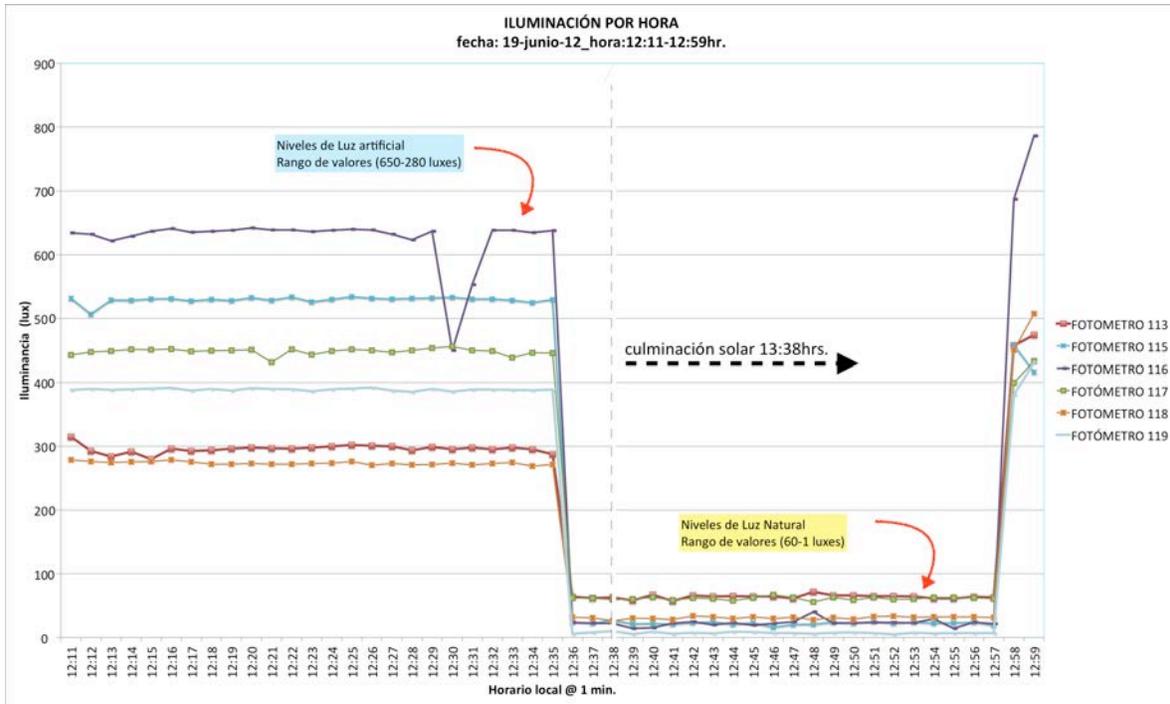
MARTES. (JUNIO 19, 2012)
 Horas de luz natural: 13h 18 m



Grafica 5. Iluminancia Global Horizontal (junio 19, 2012).

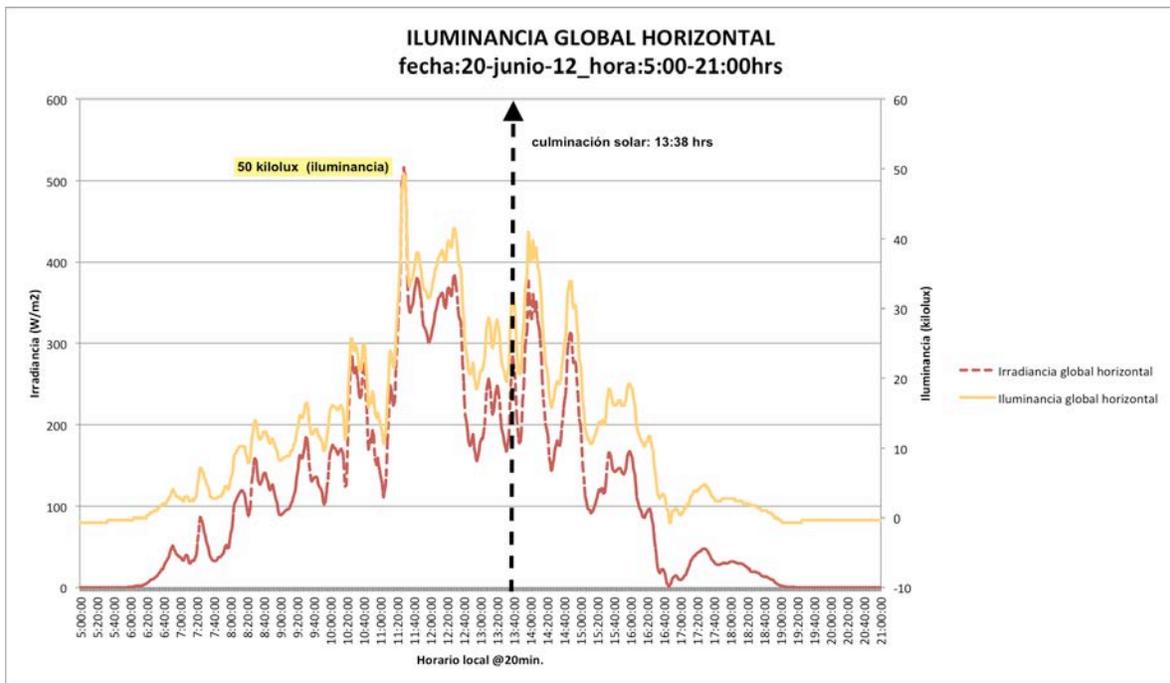


Grafica 6. Iluminancia General (junio 19, 2012).

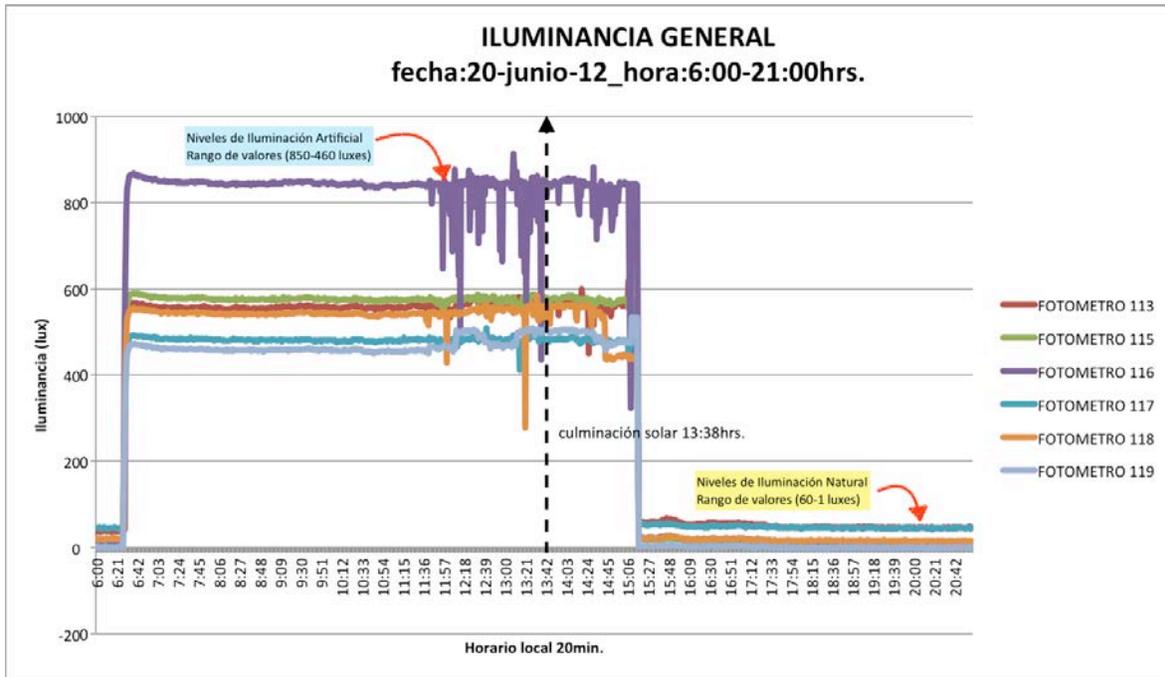


Grafica 7. Iluminancia por Hora (junio 19, 2012).

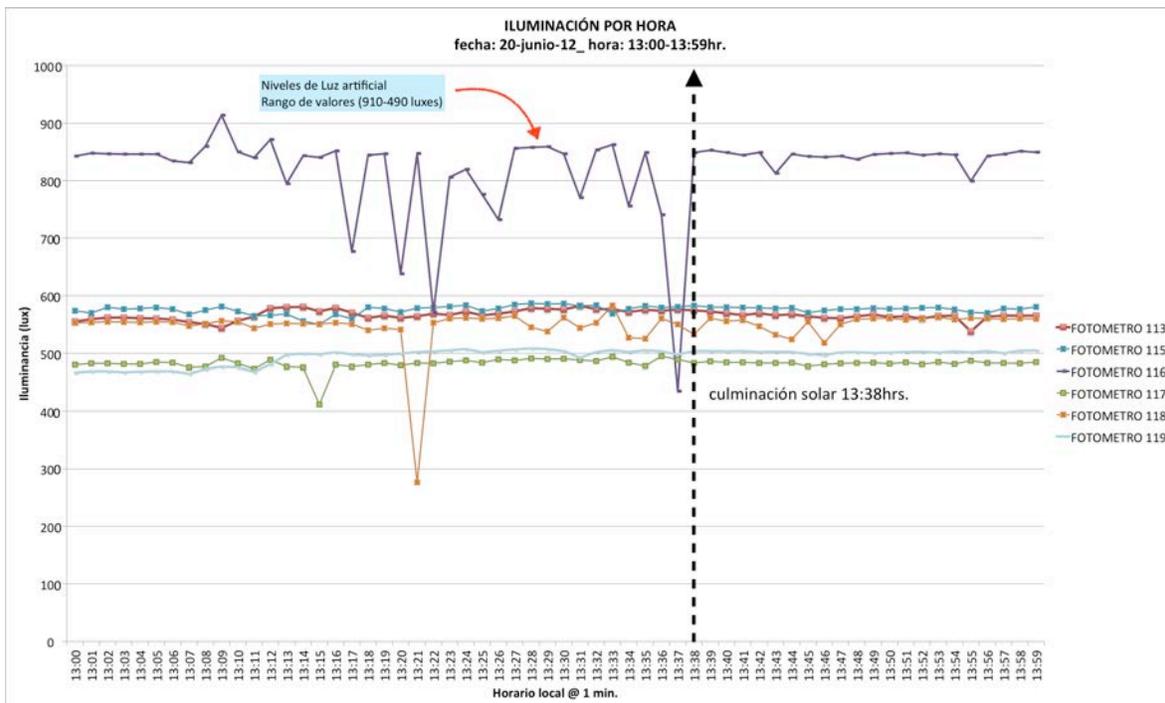
MIÉRCOLES. (JUNIO 20, 2012)
Horas de luz natural: 13h 18 m



Grafica 8. Iluminancia Global Horizontal (junio 20, 2012).

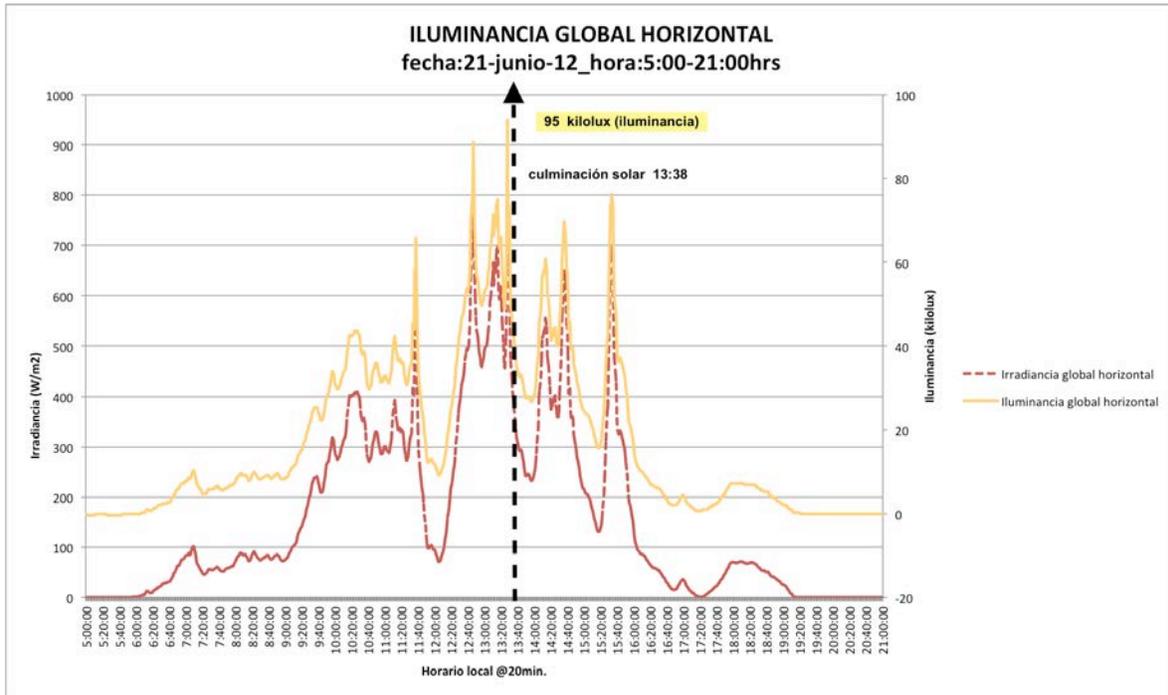


Grafica 9. Iluminancia General (junio 20, 2012).

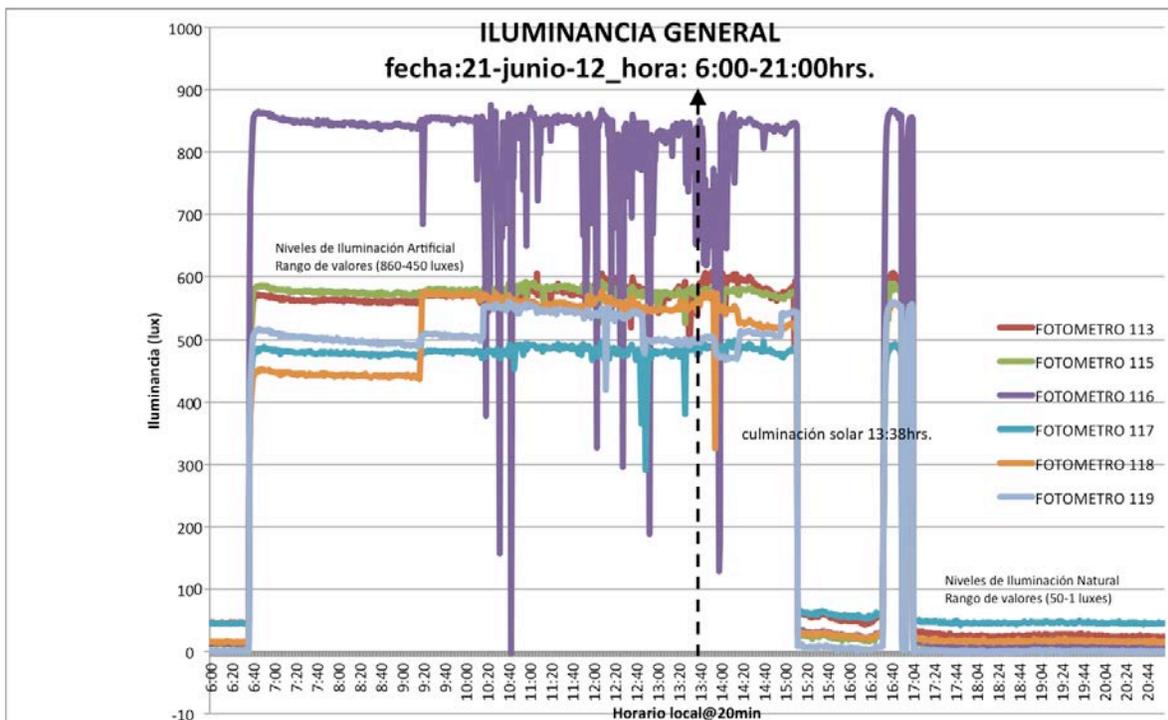


Grafica 10. Iluminancia por Hora (junio 20, 2012).

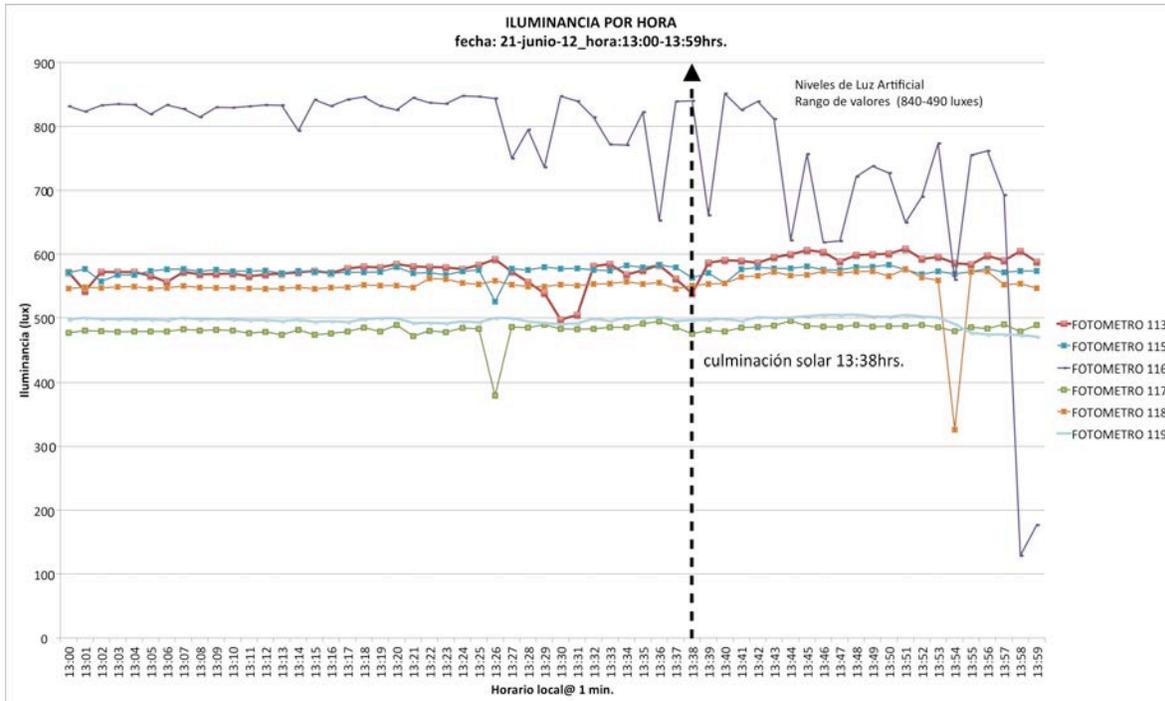
JUEVES. (JUNIO 21, 2012)
Horas de luz natural: 13h 18 m



Grafica 11. Iluminancia Global Horizontal (junio 21, 2012).

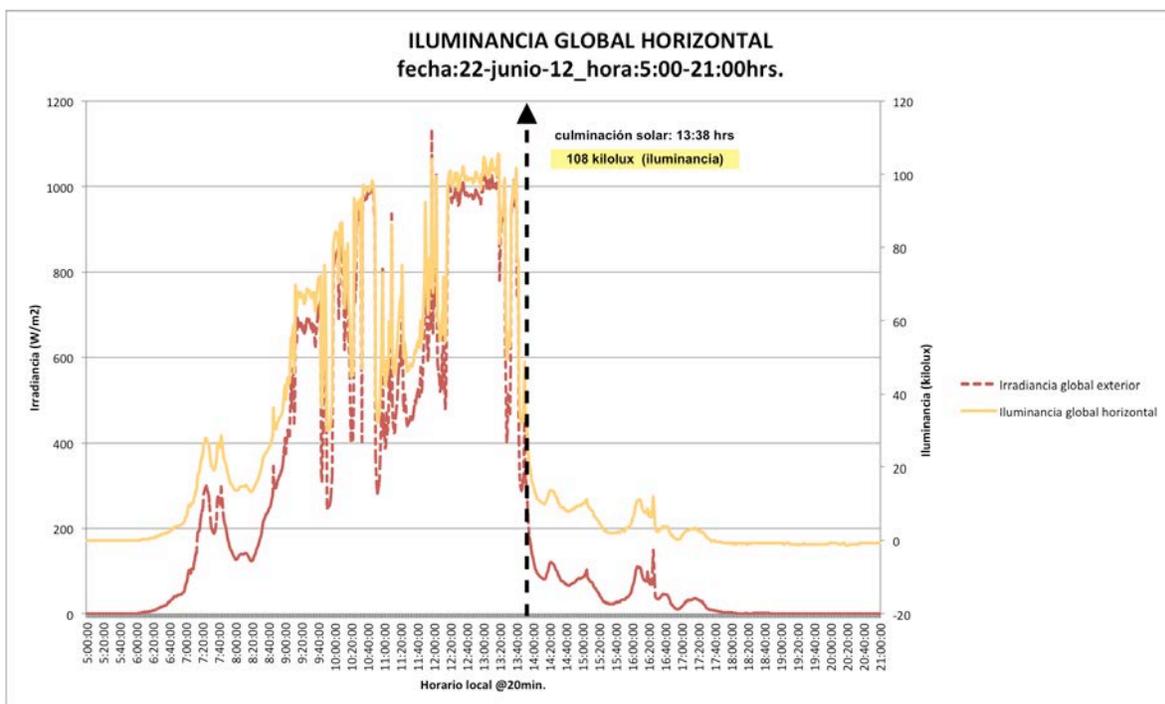


Grafica 12. Iluminancia General (junio 21, 2012).

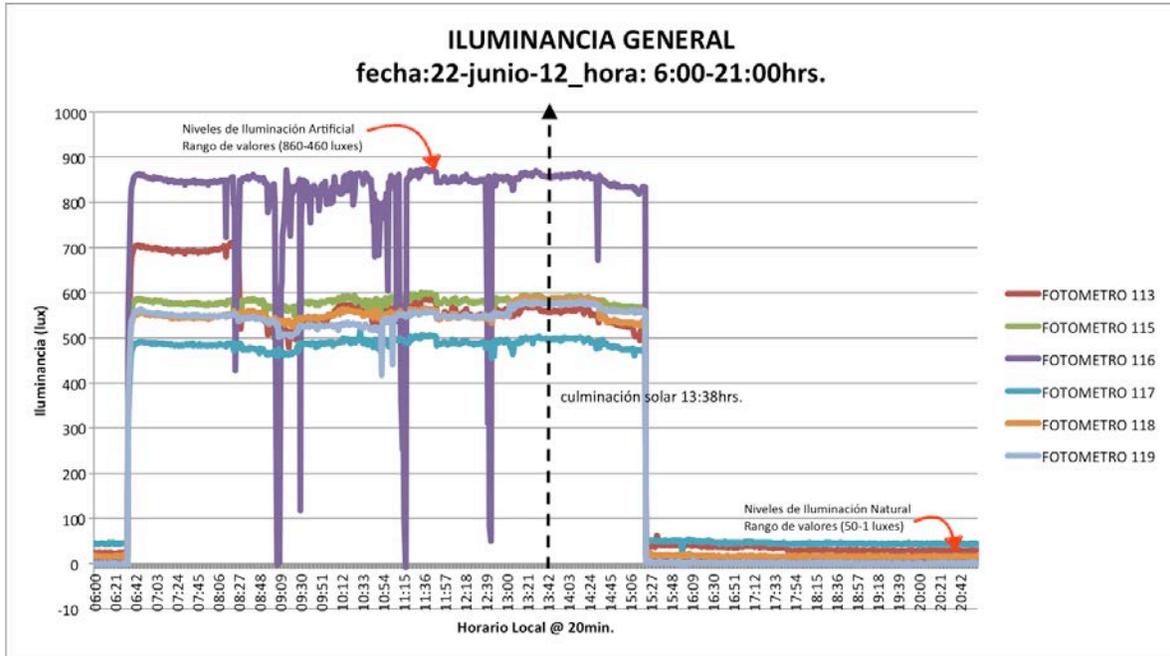


Grafica 13. Iluminancia por Hora (junio 21, 2012).

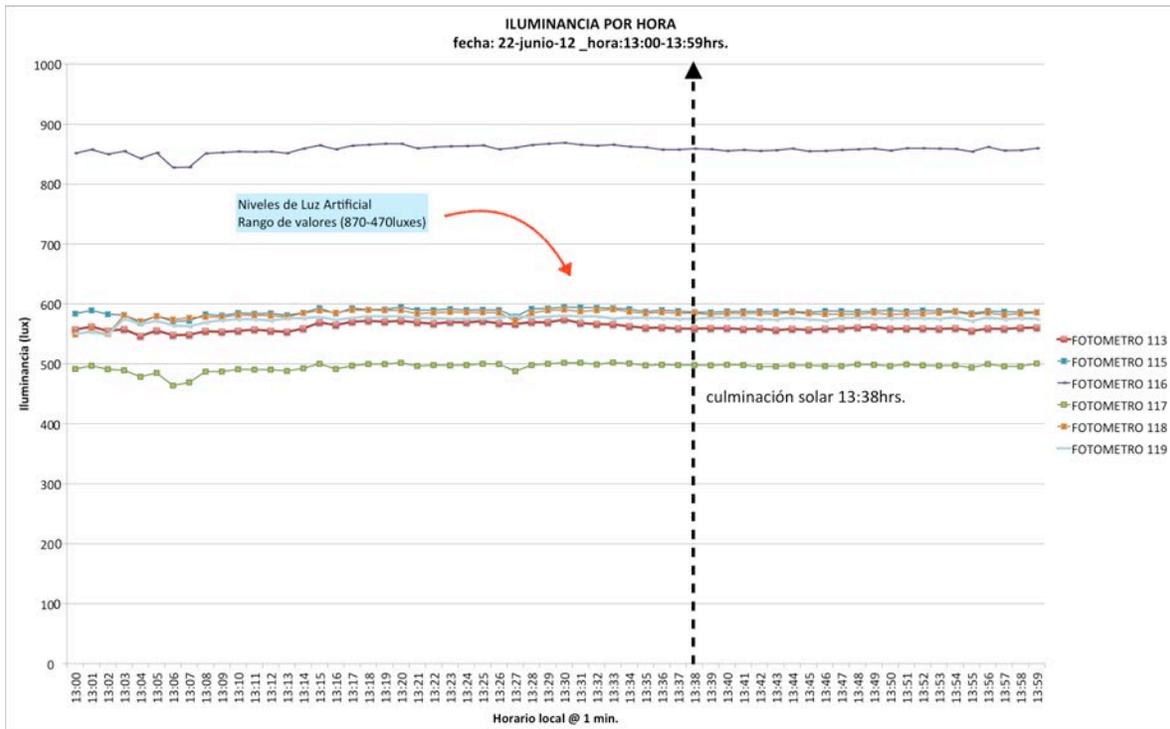
VIERNES. (JUNIO 22, 2012)
Horas de luz natural: 13h 17 m



Grafica 14. Iluminancia Global Horizontal (junio 22, 2012).

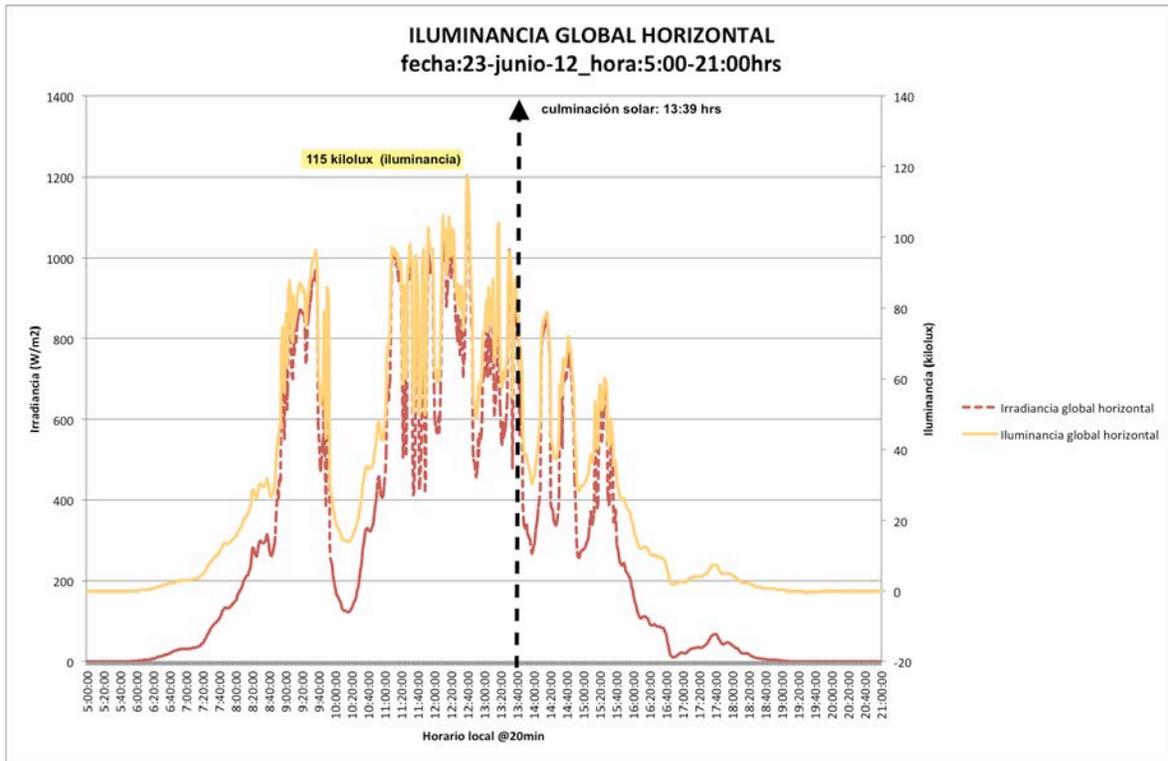


Grafica 15. Iluminancia General (junio 22, 2012).

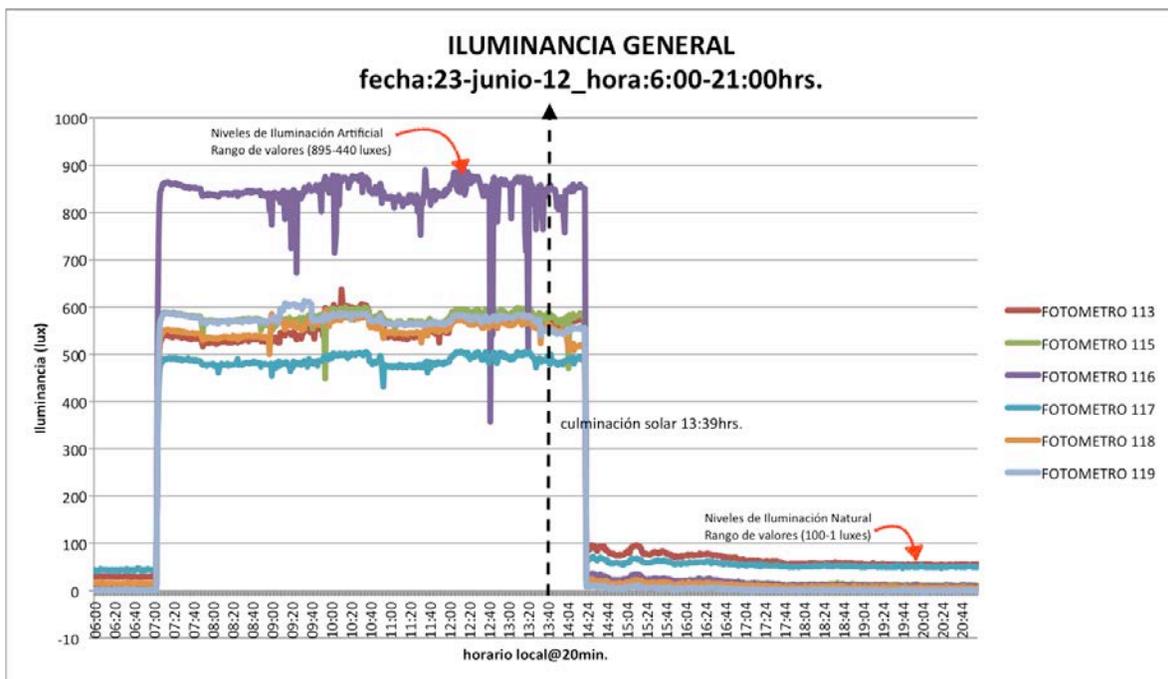


Grafica 16. Iluminancia por hora (junio 22, 2012).

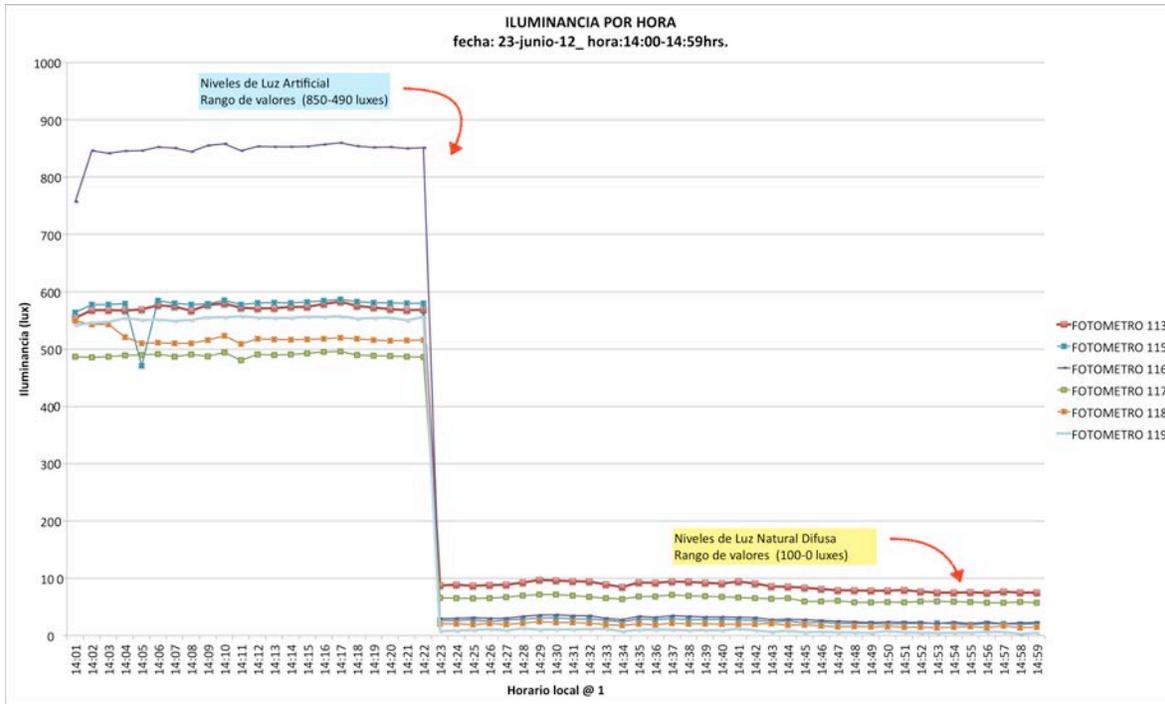
SABADO. (JUNIO 23, 2012)
 Horas de luz natural: 13h 17 m



Grafica 17. Iluminancia Global Horizontal (junio 23, 2012).

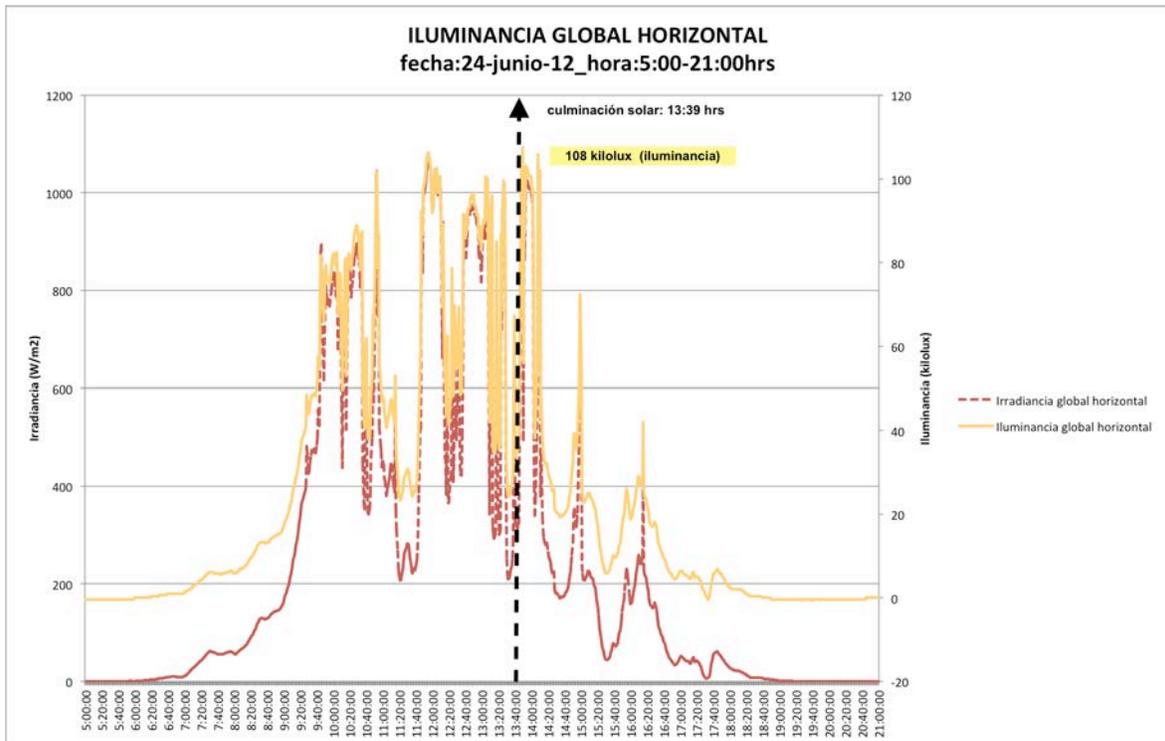


Grafica 18. Iluminancia General (junio 23, 2012).

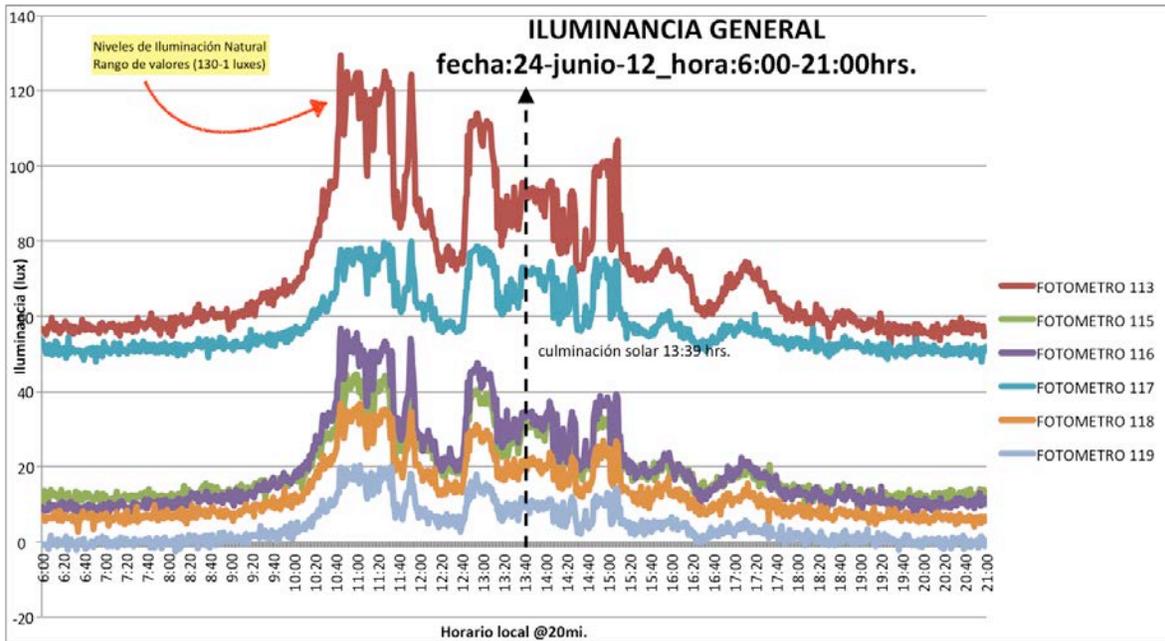


Grafica 19. Iluminancia por hora (junio 19, 2012).

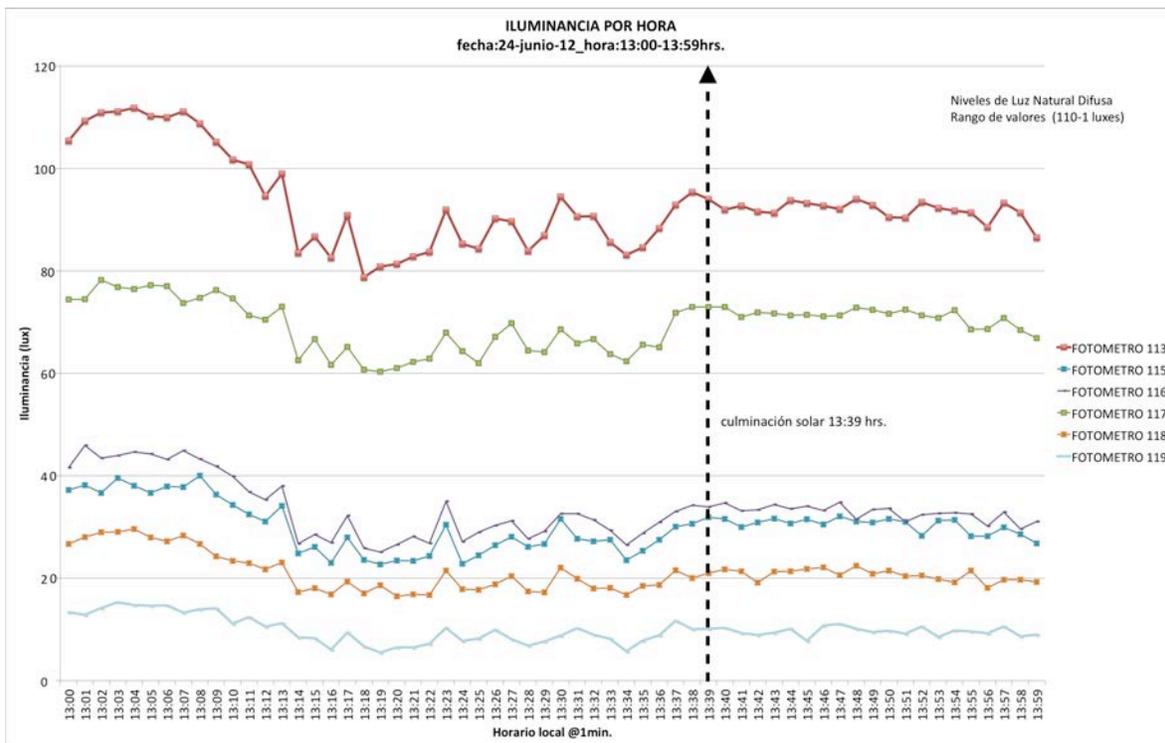
DOMINGO. (JUNIO 24, 2012)
Horas de luz natural: 13h 17 m



Grafica 20. Iluminancia Global Horizontal (junio 24, 2012)



Grafica 21. Iluminancia General (junio 24, 2012).



Grafica 22. Iluminancia por hora (junio 24, 2012).

6.3.2 DISTRIBUCIÓN DE LUZ NATURAL EN QUIROFANO 4

Puesto que los niveles registrados al interior (iluminancia difusa) corresponden solo a una mínima cantidad del recurso exterior (iluminancia global horizontal). Se exponen las relaciones y pérdidas que representa cada barrera con la cual se encuentra e interactúa la luz natural, hasta llegar al quirófano 4. Entonces se tiene que de la cantidad que se registró al exterior en la azotea esta se considera como el 100% del recurso (110 kilolux, 24 junio de 2012), es la iluminancia incidente en el contexto urbano procedente de la atmosfera, la cual viaja y penetra por los vacíos del edificio (patios, tragaluz, ventanas). Una vez que la luz se encontró con su primer obstáculo; (muro de colindancia con aplanado color gris, con una luminancia del 60% del edificio del Sindicato Mexicano de Electricistas - SME) del lado poniente, esta se refleja hacia la fachada poniente del edificio de HOL (fachada construida a base de cristales de 9mm con película reflexiva que atenúa en un 33% la iluminancia y el 70% la irradiancia al interior).

Cuando la iluminancia difusa penetró al interior con un valor aproximado de 603 luxes, ésta recorre una distancia de 1.30m hasta la segunda fachada con cristal claro de 9mm que permite el paso de luz en un 87% (reduciendo aproximadamente a 524 luxes, después llega a un pasillo con 3.40m de profundidad donde se distribuye e interactúa con los materiales de los muros, pisos y plafones (texturas, colores) transformando sus niveles de iluminación en función de las propiedades ópticas de los materiales.

Hasta este punto la luz ha recorrido 4.70m al interior del espacio y ha sufrido una disminución del 99.20% del recurso medido al exterior. Una vez que atraviesa las puertas de cristal claro del quirófano, el fotómetro 113 registró 90 luxes como máximo durante el periodo de una hora cuando ocurre la culminación solar, perdiendo 434 luxes en una distancia de 5.55m.

CONCLUSIONES

La investigación realizada en este trabajo se centró en el estudio del fenómeno de la luz natural (aspectos cuantitativos y cualitativos) y se exploró el efecto que ejercen las condiciones de iluminación presentes en el espacio arquitectónico sobre la salud de los usuarios de una sala quirúrgica, originando una serie de cuestionamientos sobre; niveles de iluminación óptimos, confort y rendimiento visual, bioseguridad en el quirófano, interacciones entre la luz artificial y la luz natural, ahorro energético al implementar luz natural en un quirófano, calidad de los espacios y servicios de atención a la salud, entre otros. De tal manera que se estructuró el desarrollo de este documento entorno a la relación que guardan con la luz natural, como un punto en que convergen todos ellos. La ganancia de calor no fue un aspecto que se evaluó en el estudio experimental realizado en HOL, debido a que se trata de otro tema igualmente extenso que involucra realizar estudios sobre aspectos térmicos que correlacionen otras variables como la iluminancia y la irradiancia.

De acuerdo al análisis realizado sobre los fundamentos científicos que abordan el cálculo y pronóstico de la luz natural sobre un espacio arquitectónico determinado y particularmente en referencia al estudio experimental que partió de poder sustituir una porción de los niveles de iluminación artificial requerida por normatividad, por iluminación natural, debido a que actualmente esto no sucede en la mayoría de los hospitales. Se llevo a cabo la medición de la iluminancia difusa en un quirófano del Hospital de la Luz (HOL) en la Ciudad de México. Las conclusiones se estructuran en dos sentidos; aspectos visuales y aspectos no-visuales, ya que de esta manera permitió abordar las referencias bibliográficas consultadas. En el aspecto visual se refiere a circunstancias visuales que si apoya el incluir luz natural a mejorar la calidad de la iluminación, así como también sobre que circunstancias no genera un aporte significativo. Y en el aspecto no-visual, sobre aportaciones que influyen en la salud de sus ocupantes.

Aspectos Visuales

Se concluye que el primer elemento que influyó de manera significativa en los niveles de iluminación registrados y su calidad son; el sitio geográfico donde se ubica el hospital, debido a las características meteorológicas que la luz proveniente del sol adquiere de la atmosfera (clima, precipitación, temperatura, radiación, contaminación) que de alguna manera determinan las condiciones de iluminación de la porción de cielo referente a esa área geográfica. El segundo elemento que influyó, es el contexto urbano-arquitectónico inmediato que rodea el Hospital de la Luz; reflejando, refractando, transmitiendo, difractando, dispensando e interfiriendo la iluminación global incidente en el contexto. Que interactuó con; la orientación principal del edificio, la configuración de las fachadas, las alturas de los edificios que a su vez establecieron los ángulos de obstrucción sobre el hospital y del quirófano en cuestión. En HOL el obstáculo principal de luz natural por la tarde es el edificio del Sindicato Nacional de Trabajadores (SNTE) de 13 niveles de altura, ubicado hacia la colindancia poniente sobre avenida insurgentes.

Se afirma que para conocer los niveles precisos de iluminación de un espacio en particular, estos deben ser forzosamente medidos por medio de instrumentos especializados (montados, operados y calibrados de acuerdo a sus manuales), ya que de esta manera se consideran todas las variables que influyen en dicho lugar en un momento determinado (fecha y hora del día). Por otro lado, también es de suma importancia el seguimiento de una metodología que asegure que los datos recabados son confiables. Por otro lado el pronóstico de los niveles de luz natural fueron estimados de acuerdo al método de la disponibilidad. Y se optó por aplicar una metodología con un criterio integral, que valora aspectos humanos como la percepción al incluir vistas exteriores y el estímulo circadiano, mediante la evaluación de 7 parámetros conceptuales relacionados al diseño de la luz natural. Sin embargo se requiere de realizar estudios integrales que abarquen aspectos como la percepción del color y las preferencias.

La calidad de la iluminación al interior del quirófano para las necesidades del equipo médico (condiciones de visibilidad, rendimiento visual y confort visual) se determinaron por la

interacción de diversas variables de las características geométricas y constructivas del espacio arquitectónico como; las dimensiones del quirófano y la proporción que guarda con respecto al vano que permite acceso de luz natural. El quirófano de HOL de forma rectangular (5.80m x 4.0m), con acceso de luz natural por los lados de menor dimensión (oriente-poniente), hacía la distribución el haz de luz de manera equilibrada en el espacio. Sin embargo, presentaba un cambio en la espectralidad de la luz más abrupto debido a la orientación. Cabe recalcar que no se midió la espectralidad de la luz por motivos de carencia de equipo especializado en la medición de parámetros como: el color, la longitud de onda y la temperatura del color (espectrómetro y colorímetro), así como la limitante de tiempo.

Como recomendación se sugiere que la orientación de un quirófano con luz natural sea norte, para que el cambio espectral percibido sea menor y el acceso se dé por dos lados opuestos del espacio, para equilibrar el haz luminoso y evitar niveles de contraste (luz y sombras) ocasionadas por el movimiento del personal. También que su ubicación se realice en el último nivel para tener acceso a iluminación cenital como en el caso de HOL o en su defecto considerar sistemas de transporte de luz natural para equilibrar el acceso de luz solo en un sentido y mantener la apertura visual.

Para dar una respuesta adecuada a una apertura visual, se requieren de soluciones técnicas y constructivas que resuelvan y contemplen todas aquellas variables presentes en el diseño de una ventana para una sala quirúrgica que cumpla con todas las especificaciones de: seguridad, control de temperatura, resistencia, color, dimensionamiento, materiales, funcionamiento y necesidades visuales de los usuarios, etc. que puede ser motivo de otra investigación.

La apertura visual o vano, aporta valor cualitativo ya que es la conexión entre el exterior y el interior que permite visualizar las condiciones exteriores (clima, movimientos, observación del transcurso del día). Su valorización esta en función de la extensión de la porción exterior que puede ser visualizada (área verde, horizonte y bóveda celeste). En este sentido el contexto es determinante por el ángulo de obstrucción y no solo limita el ingreso de luz natural. Aunque HOL solo tiene acceso a una pequeña porción de la bóveda celeste sus quirófanos son privilegiados en su diseño, con respecto a los demás hospitales que no permiten el acceso de luz natural a la unidad quirúrgica. Favorece la reducción de los niveles de estrés en el personal que labora en dicha área y aumenta la calidad lumínica del espacio interior, que se traduce en una contribución a la calidad del servicio al mejorar la experiencia del personal médico.

Los materiales que conforman los acabados del espacio (muros, plafones, pisos y puertas) fueron determinantes en la manera que se refleja y distribuye la luz presente de forma difusa, debido a que disponen de reflectancias propias con acabado mate. Incluso cada elemento que contiene el quirófano (mobiliario, equipamiento, ropa del personal médico, instrumental quirúrgico) influye en menor escala sobre los niveles de iluminación presentes. IESNA regula y sugiere las reflectancias que deben permanecer en el quirófano ya que cualquiera de estos elementos pueden llegar a ocasionar brillos y/o deslumbramiento que ocasione una pérdida de confort visual, si no se contempla el acabado mate de alguna superficie y la ubicación de las fuentes de iluminación.

En el quirófano se desempeñaron una serie de actividades¹ por parte del personal médico como; equipar, preparar, anestesiar, cortar, trasladar, limpiar, entre otras, las cuales requirieron de ciertas condiciones de iluminación para llevarse a cabo de manera apropiada. El personal médico demandó niveles altos de iluminación para satisfacer sus necesidades visuales particulares, las cuales se encontraron determinadas en función de sus preferencias, relacionadas a la manera en que el ser humano percibe el espacio; factores físicos como la iluminación y su espectralidad, que determinan la apariencia del color. Se relacionaron aspectos fisiológicos de la

¹ Retomado de las "Normas particulares de diseño". ISSSTE

visión humana (formación de imagen en la retina) y aspectos psicológicos que se forman en la mente (control percibido, atención, análisis ambiental, efectos) y el estado de ánimo, indicados en las referencias.

El estudio experimental señaló que las necesidades visuales que son apoyadas por la luz natural implementada de manera difusa en un quirófano, con condiciones similares a como se realizó en HOL complementan a la iluminación artificial presente (cuantitativamente en un 2% aproximadamente), debido a que no modifica los niveles requeridos por normatividad (hasta 500 luxes) y tampoco genera condiciones que disminuyen el confort visual (sombras, reflexiones de velo, brillos y resplandor). Incluso para realizar ciertas operaciones quirúrgicas relacionadas con la retina que requieren de apagar la luz artificial para generar condiciones de penumbra y reducir al máximo los reflejos y sombras en la curvatura de la superficie del ojo, ocasionados por las fuentes de iluminación artificial. Los niveles que proporciona el ingreso de luz natural difusa en combinación con la capacidad de compensación y adaptación de nuestro sistema visual (visión fotópica valores de más de 100,000 luxes para una iluminancia exterior, para una visión mesópica valores intermedios de 80 luxes y para una visión escotópica casi monocromática, niveles de 9 luxes) permite realizar actividades como: deambular sin tropezarse, durante horas diurnas. Se afirma que para determinar el impacto de la iluminación en el ser humano a partir de parámetros medidos como la iluminancia, también se debe de realizar la medición del color de la luz, debido a que el color tiene un impacto considerable en la percepción del espacio.

También indicó que los niveles adecuados de iluminación en el quirófano oftalmológico de HOL al momento de la cirugía son cubiertos por la iluminación propia del equipamiento médico (sistema de microscopio OPMI® Vario – Carl Zeiss, sistema de visión Infiniti® con monitor, sistema de visión Constellation®, equipo de grabación-cámara, equipo de reproducción de imagen + monitor HD) de manera que solo se utiliza la iluminación artificial generalizada que se encuentra en la sala, más el aporte cuantitativo de la luz natural difusa (120 luxes como máximo).

Este quirófano no requiere de lámpara quirúrgica por tratarse de cirugías oftalmológicas en su mayoría son ambulatorias. Aunque por normatividad ésta se encuentra indicada, hace muy necesario la revisión del aparato normativo del Sistema Nacional de Salud que sustente con datos confiables las normas que se aprueban y se revisen a profundidad los lineamientos que actualmente se están solicitando y bajo que fundamento científico se definieron. Principalmente es necesaria una homologación entre los lineamientos expuestos en las Normas Oficiales Mexicanas (NOM), las Normas Mexicanas (NMX) y demás organismos públicos (IMSS, ISSSTE, SEDENA, PEMEX) en materia de iluminación.

En referencia al ahorro energético, la incorporación de luz natural a un quirófano representó un ahorro al gasto de energía generalizada de la iluminación de la unidad quirúrgica sin que implicara un cambio en el equipamiento actual. Incluso en quirófanos con condiciones similares a las que guarda HOL no requieren de una lámpara quirúrgica, lo que significa un ahorro en el gasto de equipamiento médico, brindando una flexibilidad adicional al espacio, respecto a un quirófano tradicional donde la lámpara quirúrgica determina la posición del demás equipamiento médico.

Por otro lado, el estudio también concluyó que los niveles de luz natural registrados en HOL no son suficientes para cubrir las necesidades lumínico-visuales como primera fuente de iluminación, de acuerdo a los lineamientos, limitantes normativas y a las preferencias particulares del personal médico (aspectos físicos, simbólicos, experiencias, entre otros), quienes por formación profesional tienden a utilizar habitualmente altos niveles de iluminación artificial.

La implementación de Luz natural tampoco representa un ahorro significativo en el consumo energético, debido a que el quirófano es considerado como el lugar más seguro en términos de bioseguridad del hospital, tanto en situaciones de emergencia como en lo cotidiano, esta área no se puede quedar sin suministro eléctrico, incluso la normatividad actual exige contar

con una lámpara quirúrgica de emergencia.

Se concluye que el ahorro energético significativo del quirófano se encuentra determinado por; el equipamiento médico con que se cuenta, la instalación de acondicionamiento de aire, los sistemas de bombeo, tratamiento para el aislamiento que evite la ganancia de calor en la envolvente y demás instalaciones especiales que requiere un hospital. Para que la unidad quirúrgica disminuya su consumo energético debe contar con equipos más eficientes energéticamente, los cuales tienden a ser remplazados en función de; el avance tecnológico, la flexibilidad del espacio para recibir nuevos equipos, la capacidad de la instalación eléctrica, dimensiones del espacio, personal capacitado que lo opere adecuadamente y la manera en que el hospital obtiene sus recursos económicos enfocados a este rubro. Un hospital demanda un alto consumo de energía eléctrica que requiere de una auditoría energética periódica, para identificar los rubros donde se puede hacer más eficiente el consumo energético. La implementación de luz natural en otros espacios de un hospital que no requieren niveles de iluminación tan precisos como los quirófanos puede significar un ahorro importante en la iluminación artificial. Incluso en rubros como las oficinas, vivienda, centros comerciales pueden representar un ahorro significativo en el consumo de energía.

Aspectos No-Visuales

Por otro lado, esta investigación se enfocó en relacionar aspectos que no son perceptibles a través de nuestros ojos mediante una formación de imagen en el cerebro. Se trata de cuestiones fisiológicas y psicológicas que se desencadenan al estar en contacto con la luz natural, determinadas con base en las referencias consultadas de las cuales se abstraerá que; la luz natural es el elemento sincronizador principal del sistema circadiano (SC) en el ser humano. Permitiendo la secreción y supresión de hormonas y sustancias que regulan las respuestas neuro-endocrinas, neuro-conductuales y múltiples respuestas fisiológicas en el cuerpo humano como: ciclo sueño-vigilia, estado de alerta, absorción de la vitamina D encargada de regular los niveles normales de calcio y fósforo en el cuerpo, principalmente. En personas mayores a los 65 años de edad, la absorción de la vitamina D disminuye cuatro veces, respecto a las personas jóvenes entre 20-30 años. También existe la correlación entre la supresión de la melatonina y la aparición de cáncer debido a la supresión de ésta. Por lo tanto es importante estimular al personal que labora en un quirófano, ya que cuando se encuentran en espacios completamente cerrados por un tiempo prolongado, esto no se favorece.

Los resultados extrapolados de experimentos realizados en espacios de trabajo en función del estímulo luminoso (cantidad, espectro, distribución espacial, hora del día y duración) se aplican a un quirófano desde la perspectiva de un espacio de trabajo. Se concluye que el quirófano de HOL proporciona un estímulo al sistema circadiano de su personal médico al permitir el acceso de luz natural difusa por medio de dos orientaciones (oriente /cenital-poniente/lateral) durante una jornada de trabajo (7:00am-4:00pm), así como percibir la variabilidad espectral de la luz natural que cambia a lo largo del día, estimulando los foto-receptores y foto-pigmentos presentes en el sistema visual encargados de activar al SC, al favorecer el estímulo circadiano paralelamente se favorece la salud de sus ocupantes. Estudios para determinar donde es máximamente sensible el impacto de la onda corta sobre el SC son indispensables.

Otro aspecto fundamental que aporta la luz solar se trata de las propiedades germicidas que posee contra bacterias presentes en el ambiente, por medio de la acción de la UV-C (onda corta de 100-290nm) parte del espectro de la luz solar, actúa rompiendo los enlaces moleculares, produciendo daño celular en los microorganismos. Sin embargo, para el nivel de bioseguridad que exige un quirófano la aplicación de la luz solar como agente germicida no es suficiente. Este aspecto debe ser aplicado en; salas de espera en hospitales, salas de hemodiálisis, de quimioterapia y reforzar a los sistemas de control de infecciones hospitalarias.

Así es como este trabajo demostró que la implementación de luz natural en un quirófano de acuerdo a las condicionantes aquí expuestas favorece la calidad lumínica del espacio arquitectónico; en aspectos visuales y no-visuales. La iluminación artificial no compensa su carencia de una manera mas eficiente.

Es importante mencionar que la implementación de la luz natural exitosa esta en función del conocimiento de las variables y su interacción que influyen en: el calculo, medición, pronostico y diseño. Debido a que un manejo de luz natural que no considere como mínimo los aspectos señalados en esta investigación favorecería la aparición de brillos, deslumbramientos y situaciones de desconfort, así como no cumplir tanto con la normatividad vigente aplicable, ni con las necesidades que el equipo médico requiere (equipamiento y personal).

El acceso a la luz natural en los espacios para la salud es fundamental para favorecer la salud de sus ocupantes y potencializar el tratamiento médico de los pacientes. Es esencial realizar investigaciones puntuales sobre las condiciones de iluminación presentes en otras áreas que conforman un hospital como: salas de quimioterapia, cuartos de hospitalización, salas de diálisis y hemodiálisis, principalmente aquellas áreas que en función de su frecuencia de uso requieran hacer más eficiente las condiciones del espacio arquitectónico. Con la finalidad de que los nuevos complejos hospitalarios que se construyan en nuestro país consideren criterios sustentables más completos, enfocados a nuestras necesidades poblacionales y ubicación geográfica particular.

GLOSARIO

GLOSARIO

- **Acabados.** Son los diversos materiales visibles que conforman y/o recubren las superficies finales del espacio (piso, plafón y muros) y desempeñan un papel importante de la percepción del espacio interior. En la envolvente exterior, los acabados responden a la imagen exterior que se desea comunicar y a factores climáticos principalmente.
- **Acomodación.** Es la acción de acomodar y se aplica al movimiento que realiza el ojo para poder mantener el enfoque de la imagen, al variar la distancia o la luz (RAE).
- **Actividad.** Es el conjunto de trabajos, acciones o labores con un fin determinado por una persona o profesión. IESNA lo define como “*task*”, tarea.
- **Actividad visual.** Se trata específicamente de la acción visual al realizar un trabajo o labor como; leer un libro, realizar una cirugía, manejar un vehículo, tomar una fotografía.
- **Adaptación.** Es un proceso que realiza el ojo para acomodarse a los cambios presentes en el ambiente visual.
- **Análisis.** Examen detallado de un fenómeno para conocer sus características, cualidades y estado con la finalidad de extraer conclusiones.
- **Bastones.** Estructura anatómica que se encuentra en la retina del ojo (fotorreceptor) de forma esbelta y alargada, mayormente sensibles a la visión de baja luminosidad y monocromática (visión escotópica).
- **Biofilia.** *Biophilia.* De acuerdo con la teoría de E.O. Wilson es la afinidad innata y genética del ser humano determinada hacia el mundo natural de manera real o representativa.
- **Calidad lumínica.** Es la iluminación que abarca el principio de equilibrio entre las necesidades humanas, la arquitectura, la economía y medio ambiente indicado por IESNA, que se retoma para esta tesis con un enfoque de favorecer principalmente la salud del ser humano al incorporar luz natural al espacio arquitectónico como fuente principal de iluminación y /o complemento de la iluminación artificial.
- **CIE.** *Commission Internationale de l'Éclairage* / Comisión Internacional de Iluminación
- **Cinestesia.** Conjunto de sensaciones de origen muscular o articular que informan acerca de la posición de las diferentes partes del propio cuerpo en el espacio. En el cuerpo humano se estiman millones de sensores de posición y movimiento que envían la información al cerebro por medio del sistema vestibular.
- **Cirugía.** Parte de la medicina que se ocupa de curar las enfermedades, malformaciones, traumatismos, afecciones mediante operaciones manuales o instrumentales como: c. Estética, c. Mayor, c. Menor, c. Plástica, c. Robótica
- **Color.** Impresión que producen en la retina los rayos de luz reflejados y absorbidos por un cuerpo, según la longitud de onda, definición basada en la discriminación más que en la apariencia. Sin embargo, la igualación del color y la discriminación no dependen de la apariencia pero son fundamentales para determinar los límites del sistema visual.
- **Colorimetría.** Sistema de medición y especificación que describe el estímulo luminoso, reduciendo el amplio espectro de la luz definido en términos radiométricos. Basado en el observador estándar de CIE.
- **Confort.** Condiciones físicas (lumínico, acústico, térmico, mental) del espacio que

propician tranquilidad, satisfacción, permitiendo la estancia en el lugar y la realización de las actividades.

- **Confort visual.** El grado en que las condiciones de iluminación predisponen favorablemente a las personas para realizar la actividad.
- **Conos.** Estructuras anatómicas cónicas que se encuentran en la retina del ojo (fotorreceptor), proporcionan la visión en color y mayormente sensibles a condiciones de luminosidad muy altas.
- **Constante solar.** Cantidad de energía radiante que incide en una superficie perpendicular a los rayos solares por unidad de área (1m²) en una unidad de tiempo (1seg) a una distancia media tierra-sol fuera de la atmósfera terrestre.
- **Contraste.** Diferencia de intensidad de iluminación en la gama de blancos y negros o en la de colores de una imagen, la habilidad de su detección es una propiedad fundamental del sistema visual.
- **Córnea.** Membrana transparente en forma de disco abombado que constituye la parte anterior del globo ocular y se halla delante del iris.
- **Daylight.** Luz Natural. (sunlight + skylight).
- **Daylight availability.** "Disponibilidad de luz natural". Se refiere a la cantidad de luz natural proveniente del sol y el cielo incidente sobre una localización determinada en un tiempo, hora específicas bajo condiciones de cielo dadas.
- **Dinamismo.** Calidad de las personas o actividades con movimiento, prontitud y constante transformación.
- **Efectos no-visuales.** Se trata de los efectos (psicológicos y fisiológicos) imperceptibles a la vista, propiciados por la exposición a la luz natural como: el estado de alerta,

cambio de fase en el sistema circadiano, entre otros.

- **Efectos visuales.** Se relacionan con lo perceptible a la vista (formación de imagen retiniana) en el ser humano a la causados por la luz natural.
- **Eficacia.** Capacidad de producir o lograr el efecto deseado o esperado.
- **Eficacia luminosa.** Ilum. Art. Relación del flujo luminoso total emitido por las fuentes entre la potencia total consumida por el sistema, expresada en lumen por watt (lm/W). (NOM-030-ENER-2012). Ilum. Nat.
- **Eficiencia.** Capacidad de cumplir o realizar adecuadamente una función.
- **Eficiencia energética.** Según la norma NOM-007-ENER-1995. Se trata de obtener el máximo rendimiento de la energía consumida, a través del establecimiento de valores límite de la DPEA sin menoscabo del confort psicofisiológico de sus ocupantes.
- **Espacio para la salud.**
- **Estimulo circadiano.** *Circadian Stimulus.* Describe el estímulo fótico efectivo del sistema circadiano medido por la supresión de melatonina por la noche.
- **Especialidad médica.**
- **Espectro electromagnético.** Energía radiante En principio para conocer las relaciones que se establecen entre el fenómeno de la luz, las actividades que realiza el hombre y la arquitectura, el siguiente capítulo aborda los fundamentos científicos de la luz como un fenómeno físico. Por tanto, requiere ser explicado como un aspecto mensurable como en otras áreas de las ciencias que obedecen leyes matemáticas y físicas.

- **Especular.** Dicho de dos cosas simétricas que guardan la misma relación que la que tiene un objeto con su imagen en un espejo. En iluminación el ángulo con el que incide un rayo de luz en una superficie es el mismo con el que se refleja.
- **Estrategia.** Serie de acciones muy meditadas, encaminadas hacia un fin determinado.
- **Evaluación.** Atribución o determinación del valor de algo o alguien.
- **Exposición a la luz.** Colocarse de tal manera que reciba la acción directa de la luz.
- **Fenómeno.** Manifestación de una actividad que se produce en la naturaleza y se percibe a través de los sentidos.
- **Fisiológico.** Relacionado con la fisiología. Conjunto de propiedades y funciones de los órganos y tejidos de los seres vivos.
- **Flujo luminoso.** Es la cantidad del efecto de luz total emitida por una fuente luminosa en todas direcciones, se mide en lúmenes (lm).
- **Flujo radiante.** Es la cantidad de energía emitida por unidad de tiempo, medido en Watt (W) y es la medida fundamental de la radiación electromagnética por una fuente.
- **Fotometría.** Parte de la óptica que trata de las leyes relativas a la intensidad de la luz y de los métodos para medirla.
- **Fotosíntesis.** Proceso químico que tiene lugar en las plantas con clorofila y permite por medio de la energía de la luz, transformar un sustrato inorgánico en materia orgánica rica en energía.
- **Fóvea.** Pequeña depresión situada en el centro de la mácula lútea, donde se alcanza la mayor agudeza visual.
- **Fundación.** Sociedad u organización cuyos miembros se dedican a obras sociales, culturales o humanitarias sin finalidad.
- **Fundamentos.** Principio u origen en que se asienta una cosa.
- **Ganancia de calor.** Cuando se almacena
- **Hospital.** Establecimiento destinado a proporcionar todo tipo de asistencia médica, incluidas las operaciones quirúrgicas y estancia durante la recuperación o tratamiento, en el que también se practica la investigación y enseñanza médica.
- **IESNA.** Illuminating Engineering Society of North America – Sociedad Norteamericana de Ingeniería en Iluminación
- **Iluminación artificial.** Acción de iluminar por medio de fuentes luminosas artificiales (incandescentes y luminiscentes).
- **Iluminación Cenital.** Relacionado con la iluminación natural que proviene del cenit o un punto del círculo celeste, por medio de; domos, tragaluz, claraboya.
- **Iluminación Circadiana.** *Circadian light.* Es la irradiancia espectralmente ponderada para el Sistema Circadiano Humano, es un término comparable a la iluminancia que es la irradiancia ponderada para el Sistema Visual Humano.
- **Iluminancia.** Es el flujo luminoso por unidad de área en una superficie, se mide en lux (lx) que equivale a lm/m^2 , se realiza en planos horizontal conocido como plano de trabajo y planos verticales como fachadas

- **Incandescentes.** Que adquiere un color rojo o blanco por haber sido sometido a altas temperaturas, especialmente el carbón y los metales. Las fuentes de iluminación artificial incandescentes generan calor, debido a que la producción de luz esta en función de la temperatura del filamento.

- **Intensidad Luminosa. (I)** Se utiliza para describir la distribución de luz proveniente de una fuente luminosa, se deriva de la intensidad de la radiación.

- **Luminancia. (L)** Es la intensidad luminosa emitida por una fuente o superficie en dirección del observador, dividida por la unidad de área proyectada, su unidad es la candela por metro cuadrado (cd/m²).

- **Luminiscentes.** Que posee luminiscencia, propiedad que tienen ciertos cuerpos de emitir luz tras haber absorbido energía (radiación) sin elevar su temperatura.

- **Luz.** Energía radiante correspondiente a la región visible del espectro electromagnético, capaz de excitar la retina humana y crear la sensación visual (IESNA,00). Sin embargo, se cita a Mark Rea quien sostiene que el término de luz no puede ser aplicado en el sentido estricto de la palabra solo como un estímulo de la región visible, tratándose de una respuesta del sistema biológico más extensa que abarca el sistema circadiano.

...“Strictly speaking then, light cannot be used synonymously with optical radiation capable of producing a non-visual, circadian response in humans or with optical radiation producing a visual response in another species. Nevertheless, in the vernacular, light is used as a term to describe optical radiation with a spectral power distribution anywhere within the “visible region” of the electromagnetic spectrum (approximately 380 nm to 730 nm), irrespective of its biological consequences. Moreover, the term light is always used, with or without strict regard for its ability to stimulate human vision, as a noun to describe the stimulus to rather than the response from a biological system. This is an important point because light is circularly defined; light as a stimulus to the human visual system was derived from responses by the human visual system. Thus, any formal definition of circadian light as a

stimulus to the circadian system must also be dependent on the measured response from the circadian system”...

- **Luz difusa.** Se refiere a la luz difundida y reflejada sin la componente directa, su principal característica es que se trata de niveles más bajos de iluminación que la luz directa, minimizando las sobras con alto contraste, brillos y deslumbramientos.

- **Luz natural.** Es ocasionada por fenómenos naturales como;

Luz del sol (sunlight). Que es energía radiante con temperatura de color de aproximadamente 6500 kelvin la cual llega desde el sol hasta el tope de la atmosfera con un rango de radiación cerca de 1350 W/m². La iluminancia sobre la superficie de la tierra probablemente supera los 100 kiloxules (klx) y en días nublados la iluminancia disminuye hasta menos de 10 kiloxules (klx).

Luz del cielo (skylight). Una cantidad considerable de luz es dispersada por la atmosfera de la tierra y a su vez determina el color azul de un cielo despejado, la apariencia rojiza de un atardecer, el color blanco de las nubes son ejemplos de dispersión de la luz por las partículas de vapor de agua en el ambiente.

Luz de luna (moonlight). La luna brilla por si misma debido a la reflexión de la luz del sol sobre ella. Con una luminancia cerca de 2500 cd/m². Con un color correlacionado de aproximadamente 4100 k, sin embargo, varia drásticamente dependiendo del material suspendido en la atmosfera.

Relámpago (Lightning). Los relámpagos son fenómenos meteorológicos que surgen en la formación de nubes por la acumulación de enormes cargas eléctricas, generalmente positivas que se liberan repentinamente en una descarga de chispas.

Aurora Boreal y Austral (*Aurora Borealis and Australis*). Conocidas como luces del norte y sur que aparecen en latitudes polares, bandas de luz verdosa causadas por corrientes de electrones en espiral en la atmosfera.

Bioluminiscencia (*Bioluminescence*). Producción de luz de ciertos organismos (bacterias, hongos, gusanos, moluscos, crustáceos, insectos, peces, etc.) como consecuencia de una reacción química (entre la luciferina y la luciferasa) donde se transforma energía química en energía lumínica.

- **Mácula.** Pigmento macular considerado el ultimo filtro integrado a la retina, el cual absorbe 400nm-550nm mayormente 458nm de longitud de onda. Este pigmento se obtienen de la dieta y se transporta a la retina. Se relaciona con la degeneración macular.
- **Melanina.** Pigmento oscuro que se encuentra presente en algunas celular del cuerpo de mamíferos, produciendo la coloración de la piel, pelo, ojos y a su vez protege de la radiación solar (*Diccionario VOX*).
- **Melatonina.** Conocida como la hormona “del sueño” que segrega la Glándula Pineal en la oscuridad de la noche y se relaciona con múltiples funciones fisiológicas del cuerpo (*Diccionario VOX*).
- **Modelo.** Es un esquema teórico que representa una realidad compleja o un proceso complicado y sirve para facilitar su comprensión (*Diccionario VOX*).
- **Monitoreo.** Controlar el desarrollo de una acción o un suceso a través de monitores, sensores o equipo (*Diccionario VOX*).
- **Oftalmología.** Parte de la medicina que estudia el ojo y se ocupa de sus enfermedades (*Diccionario VOX*).
- **Ojo.** Órgano de la visión en el ser humano se presenta en par y se sitúa en la parte anterior de la cabeza (*Diccionario VOX*).
- **OLIM.** Observatorio y Laboratorio de Interacción con el Medio. Pertenece al Posgrado de Arquitectura en el campo de conocimiento de Tecnología.
- **Parámetros.** Elemento o dato importante desde el que se examina un tema, cuestión o asunto (variable) (*Diccionario VOX*).
- **Percepción.** Primer conocimiento de una cosa por medio de las impresiones que comunican los sentidos (*Diccionario VOX*).
- **Procesamiento.** Es la acción de someter una cosa a una transformación ejecutando acciones sobre el (*Diccionario VOX*).
- **Psicológico.** Relacionado con la manera de sentir, de pensar y de comportarse de una persona o colectividad (*Diccionario VOX*).
- **Quirófano.** Sala de un hospital, ubicada en la unidad o bloque quirúrgico, acondicionada especialmente con instalaciones especiales y equipamiento médico para realizar operaciones quirúrgicas.
- **Rendimiento del ser humano.** Capacidad que tiene una cosa de servir o de ser aprovechada para un fin determinado que se relaciona con lo que cuesta, gasta, invierte, trabajo o esfuerzo de una persona.
- **Rendimiento visual (RV).** Se relaciona con la capacidad visual y su cuantificación depende del análisis de factores como: la tarea y la función visual implicada en términos de velocidad de ejecución, errores, exactitud. Uno de los factores que reducen el RV es la iluminación. Una prueba que se aplica es la de los Anillos de Landot, variando la iluminación, contraste y tamaño.

- **Requerimiento.** Petición de una cosa que se considera necesaria, especialmente por parte de la autoridad (*Diccionario VOX*).
- **Retina.** Membrana interior del ojo en la cual se reciben las impresiones luminosas que son transmitidas al cerebro; cubre desde la coroides hasta el iris y esta formada esencialmente por expansiones del nervio óptico (*Diccionario VOX*).
- **Sensación.** Impresión que los estímulos externos producen en la conciencia y que es recogida por medio de alguno de los sentidos (*Diccionario VOX*).
- **Sensibilidad espectral.** Es la capacidad de respuesta de los foto-receptores al estímulo luminoso al percibir las ondas electromagnéticas según su frecuencia.
- **Sentidos.** Facultad por la cual el cuerpo percibe un estímulo externo (olfato, gusto, tacto, vista, oído y cinestesia).
- **Sistema Munsell.** Sistema de clasificación de colores de acuerdo a su tono, saturación y brillo.
- **Temperatura de color.** En
- **Temporalidad.** Cualidad de lo que es temporal o tiene una duración determinada y limitada.
- **Transición.** Paso o cambio de un estado a otro.
- **UV-A.** Radiación Ultravioleta
- **Variabilidad.** Condiciones cambiantes del clima.
- **Vistas.** Escenas que se ofrecen dentro del ambiente visual de un espacio arquitectónico, principalmente se refiere a; áreas verdes, horizonte visual del contexto urbano-arquitectónico y bóveda celeste.
- **WMO.** World Meteorological Organization – Organización Mundial Meteorológica.

REFERENCIAS

LIBROS, ARTICULOS,
PUBLICACIONES
DIGITALES, NORMATIVAS
Y TESIS

Ana M. Ullán, et. al. (2011). "Hospital Designs for Patients of Different Ages : Preferences of Hospitalized Adolescents, Nonhospitalized Adolescents, Parents, and Clinical Staff". Environment and Behavior 2012 44: 668 originally published online 11 April 2011 DOI: 10.1177/0013916511403802. Published by SAGE on behalf of Society for Research on Biological Rhythms. Documento PDF disponible en: <http://eab.sagepub.com/content/44/5/668>

Andersen M., Gochenour S., Lockley S. (2013). "Modeling Non-visual, Effects of Daylight in Residential Environment". Building and Environment (2013), doi: 10.1016/j.buildenv.2013.08.018. Documento PDF. <http://www.jcircadianrhythms.com/content/pdf/1740-3391-8-2.pdf>

Andersen M., Mardaljevic J., Lockley S.W. (2012). "A frame work for predicting the non visual effects of daylight – Part I: photobiology- based model". Lighting Research and Technology 2012 44: 37 DOI: 10.1177/147715351143596. Published by SAGE. Documento PDF disponible en: <http://lrt.sagepub.com/content/44/1/37>

Arnheim Rudolf (1997). "Visual Perception. Creative Eye". California Press Mov.cient.Vol.7 (1): 31-37 ISSN: 2011-7191. Enero a Diciembre de 2013

Baker N. V., Fanchiotti A., Steemers K. (2011). "Daylighting in Architecture. A European Reference Book". Commission of the European Communities Directorate- General XII for Science Research and Development. Great Britain. ISBN: 978-0-419-25700-4 <http://books.google.com/ebooks/app#reader/gdD9AQA AQBAJ/GBS.PA3>

Bárbara J, Huelat, (2005). "The wisdom of Biophilia nature in healing environments". Volume 3, Numero 3. Documento PDF disponible en: http://www.aahid.org/pdf/JGB_V3N3_a03_heulat.pdf

Bambarén C., Alatrística S. (2008). "Programa Médico Arquitectónico para el Diseño de Hospitales Seguros". Lima. 296 pp

Beltrán Molina, Mercan Arévalo. (2013). "Niveles de iluminación y su relación con los posibles efectos visuales en los empleados de una IPS de Bogota". Mov.cient.Vol.7 (1): 31-37 ISSN: 2011-7191. Enero a Diciembre de 2013

Bonnema Eric, Pless Shanti, Doebber Ian (2010). "Advanced Energy Design Guide for Small Hospitals and Healthcare Facilities". Journal of Healthcare Engineering. Vol. 1, No.2. USA. Paginas 277-296. Documento PDF

Boyce P.R. (2003). "Human Factors in Lighting". Taylor and Francis Group. Segunda Edición. London. ISBN: 0-203-42634-7

Aalto Alvar (1982). "La Humanización de la Arquitectura". Segunda edición, Birkhäuser Verlag, Basel. ISBN 84-7223-581-5 <http://books.google.com/ebooks/app#reader/7Fr6vH5Y RHEC/GBS.PP1.w.2.0.0.1>

Boyce P.R., Hunter C., Howlett O. (2003). "The Benefits of Daylight through Windows". Lighting Research Center, Rensselaer Polytechnic Institute. U.S. Department of Energy (DOE). Documento PDF <http://www.lrc.rpi.edu/programs/daylighting/pdf/BoyceH MGReview.pdf>

Boubekri Mohamed (2008). "Daylighting, Architecture and Health". Architectural Press. Elsevier. Great Britain. ISBN: 978-0-7506-6724-1

Brainard George C. and John P. Hanifin (2005). "Photons, Clocks, and Consciousness". Journal of Biological Rhythms 2005 20: 314 DOI: 10.1177/0748730405278951. Published by SAGE on behalf of Society for Research on Biological Rhythms. Documento PDF disponible en: <http://jbr.sagepub.com/content/20/4/314>

Brainard, George C. et. al. (2008). "Sensitivity of the Human Circadian System to Short-Wavelength (420-nm) Light". Journal of Biological Rhythms 2008 23: 379 DOI: 10.1177/0748730408323089. Published by SAGE on behalf of Society for Research on Biological Rhythms. Documento PDF disponible en: <http://jbr.sagepub.com/content/23/5/379>

Centro Nacional de Excelencia Tecnológica en Salud (CENETEC), (SSA) (2006). "Guía de Equipamiento para la Atención de Pacientes con Cataratas". V.01 IX.2006. México

Cuttie Christopher (2008). "Lighting by Design". Architectural Press. Elsevier. Great Britain. ISBN: 978-0-7506-8768-3

Colombo Elisa. O'Donnell B. et. al (2002). "Manual de iluminación eficiente". Luz, Color y Visión. Capítulo 2. ELI Argentina (Efficient Lighting Initiative). Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional UTN-Argentina. Libro electrónico, formato PDF.

D. Allo María, y Tedesco Maureen (2005) "Gestión del quirófano: consideraciones sobre la sala de operaciones y el control de las infecciones". Department of Surgery, Santa Clara Valley Medical Center, Division of General Surgery, Stanford University, Stanford University. Artículo PDF

DiLouie Craig (2006). "Advanced Lighting Controls: Energy savings, Productivity, Technology and Applications". CRC Press. Taylor & Francis Ltd. USA. ISBN 0-88173-511-6 (e-book). Chapter 21. Controlling LED Lighting Systems: Introducing the LED Driver

Eco Humberto, (1977). "Cómo se hace una tesis. Técnicas y procedimientos de investigación estudio y escritura", (Edición en español, tr. Lucía Baranda y A. Clavería I.), , 19a edición, Editorial Gedisa, Barcelona,

2004.

Estrada-Gasca, Muhlia-Velásquez, et. al (2005). "Visión a largo plazo sobre la utilización de las energías renovables en México. *Energía Solar*". Centro de Investigación en Energía. Documento PDF Pág. 3-11.

EDAC (2008). "An introduction to Evidence- Based Design. *Exploring Healthcare and Design. Study Guide No. 1*". (The CHD) The Center for Health Design. USA. ISBN: 0-9743763-9-6

Fairchild Mark. (2005). "Color Appearance Models". Munsell Color Science Laboratory Rochester Institute of Technology. John Wiley & Sons Ltd. Second Edition. USA. ISBN 0-470-01216-1

Fenercom - Fundación de la energía de la comunidad de Madrid (2010). "Guía de ahorro y eficiencia energética en hospitales. Madrid España. Documento PDF

Figueiro M., Rea M. S. (2010). "Lack of short-wavelength light during the school day delays dim light melatonin onset (DLMO) in middle school students ". Lighting Research Center, Rensselaer Polytechnic Institute. Published in *Neuro Endocrinol Lett.* 2010 ; 31(1): 92-96. National Institutes of Health. Public Access. USA. Documento PDF. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3349218/pdf/nihms372919.pdf>

Figueiro M., Rea M. S., Rea A.C. (____). "Daylight and Productivity – A possible Link to Circadian Regulation ". Lighting Research Center, Rensselaer Polytechnic Institute. USA. Documento PDF.

Figueiro MG, Rea MS (----). " Developing Architectural Lighting Designs to Improve the Health and Well-being of older adults". AIA Report on University Research Volume 3. Documento PDF

Ficha técnica. "LI-210SA PHOTOMETRIC SENSOR ". <http://www.licor.com>

Ficha técnica. "OPMI® Vario/S 88 System Expand your visión". Carl Zeiss Meditec AG. Germany. www.meditec.zeiss.com/neuro

García Miguel Angel (2011). "Grupo Hospitalario Quirón". Editorial Grupo Hospitalario Quirón, S. A. Libro electrónico, formato PDF. Disponible en: www.quiron.es

Graue- Wiechers Enrique (2001) « XXV Aniversario Instituto de Oftalmológica Fundación Conde de Valenciana» Instituto de Oftalmología Fundación Conde de Valenciana, Institución de Asistencia Privada.

González Ma. Elena. (2010) « Desarrollo de la Oftalmología mexicana en los últimos 200 años » Gaceta de la Facultad de Medicina. No. 632. 25 de noviembre de 2010. Documento PDF. <http://institutoodeoftalmologia.org/conval/?p=3207>

Guenther R., Vittori G. (2013). "Sustainable Healthcare Architecture". John Wiley and Sons. Segunda edición. New Jersey. ISBN: 978-1-118-41611-2 (ebk).

<http://books.google.com/ebooks/app#reader/FestAAAAQBAJ/GBS.PA8.w.0.0.0.1>

Hefflin Brockton, Fields Alan (2010). "GMDN-User guide. A comprehensive guide to the Global Medical Device Nomenclature". Segunda edición. Documento PDF

Hunt R. (2004). "The Reproduction of Color". Society for Imaging Science and Technology. John Wiley & Sons. Sixth Edition. USA. ISBN 0-470-02425-9

IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía) (2001). "Guía técnica de Eficiencia Energética en Iluminación. Hospitales y Centros de Atención Primaria". IDAE, Comité Español de Iluminación (CEI). Documento PDF

IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía) (2001). "Guía técnica para el aprovechamiento de la luz natural en la iluminación de edificios". IDAE, Comité Español de Iluminación (CEI). Documento PDF. ISBN: 8486850-92-4

(INEGI) Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2010). "Censo de población y vivienda". [en línea]. México. [fecha de consulta: agosto 2011] Disponible en: <http://www.censo2010.org.mx>

Izquierdo Cubas Francisco. "Infección del sitio quirúrgico". epidemiología hospitalaria. Documento PDF. <http://www.hospitalameijeiras.sld.cu/hha/mpm/documentos/EPIDEMIOLOGIA/G/INFECCION%20DEL%20SITIO%20QUIRURGICO.pdf>

Joseph Anjali (2006). "The Impact of light on outcomes in Healthcare". The Center for Health Design-CHD. Issue No.2. USA. Documento PDF

Kellert S.R., Heerwagen J.H., Mador M.L. (2008). "Biophilic Design. The Theory, Science, and Practice of Bringing Buildings to Life". John Wiley and Sons. New Jersey. ISBN: 978-0-470-16334-4 (cloth) http://books.google.com/ebooks/app#reader/FyNer_nQRW4C/GBS.PT4.w.3.11.0

Kellert S.R., Wilson E.O. (1993). "The Biophilia Hypothesis". Island Press. New Jersey. ISBN: 9781597269063 <http://books.google.com/ebooks/app#reader/qOg3-J0BoGoC/GBS.PP1>

Koschan Andreas, Mongi Abidi. (2008). "Digital color. Image Processing". Wiley Interscience. USA. ISBN 978-0-470- 14708-5 (cloth)

KrČárová Jana (2009). "E.O. Wilson's concept of biophilia and the environmental movement in the USA". Klaudyán: Internet Journal of Historical Geography and Environmental History. Charles University in Prague, Faculty of Humanities. Volume 6/2009, no.1-2, pp.4-17

Kuehni Rolf (2005). "Color. An Introduction to Practice and Principles". Munsell Color Science Laboratory Rochester Institute of Technology. Wiley Interscience. Second Edition. USA. ISBN 0-471-66006-X

Li, Danny H. W., Tang H. L., Lee Eric W. M., Muneer Tariq (2010). "Classification of CIE standard skies using probabilistic neural networks". International Journal of climatology. Royal Meteorological Society. Published online 16 March 2009 in Wiley InterScience (www.interscience.wiley.com) DOI: 10.1002/joc.1891.

Li, Danny H. W., Gary H. W., Cheung K. L., Tony N.T. (2010). "Determination of vertical daylight illuminance under non-overcast sky conditions". Building and Environment No.45. Elsevier. pag. 498–508.

Leslie RP, Radetsky LC, Smith AM (2011). "Conceptual design metrics for daylighting ". Lighting Research and Technology 2012 44: 277 originally published online 8 November 2011 DOI: 10.1177/1477153511423076. Published by SAGE. Documento PDF disponible en: <http://lrt.sagepub.com/content/44/3/277>

Leslie R. et. al (----). " The potential of simplified concepts for daylight harvesting". Lighting Research Center, Rensselaer Polytechnic Institute, Troy, New York, USA. Documento PDF

Leslie RP, Radetsky LC, Figuero M., Yue L. (2010). "Patterns to Daylight Schools for People and Sustainability ". Lighting Research Center. Rensselaer Polytechnic Institute. Documento PDF

Leslie R.P. (2002). "Review. Capturing the daylight dividend in buildings: why and How?. Lighting Research Center. Rensselaer Polytechnic Institute. Building and Environment 38 (2003) 381–385. Documento PDF

Lozano-Alcazar J. (2002). "El primer hospital oftalmológico de México". Academia Mexicana de Cirugía. Cir Ciruj 2002; 70: 124-128. México D.F. Documento PDF

Mardaljevic J., Andersen M., Roy N., Christoffersen J. (2011). "Daylight Metrics for Residential Buildings". Presented at: 27th Session of the CIE, Sun City, South Africa, July 11-15, 2011. Accepted in: Proceedings of the 27th Session of the CIE, 201. Documento PDF http://infoscience.epfl.ch/record/166212/files/MardaljevicAndersenetal_CIE27thsession-DaylightingMetricsforResidentialBuildings_1.pdf

Mardaljevic John (—). "Climate-Based Daylight Analysis for Residential Buildings. Impact of various window configurations, external obstructions, orientations and location on useful daylight illuminance". Institute of Energy and Sustainable Development De Montfort University. The Gateway, Leicester, LE1 9BH, UK. Documento PDF <http://www.solaripedia.com/files/436.pdf>

Maya, Esther (2008). "Métodos y técnicas de investigación. Una propuesta ágil para la presentación de trabajos científicos en las áreas de arquitectura, urbanismo y disciplinas afines". Quinta Edición México: Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Arquitectura, 101pp.

Manual. "Infiniti® Vision System Operator's Manual 8065751606". Alcon Laboratories. California

Manual de usuario. "CMP serie Pirómetro". 2010 KIPP & ZONEN. Versión del manual: 1007. Holanda <http://www.kippzonen.com>

Manual de usuario. "Agilent 34970A/34972. Adata acquisition / Switch Unit". Agilent Technologies. www.agilent.com/find/34970A

México, INEGI - Instituto Nacional de Estadística y Geografía, (2010). "Resultados principales del censo de población y vivienda 2010". 105pp. Documento PDF

México, IMSS- Instituto Mexicano del Seguro Social (1993). "Normas de Proyecto de Arquitectura". Tomo I - Funcionamiento de Unidades Médicas, Tomo II - Consulta externa, hospitalización Medicina Física y Rehabilitación. Subdirección General de Obras y Patrimonio Inmobiliario.

México, IMSS- Instituto Mexicano del Seguro Social (1993). "Normas de Proyecto de Arquitectura". Tomo III -Servicios Auxiliares de Diagnostico y Tratamiento. Subdirección General de Obras y Patrimonio Inmobiliario.

México, IMSS- Instituto Mexicano del Seguro Social (1993). "Normas de Proyecto de Arquitectura". Tomo VII -Normas Bioclimáticas. Subdirección General de Obras y Patrimonio Inmobiliario.

México, IMSS- Instituto Mexicano del Seguro Social (1993). "Criterios Normativos de Ingeniería". Coordinación de Construcción, Conservación y Equipamiento. División de Proyectos. Investigación y Cuadros Básicos.

México, ISSSTE - Instituto de Seguridad y Servicios Sociales de los Trabajadores del Estado (----). "Normas particulares de diseño". C.8-C.12. Coordinación General de Administración, Subdirección de Obras y Contratación, Jefatura de Servicios de Proyectos. Documento PDF

México, ISSSTE- Instituto de Seguridad y Servicios Sociales de los Trabajadores del Estado (----). "Especificaciones Generales de Construcción". Subdirección General de Obras y Mantenimiento Subdirección de Proyectos y Patrimonio Inmobiliario. Jefatura de Servicios de Planeación y Normas. Documento PDF

México, SSA- Secretaría de Salud (----). "El Hospital Sustentable Intercultural. Una propuesta para el fortalecimiento de los servicios de salud, en armonía con el Medio Ambiente, Tomando en cuenta la Multiculturalidad Nacional". Dirección de Medicina Tradicional y Desarrollo Intercultural. Subsecretaría de innovación y calidad. Dirección General de Planeación y Desarrollo en Salud. Documento PDF

México, SSA- Secretaría de Salud (2006). "Innovaciones en gestión Hospitalaria en México. El caso de los Hospitales Regionales de Alta Especialidad /

HRAE". Primera edición. Documento PDF. ISBN:970-721-373-6

México, SSA- Secretaría de Salud (2006). "Modelos de Unidades Médicas MIDAS Modelo Integrador de Atención a la Salud". Primera edición, 183 pp.

México, SSA- Secretaría de Salud (2006). "Planeación de Unidades Médicas Modelo Integrador de Atención a la Salud MIDAS.". Primera edición, ISBN 970-721-392-2 <http://dgplades.salud.gob.mx>

Ministerio de Salud Pública, Programa de Salud Ocular (2008). *La visión en el adulto mayor*. Documento PDF

Ministerio de Sanidad y Política Social (2009). "Bloque quirúrgico. Estándares y recomendaciones". Informes, estudios e investigación. Gobierno de España. Madrid. Pág.69

Morovič Ján (2008). "Color Gamut Mapping". Society for Imaging Science and Technology. John Wiley & Sons Ltd. England. ISBN 978-0-470-03032-5

Nassau Kurt (1998). "Color for science, art and technology". North Holland. Elsevier.. Amsterdam, The Netherlands. ISBN 0 444 89846 8

NOM-205-SSA1-2002. Norma Oficial Mexicana. "Para la práctica de la cirugía mayor ambulatoria".

NOM- 040-SSA2-2004. Norma Oficial Mexicana. "En materia de información en salud".

NOM-205-SSA1-2002. "Para la práctica de la cirugía mayor ambulatoria".

Ortega Andeane, Mercado D., Martínez R., Estrada R., (2005). "Estrés ambiental en instituciones de salud". Facultad de Psicología, UNAM. p.15.

Ohta Noboru, Robertson Alan (2005). "Colorimetry. Fundamentals and Applications". Society for Imaging Science and Technology. John Wiley & Sons Ltd. Second Edition. USA. ISBN 13 978-0-470-09472-3

Pechacek Christopher, Andersen Marilyne, Lockey Steven (2008). "Preliminary Method for Prospective Analysis of the Circadian Efficacy of (Day)Light with Applications to Healthcare Architecture". LEUKOS - The Journal of the Illuminating Engineering Society of North America, vol 5 (1), pp. 1-26. Documento PDF

Peña González J.A., et. al. (2010). "Evolución de la cirugía abierta versus laparoscópica/robotica:10 años de cambios en Urología". Actas Urológicas Españolas. Servicio de Urología Fundación Puigvert, Barcelona, España. Elsevier. Documento PDF disponible en: http://apps.elsevier.es/watermark/ctl_servlet?_f=10&pid=nt_articulo=13149646&pid=nt_usuario=0&pid=nt_contactid=&pid=nt_revista=292&ty=88&accion=L&origen=zonalectura&web=http://zl.elsevier.es&lan=es&fichero=292v34n03a13149646pdf001.pdf

Pich-Aguilera F., Barona J. L., Hinsch W., Llavador T. (2011). "Ciclo de visitas de Arquitectura. Nuevo Edificio

Quirúrgico en el HGUUV". Encuentro en el quirófano q1-07 del Hospital General de Valencia. Arquitectura hospitalaria e innovación funcional y Tecnológica. Valencia, España. Documento PDF

Rautkylä E, Puolakka M, Halonen L (2012). "Alerting effects of daytime light exposure – a proposed link between light exposure and brain mechanisms". Lighting Research and Technology 2012 44: 238 originally published. Published by SAGE. Documento PDF disponible en: <http://lrt.sagepub.com/content/44/2/238>

Rea M. S., et. al. (2010). "Circadian Light". Journal of Circadian Rhythms 2010, 8:2 Open Access. Documento PDF. <http://www.jcircadianrhythms.com/content/pdf/1740-3391-8-2.pdf>

Rea Mark S., Figueiro Mariana G., Bullough John D., Bierman Andrew (2005). "A model of phototransduction by the human circadian system". Lighting Research Center, Rensselaer Polytechnic Institute, 21 Union Street, Troy, NY 12180, USA. Accepted 11 July 2005 Available online 7 October 2005

Rea M. S. (2003). "Light- Much more than Vision". Lighting Research Center, Rensselaer Polytechnic Institute. USA. Documento PDF

Rea Mark S., Figueiro Mariana G., Bullough John D., Bierman Andrew (2002). "Circadian photobiology: an emerging framework for lighting practice and research". Lighting Research and Technology 2002 34: 177 DOI: 10.1191/1365782802lt057oa. Documento PDF disponible en: <http://lrt.sagepub.com/content/34/3/177>

Rea MS, Figueiro MG, Bullough JD (2002). " Circadian photobiology: an emerging framework for lighting practice and research". Lighting Research and Technology 2002 34: 177 DOI: 10.1191/1365782802lt057oa. Published by SAGE. Documento PDF disponible en: <http://lrt.sagepub.com/content/34/3/177>

Rea Mark. et. al. (2000). "The IESNA lighting handbook reference and application". The Illuminating Engineering Society of North America. Novena edición, Estados Unidos. ISBN 0-87995-150-8

Reinhart C.F., Wienold J. (2010). "The Daylighting Dashboard – A Simulation-Based Design Analysis for Daylit Spaces". Accepted for publication in *Building and Environment* (August 2010). Documento PDF <http://www.gsd.harvard.edu/research/gsd-square/Publications/HolisticDaylightingDesignEvaluations.pdf>

Reinhart C.F., Fitz A. (2006). "Findings from a survey on the current use of daylight simulations in building design". Institute for Research in Construction. National Research Council Canada - NRCC-47702. Documento PDF

Reinhart C.F., Mardaljevic J., Rogers Zack (2006). "Dynamic Daylight Performance Metric Sustainable Building Design". Leukos VOL 3 No. 1, paginas 7–31. Documento PDF

<http://www.arch.mcgill.ca/prof/sampson/arch447/fall2007/Readings/2-Dynamic%20Daylight%20Metrics.pdf>

Rich Catherine, Longcore Travis (2006). *“Ecological Consequences of Artificial Night Lighting”*. Island Press. Washington. USA. ISBN 1-55963-129-5

Rosen J., Hannaford B., Satava R., (2011). *“Surgical Robotics. Systems applications and Visions”*. Springer. Whashington. ISBN: 97814419-1126-1
<http://books.google.com/ebooks/app#reader/2cswZL0L7iIC/GBS.PP1.w.0.0.0.3>

Rodriguez Erhart (2006). *“Evaluación de la carga mental de trabajadores de puestos de trabajo en computación con Iluminación natural y artificial alternativas”*. Laboratorio de ergonomía UNCuyo. Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda CRICYT. Informe Final. Mendoza, Argentina. Documento PDF

Russ John et. al. (2006). *“The image procesing Handbook”*. North Carolina State University, Materials Science and Engineering Department. Fift edition. Taylor & Francis. USA. ISBN 0-8493-7254-2

Satava R., Gaspari A., Di Lorenzo N. (2011). *“Emerging Technologies in Surgery”*. Springer. Berlin. ISBN: 978-3-540-39599-7
http://books.google.com/ebooks/app#reader/3SmZn_zm2rQC/GBS.PP4

(SSA) Secretaría de Salud (2006). “Modelo Integrador de Atención a la Salud (MIDAS)”, segunda edición, México D.F. SSA, pág. 68

(SSA) Secretaría de Salud (2004). *“Cirugía extramuros, una experiencia de vida”*. Comisión Nacional de Protección Social en Salud, Dirección General de Gestión de Servicios de Salud. Pág. 42- 61.

Spengler Oswald (----). *“El hombre y la técnica”*. *“Der Mensch und die Technik” - München 1931 Essays posteriores a “La Decadencia de Occidente” Traducción: Manuel García Morente.* Documento PDF

Sharma Gaurav et. al. (2003). *“Digital Color Imaging”*. CRC Press. USA. ISBN 0-8493-0900- X

Shepley, M. M., Gerbi, R. P., Watson, A. E., Imgrund, S., & Sagah-Zadeh, R. (2011). *“The impact of daylight and views on ICU patients and staff”*. Health Environments Research & Design Journal, 5(2), 46-60. Documento PDF
<http://www.perfusion.com/cgi-bin/absolutenm/articlefiles/4687-79867774.pdf>

Shevell Steven, et. al. (2003). *“The Science of Color”*. Departments of Psychology and Ophthalmology & Visual Science, University of Chicago. OSA (Optical Society of America). Elseivier. Second edition. USA. ISBN 0-444-512-519

Singer Brett (2010). *“High Performance Healthcare Bulgings: A Roadmap to Improved Energy Efficiency”*. Lawrence Berkeley National Laboratory LBNL. Paper LBNL-2737E. Universidad de California. eScholarship.

Documento PDF disponible en:
<http://escholarship.org/uc/item/3615m5hs>

Singer Brett (2010). *“Summary of Information and Resources Related to Energy Use in Healthcare”*. Lawrence Berkeley National Laboratory LBNL. Paper LBNL-2744E. Universidad de California. eScholarship. Documento PDF disponible en:
<http://escholarship.org/uc/item/8p00804b>

Triguero Veloz, M. N., Gil Pérez, J. C., Machín Triguero, T. & Fernández Hernández, B. (2009). *“Efectos del trabajo nocturno en trabajadores de la salud de un hospital público universitario en la ciudad de Pinar del Río, Cuba”*. Psicología: Teoría e Práctica, 11(3) 54-62. Recuperado de
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193814403006>

Tregenza P., Wilson M. (2011). *“Daylighting, Architecture and Lighting Design”*. Routledge Taylor and Francis Group. London. ISBN: 978-1-13425-377-7 (epub)
http://books.google.com/ebooks/app#reader/kYAYJ3_JyJAC/GBS.PP5

Ulrich, Zimring, Zhu, DuBose, Seo, Choi, Quan, Joseph (2008). *“Healthcare Leadership. A review of the Reserch Literature on Evidence-Based Heathcare Design”*. White paper series 5 of 5. Georgia Tech-College of Architecture. The Center for Health Design ©. pp.76

UNAM, Organización Panamericana de la Salud (OPS), Seminario de Medicina y Salud (2009). *“Primer congreso Internacional sobre medicina y salud. Hacia una cobertura universal en Salud. Memoria México”*. Primera edición 2009. Facultad de Medicina, Ciudad Universitaria, México DF. Pág. 461

Walerczyk S. (2012). *“Human Centric Lighting”*. 20-26. Documento PDF
<http://www.architecturalssl.com>

_____ (2010). *“Ligthing quality”*. Chapter 3. Documento PDF

Zabalbeascoa A. Reportaje: *“Edificios que curan”*. Diario El País. Fecha 05, febrero 2012.

Zeevaert Leonardo. (1981). *“Passive approaches to solar architectural design for México”*. Tesis de maestría en Artes, Facultad de Estudios en Arquitectura, Departamento de Ciencias de la Construcción, Universidad de Sheffield. UK.

Zeevaert Leonardo. (semestre 2011-2). *“Interacción del medio ambiente y la envolvente arquitectónica. Apuntes”*. Curso de Interacción con el medio, Posgrado de Arquitectura, UNAM.

TESIS

Aranda Molina Ana Isabel (2009). “*Diseño de sistemas de iluminación Biológico-Dinámica en áreas de oficinas en México*”. Tesis grado de Maestro en Arquitectura, Ciudad de México, UNAM, FA. 96pp.

Ashikur Rahman Joarder (2011). “*Incorporation of therapeutic effect of daylight in the architectural design of in-patient rooms to reduce patient length of stay (LoS) in hospitals*”. Doctoral Thesis, Loughborough University. Doctor of Philosophy. disponible en: <https://dspace.lboro.ac.uk/2134/10088>

García Alcantará Miriam (2012). “*Luz Natural Sistema de Captación, Transmisión y Distribución*”. Tesis grado de Maestro en Arquitectura, Ciudad de México, UNAM, FA. 223pp.

Guadarrama Gándara Cecilia Genoveva (2011). “*Aportaciones cuantitativas y cualitativas para la precisión en el pronóstico de la luz natural en un inmueble del siglo XIX del centro histórico de la Ciudad de México*”. Tesis grado de Maestro en Arquitectura, Ciudad de México, UNAM, FA. 261pp.

Gutknecht Michelle (2014). “*The effect of lighting on the circadian rhythm and its applications in a healthcare environment*”. A partial report Master of Science. Department of Architectural Engineering College of Engineering, Manhattan, Kansas, Kansas State University.

Moran Sonia (2006). “*Modelo de mitigación de desastres sísmicos en edificios hospitalarios, aplicado a dos casos de estudio México y España*”. Tesis de Maestría en Arquitectura. México: Programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura. UNAM, FA.

Valeriano Flores Arturo (2010). “*Iluminación Natural en Arquitectura, Validación de los métodos de cálculo en la ciudad de México*”. Tesis para obtener el grado de Maestro en Arquitectura, ciudad de México, UNAM, FA. 235pp.

Zamudio Lozano Tammy (2011). “*Patrones de diseño tecnológico para el diagnóstico y tratamiento por medio de imágenes*”. Tesis grado de Maestro en Arquitectura, Ciudad de México, UNAM, FA. 186pp.

SITIOS RELEVANTES

<http://hospitaldelaluz.org>

<http://fundacioncondevalenciana.org>

<http://braintreatmentcenter.asia/english/sleep/>

<http://oatd.org/oatd/search?q=daylighting&form=basic&start=31>

<http://dspace.mit.edu/handle/1721.1/44282>

<http://www.idae.es/index.php/relcategoria.1030/id.430/elmenu.347/mod.pags/mem.detalle>

<http://hybridoperatingroom.com/hybrid-operating-room-news/>

<http://www.imss.gob.mx/prensa/archivo/201302/010>

<http://www.quirofano.net/normas-quiroyfano/normas-quiroyfano-mexico.php>

<http://e360yale.universia.net/traer-de-vuelta-la-noche-una-lucha-contra-la-contaminacion-luminica/>

<http://www.lightinglab.fi/links/index1.html>

<http://www.healthcaredesignmagazine.com/print/article/connecting-cancer-care-centers-nature>

<http://www.kenall.com>

<http://www.lighting.phillips.com.mx>

<http://www.luxus.com>

<http://www.scheider-electric.com/buildings>