

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO



PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN ARQUITECTURA

**DISEÑO DE SISTEMAS DE ILUMINACIÓN BIOLÓGICO-DINÁMICA
EN ÁREAS DE OFICINAS EN MÉXICO**

ANA ISABEL ARANDA MOLINA

MÉXICO, 2009



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.



**DISEÑO DE SISTEMAS DE ILUMINACIÓN BIOLÓGICO-DINÁMICA
EN ÁREAS DE OFICINAS EN MÉXICO**

TESIS QUE PRESENTA

ANA ISABEL ARANDA MOLINA

PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRA EN ARQUITECTURA
CAMPO DE CONOCIMIENTO TECNOLOGÍA

PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN ARQUITECTURA



MÉXICO, 2009



JURADO:

1. M. en ARQ. LEONARDO ZEEVAERT ALCÁNTARA
2. Dr. VICTOR CORENO RODRIGUEZ
3. Dr. MIGUEL ARZATE PEREZ
4. M. en ARQ. FRANCISCO REYNA GÓMEZ
5. M. en ARQ. JORGE RANGEL DÁVALOS

AGRADECIMIENTOS:

Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM.

Observatorio de Radiación Solar, Instituto de Geofísica, UNAM.
Dr. Agustín Muhlia Velázquez

Programa de Apoyo de Estudios de Posgrado,
por el equipo del Laboratorio de Interacción con el Medio.

A mis maestros y tutores por enseñarme el camino del conocimiento.

A mi familia y amigos por su apoyo y cariño incondicional.

INDICE

INTRODUCCIÓN	1
1 DESARROLLO DE MARCO TEÓRICO	9
1.1 NATURALEZA DE LA LUZ	9
1.1.1 ASPECTOS FÍSICOS DE LA LUZ.....	9
1.1.2 ESPECTRO VISIBLE.....	10
1.2 EL COLOR Y LA LUZ	10
1.2.1 COMPOSICIÓN ESPECTRAL DE LA LUZ.....	11
1.2.2 COLORIMETRÍA. MEZCLA DE COLORES	11
1.2.3 SISTEMAS DE ORDENACIÓN DE COLORES	12
1.2.4 TEMPERATURA DE COLOR.....	13
1.2.5 INDICE DE RENDIMIENTO DE COLOR.....	13
1.3 SISTEMA VISUAL	14
1.3.1 EFECTOS ÓPTICOS DE LA LUZ.....	14
1.3.2 EFECTOS NO ÓPTICOS DE LA LUZ.....	18
1.4 SISTEMA CIRCADIANO.....	21
1.4.1 RITMOS Y RELOJES BIOLÓGICOS	22
1.4.2 RITMOS CIRCADIANOS	23
1.4.3 FOTORRECEPTORES Y FISIOLÓGÍA DE LA SECRECIÓN HORMONAL.....	24
1.4.4 ILUMINACIÓN CIRCADIANA	25
1.5 ILUMINACIÓN NATURAL.....	28
1.5.1 CARÁCTERÍSTICAS.....	28
1.5.2 FUENTES DE LUZ NATURAL.....	29
1.5.3 COMPONENTES DE LUZ NATURAL	31
1.5.4 TIPOS DE CIELO.....	32
1.6 ILUMINACIÓN ARTIFICIAL.....	35
1.6.1 PRINCIPIOS PRODUCTORES DE LUZ ARTIFICIAL.....	35
1.6.2 FUENTES DE LUZ ARTIFICIAL.....	36
1.7 DIFERENCIAS ENTRE ILUMINACIÓN NATURAL Y ARTIFICIAL.....	39
1.8 ILUMINACIÓN BIODINÁMICA	41

1.8.1	DEFINICIÓN	41
1.8.2	CARACTERÍSTICAS DE LA LUZ.....	41
2	ESTADO DEL ARTE.....	47
2.1	NIVEL NACIONAL-ESTUDIOS MULTIDISCIPLINARIOS.....	47
2.1.1	PHILIPS LIGHTING APLICATION CENTER (BEGGEMANN HOLANDA-MÉXICO)	47
2.2	NIVEL INTERNACIONAL-ESTUDIOS MULTIDISCIPLINARIOS	49
2.2.1	PLANTEAMIENTO Y PROPUESTAS	49
2.2.2	BRAINARD Y BERNECKER (E.U.A.).....	50
2.2.3	CZEISLER (E.U.A.)	51
2.2.4	REA, PIPERMO, FIGUEIRO, MONTAGNA (ITALIA-E.U.A.).....	52
2.2.5	ABDOU (E.U.A.-ARABIA SAUDITA).....	52
2.2.6	INFORME TÉCNICO DE LA CIE (COMISION INTERNACIONAL DE ILUMINACIÓN)	53
3	PROPUESTA DE MODELO DE DISEÑO	53
3.1	EL ESPACIO LABORAL- OFICINAS	53
3.1.1	CARACTERÍSTICAS y ESTADO DEL ARTE EN MÉXICO.....	53
3.1.2	CONSIDERACIONES ARQUITECTÓNICAS.....	56
3.1.3	VARIABLES A CONSIDERAR RELATIVAS AL USUARIO.....	58
3.2	NIVELES DE ILUMINACIÓN DE OFICINAS	63
3.2.1	NORMAS INTERNACIONALES.....	64
3.2.2	NORMAS NACIONALES.....	65
3.2.3	COMPARATIVA DE NORMAS DE ILUMINACIÓN EN DIFERENTES PAISES.....	67
3.3	CARACTERÍSTICAS DE ILUMINACIÓN NATURAL EN MÉXICO.....	68
3.3.1	POSICION Y TRAYECTORIA SOLAR.....	69
3.3.2	HORA DEL DÍA	69
3.3.3	DIA DEL AÑO	70
3.3.4	LATITUD, LONGITUD y ALTITUD SOLAR.....	70
3.4	PROPUESTA DE DISEÑO.....	70
3.4.1	METODOLOGÍA DE EXPERIMENTACIÓN	71
3.4.2	LUMINARIA Y TECNOLOGÍA DE ANÁLISIS:.....	73
3.5	ANÁLISIS Y DESCRIPCIÓN DE DATOS	76
3.5.1	REGISTRO DE ESPECTROS.....	76
3.5.2	REGISTRO DE TEMPERATURA DE COLOR	78



3.5.3	DETERMINACION DE DIAS TIPO E INTERVALOS DE TEMPERATURA DE COLOR.....	79
3.5.4	REGISTRO DE INTENSIDADES DE ILUMINANCIA GLOBAL	83
	<i>CONCLUSIONES</i>	89
	<i>BIBLIOGRAFÍA</i>	91
	<i>GLOSARIO</i>	95
	<i>ANEXOS</i>	96



INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación aborda la influencia y repercusiones de la luz en la salud y productividad del ser humano; en particular de la iluminación artificial en ambientes laborales como es el caso de las oficinas. Tomando como fundamento las investigaciones más recientes del área médica, en las que se demuestra a la luz como factor fundamental de influencia psico-biológica en nuestros organismos, y primordialmente, que el uso de niveles adecuados y variaciones de temperaturas de color, pueden actuar biológicamente sobre el ser humano.

El enfoque que tiene éste, es desarrollar inicialmente los conceptos y criterios principales de las características de la luz a nivel físico, posteriormente explicar el funcionamiento del ojo humano a nivel fisiológico, para poder profundizar en las teorías que se centran en los tres sistemas a través de los cuales la luz influye en las condiciones del ser humano: Sistema Visual, Sistema Perceptivo y Sistema Circadiano; para finalmente proponer el diseño de un sistema de iluminación que contemple la luz biológico-dinámica, como una alternativa eficaz para el nuevo diseño de oficinas en México.

Esto con el objetivo de comprobar la hipótesis propuesta:

“Mediante condiciones dinámicas de las variaciones del nivel de iluminación y temperatura de color se obtendrán incrementos en la productividad con respecto a un sistema de iluminación constante y con valores de iluminación indicados en la normativa vigente para oficinas”.

Esta investigación está dirigida principalmente a arquitectos, ingenieros y diseñadores de iluminación, para que tengan los fundamentos y criterios esenciales y necesarios, para poderlos integrar a sus diseños, y se consideren en etapas previas del proyecto, para que le den una nueva interpretación a la utilización de la luz en la arquitectura y la utilicen como instrumento para generar bienestar, salud y productividad.

PLANTEAMIENTO DEL PROYECTO

Según el *Lighting Hand Book* de la IESNA¹, el ser humano dependiendo del ambiente lumínico de un lugar; se orienta en el espacio, siente confort visual, modifica su ambiente y estado de ánimo, puede establecer un juicio estético, experimentar seguridad y tener salud y bienestar. Es decir, la luz condiciona nuestra vida en muchos aspectos.

La vida del ser humano siempre ha estado determinada por el ciclo diario de luz y oscuridad, que nos brinda la iluminación natural. Desde la revolución industrial y la invención de la luz eléctrica, se generaron cambios importantes en el diseño arquitectónico de los espacios de trabajo; las nuevas características lumínicas permitieron mejorar la percepción visual en los interiores y que la sociedad haya ido extendiendo gradualmente el periodo de actividad tanto en periodos diurnos como nocturnos, lo cual ha provocado trastornos en su bienestar.

¹ IESNA - The Illuminating Engineering Society of North America.

La luz solar es el “marcador temporal” del reloj biológico, un estimulante directo que influye en los estados de ánimo, en la productividad, y en la salud. En la actualidad, no es posible esperar que la población pase todo el día al aire libre y duerma durante la noche en una obscuridad absoluta. Razón por la cual, uno de los principales problemas por resolver, para desarrollar los parámetros para una iluminación artificial adecuada en ambientes interiores, es la falta de conocimiento; tanto empresarios, arquitectos, ingenieros, diseñadores, es decir, los responsables y creadores de los espacios que habitamos; deben conocer la importancia de los ciclos de la luz y obscuridad y los efectos que estos tienen.

A través de la historia ya se han tenido precedentes del interés con respecto al tema, Vitruvio, en sus tratados² sobre las consideraciones de la arquitectura, ya citaba los aspectos “salubre e higiénicos” de la luz. Alvar Aalto, en su proyecto del Hospital de Paimio³ se refería al componente lumínico como un factor determinante para la recuperación clínica de los pacientes; lo cual nos muestra, que ya se tenía el concepto de darle un valor distinto a la luz que el meramente visual, dentro de la arquitectura.

En las últimas décadas, se han ido conociendo los efectos de una adecuada iluminación y la ciencia médica, principalmente, ha venido demostrando la influencia positiva de la luz sobre la salud y el bienestar del ser humano. Ante esta situación, la gran necesidad de comprender y analizar de manera objetiva los efectos provocados por la luz en nuestro organismo, para redefinir los parámetros proyectuales para la iluminación de aquellos ecosistemas artificiales en los cuales, a menudo, transcurre nuestra vida laboral.

Hasta hace aproximadamente 20 años, el diseño de los proyectos de iluminación y desarrollo de luminarias, había tenido principalmente el objetivo de obtener el mayor confort visual para el usuario; respetando simplemente las normas técnicas con el fin de que no hubiese molestias visuales y de cumplir con los niveles mínimos recomendados; lo cual ha hecho posible adquirir un profundo conocimiento técnico y científico de los efectos de la iluminación sobre la capacidad visual únicamente. Sin embargo, recientemente, se ha otorgado cada vez más espacio a la influencia de la luz en los aspectos psicobiológicos del ser humano, lo cual prueba el cambio que se está teniendo en la concepción de los proyectos de iluminación.

En este sentido, y a diferencia de lo que sucedía con anterioridad las investigaciones más desarrolladas sobre la iluminación en interiores, se están centrando cada vez más en analizar como la iluminación afecta el comportamiento físico, biológico y psicológico del ser humano, es decir, cómo la luz influye el sistema circadiano y por lo tanto, se está comenzando a crear una conciencia del respeto a los ritmos circadianos.

A partir de los años ochenta, gracias a los avances en investigación médica y biológica, empezaron a desarrollarse en Estados Unidos y Europa principalmente, investigaciones basadas en la fotobiología, la ciencia que estudio los efectos de la luz desde un punto de vista biológico; gracias a los resultados de investigaciones realizadas en espacios cerrados (espacios sin ventanas y, por lo tanto, sin contacto visual con el exterior) se demostró que el organismo humano está muy influido por la luz y que, utilizándola adecuadamente, es posible estimular nuestro organismo y, sobre todo, sincronizar el tiempo biológico, con el tiempo social o laboral; incluso en ambientes que no cuentan con aportación de iluminación natural. Es decir respetar nuestro reloj biológico, a

² M. Vitruvio Polión, “Los diez libros de Arquitectura”. Trd. Castañeda, Joseph, 2007

³ “Hospital de Paimio en Finlandia”. Alvar Aalto, (1929-1932)



pesar de estar expuestos por prolongados tiempos a un tipo de luz artificial constante, exigencias que regularmente se demandan debido a las largas jornadas laborales.

La Comisión Internacional de Iluminación, designada abreviadamente como C.I.E.⁴ por sus siglas en francés (Commission Internationale de l'Éclairage), la cual es una organización dedicada a la cooperación internacional y al intercambio de información entre sus países miembros sobre todas las materias relacionadas con la ciencia y el arte de la iluminación; desde 1998, celebra congresos abarcando temas fundamentales relacionados con la iluminación y la luz, como visión, fotometría y colorimetría, incluyendo las fuentes de radiación naturales y artificiales en el rango ultravioleta (radiaciones con longitudes de onda inferiores a 380nm), visible (de 380 a 780 nm) e infrarrojo (longitudes superiores a 780nm) del espectro; las aplicaciones relativas al uso de la luz en exteriores e interiores, los efectos medioambientales y estéticos, así como los medios de producción y control de la radiación.

Teniendo mucha relevancia el Congreso llevado a cabo, en Ottawa⁵ en el que se sintetizó el estado actual sobre la calidad de iluminación y se presentaron algunos estudios de gran importancia y de diferentes países, con los que se intentó mostrar cómo influyen los diferentes niveles de calidad de iluminación sobre el rendimiento de las personas que trabajan en una oficina.

Los resultados muestran que un alto nivel de iluminancia hace aumentar la producción de las hormonas de la vigilia y al disminuir el deseo de dormir mediante mecanismos naturales, este tipo de luz hace que las personas sean más activas y más receptivas ante los estímulos externos y que estén atentas, además de que la actividad intelectual y el estado de ánimo mejoran sin que aumente el estrés, por lo que se confirma que un sistema de iluminación dinámico capaz de producir luz biológicamente importante mejora las prestaciones laborales con respecto a un sistema de iluminación constante y con valores de iluminación indicados en la normativa técnica de referencia a la prestación visual. Esto significa que con una iluminación adecuada es posible despertar a las personas, ayudarlas a estar más atentas, presente y rápidas a la hora de responder los estímulos externos.⁶

La luz dinámica aumenta la capacidad de estimulación del ambiente porque es capaz de cambiar la iluminancia y la temperatura de color⁷ a lo largo del día. Esta propiedad es muy importante, considerando que la mayor parte de los ambientes de trabajo son hipoestimulantes, es decir ambientes en los cuales se relaja la actividad mental y disminuye los reflejos; este tipo de ambientes pueden producir diferentes efectos como son somnolencia, disminución del interés por el aprendizaje y en casos extremos apatía, depresión, baja autoestima y disminución del espíritu de autosuperación. Por el contrario se busca tener ambientes hipoestimulantes en los cuales se estimula la actividad mental, la concentración y se agudicen los sentidos. Ambos factores son sumamente importantes a considerar en el diseño de iluminación de oficinas, debido a que se ha comprobado que tras largos tiempos de exposición el organismo, pide por un lado no frenar los ciclos o por el contrario, pide no mantener el ritmo aunque las condiciones ambientales le indiquen lo contrario; entonces empiezan a presentarse fallos de

⁴ CIE Central Bureau. Kegelgasse 27 A-1030 Viena (Austria). Internet: <http://www.cie.co.at> Consulta: Marzo del 2008.

⁵ The 1st CIE Symposium on "Lighting Quality" 9-10 May 1998, National Research Council Canada, Ottawa-Ontario, Canada.

⁶ Texto tomado del informe final de la investigación publicada en 1996, en ocasión de la Conferencia Nacional de Iluminación de CIBSE, con el título *Lighting the graveyard shift: The influence of a daylight-simulating skylight on the task performance and mood of night-shift workers* - P.R. Boyce, J. W.

⁷ Investigación llevada a cabo en iGuzzini illuminazione srl, CNR, Spazio sas, Lighting Research Center, Futuro srl



concentración, nerviosismo y ansiedad. Y en ocasiones hay personas que pueden volverse irritables, agresivas y la tensión puede convertirse en estrés.

En los ambientes iluminados exclusivamente con luz artificial, como lo es el caso particular de estudio; la luz no constituye una fuente de información cronológica; mientras que en los entornos naturales la luz es, por el contrario, el principal cronómetro con que cuentan los seres vivos. La variación de luz natural a lo largo de la jornada constituye un verdadero reloj biológico, ya que produce efectos medibles, sobre el equilibrio psíquico y orgánico de los seres vivos. Por ello es muy importante considerar que dependiendo del tipo de luz, es posible crear diferentes ambientes, y que la iluminación artificial debe tener en cuenta la composición de la luz natural, de acuerdo a la latitud en que vivimos y las características, tanto en su composición espectral, cantidad, distribución, temperatura de color, duración e intensidad, todo esto con el objeto de reproducirla adecuadamente para que los ciclos circadianos no se vean alterados.

Por su lado en los edificios de oficinas hoy en día existe una nueva realidad en la distribución de los espacios y en la utilización de nuevos equipos. Esto determina nuevas tareas profesionales y la iluminación y su control, deben estar perfectamente adecuadas para atender a las distintas necesidades, además de los factores técnicos y la importancia de la eficiencia y el ahorro, los sistemas de iluminación deben ser proyectados, también para crear el ambiente deseado, y que se cuente con espacios saludables.

En base a este criterio resulta importante valorar posibles alternativas para el desarrollo de sistemas que permitan la reproducción de la iluminación natural en ambientes artificiales, a partir de las variaciones mediante un sistema de luz biológico-dinámica que sea capaz de producir estímulos luminosos y marcar el ritmo temporal incluso en estos entornos. Es por esto que en este trabajo se pretende analizar y proponer los elementos del diseño que intervienen para un correcto sistema de iluminación, en el cual se consideren estas premisas y se logre evaluar los beneficios tanto en ahorro energético como sus beneficios biológicos en comparación con una propuesta tradicional.

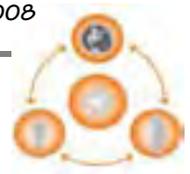
El concepto de ILUMINACIÓN BIOLÓGICO-DINÁMICA ó BIODINÁMICA, ha sido utilizado en recientes investigaciones, definiéndolo como la luz que produce el mismo estímulo neurofisiológico que la luz del sol, es decir es la que es capaz de cambiar de iluminancia y temperatura de color a lo largo del día o de la jornada, variando las características cromáticas y la intensidad luminosa a medida que pasan las horas, de acuerdo al entorno y en función de sus variables climáticas y geográficas; todo esto con el objetivo de brindar una iluminación correcta desde el punto de vista del sistema circadiano, refiriéndose con esto a que la luz es el principal elemento para la sincronización del reloj biológico con un esquema de comportamiento regular y coordinado con una duración de 24 hrs.⁸

Se refiere a lo “biológico”, ya que es el adjetivo perteneciente o relativo a la biología⁹, y a lo “dinámico” (Del gr. δυναμικός, de δύναμις, fuerza). como el adjetivo perteneciente o relativo a la fuerza cuando produce movimiento¹⁰. Por lo que en términos estrictos de acuerdo a la definición dada por la Real Academia Española, se

⁸ George Brainard. et al., 1997

⁹ Definición del Diccionario de la Lengua Española, Vigésima Edición. Internet: <http://www.rae.es>, Consulta: Marzo del 2008

¹⁰ Definición del Diccionario de la Lengua Española, Vigésima Edición. Internet: <http://www.rae.es>, Consulta: Marzo del 2008



define como; Iluminación (Del lat. illuminatiō, -ōnis), conjunto de luces que hay en un lugar para iluminarlo y Biodinámica (De bio- y dinámica), se refiere a la Ciencia de las fuerzas vitales; con la que se puede definir como el conjunto de luces para iluminar un lugar de manera que sean capaces de producir luz biológicamente saludable, mediante las variaciones reproduciendo la luz natural.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Proponer un sistema de iluminación que contemple la luz biológico-dinámica, como una alternativa eficaz para el nuevo diseño de oficinas en México.

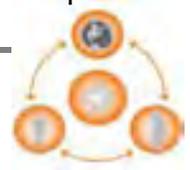
OBJETIVOS PARTICULARES

- Identificar y definir los elementos de diseño de iluminación, que se requieren e intervienen para un correcto desempeño y funcionamiento en los edificios de oficinas.
- Contribuir con el estudio de la iluminación artificial desde el enfoque de la salud del ser humano para una posible mejora de la Legislación actual.
- Analizar las horas de luz disponibles en la latitud de México, D.F. para plantear las variaciones de la iluminación artificial y poder establecer una tipología para su posible simulación.
- Evaluar las diferencias entre condiciones habituales de iluminación y condiciones propuestas de variación con la iluminación biodinámica, tomando como referencia la revisión documental más reciente, para la comprobación de los beneficios del sistema.
- Determinar los incrementos de productividad y mejora en calidad de vida del usuario, para documentar el costo-beneficio que se obtenga como consecuencia del uso de este sistema.
- Analizar las variaciones y efectos física, biológica y psicológicamente, que se producen en el ser humano al utilizar la luz biológico-dinámica en sus espacios laborales.

JUSTIFICACIÓN

La importancia del presente trabajo radica en los siguientes aspectos:

- El estudio se refiere a un tema de gran interés, pues se plantea la elaboración de un sistema de iluminación biológico-dinámica en edificios de oficinas, espacios en donde el ser humano pasa incluso más de 8 horas diarias según las estadísticas; además de que se obtendrían beneficios para un gran número de la población.
- La propuesta tendrá un impacto económico en México, ya que a pesar de que tenemos un clima benéfico que nos permite tener bastantes horas de luz solar; la mayoría de los trabajadores se desempeña en



espacios con luz artificial; por lo que al obtener incrementos en su productividad los empresarios obtendrían incrementos en sus ganancias, esto aunado a la reducción de gastos de operación y mantenimiento; serían factores que motivarían a invertir en estas nuevas tecnologías, ya que tendrían un retorno de inversión a corto plazo.

- La investigación tendrá repercusiones a nivel social, debido a que se pretende lograr que se considere al trabajador como un ser humano y como un individuo que merece tener las condiciones espaciales necesarias para desempeñarse adecuadamente en el ámbito laboral y que mediante estas, obtenga un incremento en su calidad de vida, cuidando su salud física y mental.

METODOLOGÍA

El presente trabajo de investigación, tendrá como base general de metodología para su desarrollo, el MÉTODO SISTÉMICO, debido a que el enfoque de sistemas se refiere a la decisión de estudiar el sistema en su conjunto, la conceptualización de éste y la recolección de datos que servirán para su análisis. Por ello, el análisis de un sistema consiste en su disección, al menos conceptual, para establecer las partes que lo forman; y para comprender su comportamiento es necesario también saber cómo se integran, cuales son los mecanismos, y como se forma la síntesis de las partes del sistema.

El enfoque sistémico pone en primer plano el estudio de las interacciones entre las partes y entre éstas y su entorno, en este caso se analizará principalmente el estado del arte, agrupando los trabajos más recientes y los estudios multidisciplinarios, en los que participan investigadores del área luminotécnica y médica tanto a nivel académico, como nacional e internacional; con el fin de obtener la mayor información objetiva que pueda relacionarse con la influencia de la iluminación artificial y su impacto sobre la salud del ser humano. Tomando como referencia por una parte, las investigaciones y teorías que se centran en los tres sistemas a través de los cuales la luz influye en las condiciones del ser humano:

1. Sistema Visual
2. Sistema Perceptivo
3. Sistema Circadiano



Ilustración 1. Metodología a partir de los 3 sistemas de percepción de la luz.



La "Teoría General de Sistemas" fue desarrollada por el biólogo Ludwig von Bertalanffy en el año 1940, el cual se interesaba particularmente en sistemas abiertos, lo que nos indica que todo se interrelaciona y se ve afectado por otros factores.

Una Teoría General de Sistemas, idealmente aplicable a cualquier sistema real o imaginable, deberá poder tratar sistemas con cualquier número de variables de carácter continuo o discreto. Así, por ejemplo, en las variables planteadas en la hipótesis de esta investigación, (el nivel de iluminación y temperatura de color como variables independientes, y productividad y salud laboral como dependientes), se podrá distinguir entre las variables de entrada generadas por el entorno y las variables de salida generadas por el propio sistema.

A mi consideración es el más adecuado por el tipo de problema, y se va a hacer mucho más énfasis en la investigación documental, y en analizar el papel actual que juega la iluminación artificial en la arquitectura. Por lo cual la metodología sería la siguiente:

1. Definición del Sistema con el máximo detalle.
2. Elección del método para realizar el estudio
3. Variables a incluir en el modelo:
 - Variables independientes (Nivel de iluminación y Temperatura de color)
 - Variables dependientes (Productividad y Salud Laboral)
4. Recolección y análisis de los datos del sistema.
Mediante técnicas de investigación como el método sociológico, método experimental, y método prospectivo.
5. Definición de la estructura del modelo.
6. Programación del modelo.
7. Validación del modelo.
8. Análisis y crítica de los resultados

De todas estas etapas, las cuales considero todas ellas importantes, es conveniente resaltar la importancia de la primera, hasta el punto de que se indica que lo más importante para encontrar la solución a un problema es plantearlo adecuadamente.

Debido a la finalidad perseguida en este trabajo, se puede considerar que es una Investigación Aplicada, o algunas veces llamada Investigación Técnica, ya que esta tiende a la resolución de problemas o al desarrollo de ideas, a corto o mediano plazo, dirigidas a conseguir innovaciones, mejoras de procesos o productos, incrementos de calidad y productividad ¹¹; los cuales son algunos de los objetivos de esta investigación.

Es por ello la selección de esta metodología como base general, mediante la cual se buscan obtener resultados eficientes y no dejar de lado fases importantes del proceso investigador o efectuar experiencias innecesarias, todo esto con la finalidad de poder llevar a término la investigación en tiempo y forma.

¹¹ Definición dada por la Ponencia de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico. Cegarra, 2004



Debido a los objetivos particulares que se tienen, se utilizarán diferentes técnicas de investigación como apoyo y complemento al método sistémico. Tal es el caso de las técnicas del método sociológico, ya que se pretender reunir datos y sacar conclusiones, esto mediante la observación, la entrevista y el cuestionario entre otros, para cumplir con el objetivo en particular de determinar los incrementos de productividad y mejora en calidad de vida del usuario, y también el analizar las variaciones y efectos física, biológica y psicológicamente que se producen al utilizar la luz biológico-dinámica, como una alternativa para el nuevo diseño de oficinas en México.

En el desarrollo de la investigación también se utilizarán técnicas del método experimental, para poder analizar las horas de luz disponibles en la latitud de México, para que a partir de esto se pueda plantear las variaciones ideales de la iluminación artificial y en este caso de la iluminación biodinámica. Y por último tendrá parte de ser un ejercicio prospectivo, ya que se pretende contribuir con el estudio de la iluminación artificial desde el enfoque de la salud del ser humano para una posible mejora a la Legislación actual.



1 DESARROLLO DE MARCO TEÓRICO

1.1 NATURALEZA DE LA LUZ

La luz (del latín lux, lucis) es una onda electromagnética, compuesta por partículas energizadas llamadas fotones, capaz de ser percibida por el ojo humano y cuya frecuencia o energía determina su color. La ciencia que estudia las principales formas de producir luz, así como su control y aplicaciones se denomina luminotecnia. Es decir la luz es una forma de energía.

A lo largo de la historia, se han dado diferentes teorías y conceptos en torno a la luz. En el siglo V a.c., el filósofo Empedocles dijo que la luz era una sustancia fluida emitida por el sol y que su movimiento no se notaba a causa de su gran velocidad. Consideraba que los ojos emitían una especie de rayos luminosos, tanto Platón como Euclides compartían esta misma creencia, diciendo que el rayo tenía que llegar antes al objeto, para posteriormente poder verlo. Aristóteles discrepó de esta teoría, razonando que de ser cierto, seríamos capaces de ver en la oscuridad.

El científico árabe Alhazen , demuestra que la luz entra en los ojos y no a la inversa, y varios siglos más tarde Leonardo da Vinci comprobó que el ojo se parece a la cámara oscura, en la que la luz penetra a través de un pequeño orificio y forma en la pared opuesta una imagen invertida del mundo exterior; este hecho fue experimentado por descartes como funcionamiento del ojo.

1.1.1 ASPECTOS FÍSICOS DE LA LUZ



Ilustración 2. Teoría Corpuscular de la luz.

En el siglo XVII Newton demostró que la luz blanca al hacerla pasar por un prisma se descompone en todos los colores del espectro, consiguiendo descomponer la luz solar en los colores del arco iris y volverla a recomponer haciéndola pasar de nuevo por otro prisma; éste es el origen de la “Teoría Corpuscular de la luz”. (Ver ilustración 2)

Maxwell, a mediados del siglo XIX, estudiando la electricidad y el magnetismo comprobó que ambos fenómenos se propagaban a la velocidad de la luz, llegando a la conclusión de que la luz era una onda electromagnética, confirmando la “Teoría ondulatoria de la luz”

La propagación de la luz por el espacio se comprende mejor si la consideramos como una onda; al llegar al ojo las ondas luminosas son desviadas y concentradas a su paso por la córnea y el cristalino para alcanzar la retina; ésta con su denso tapiz de células (conos y bastoncillos) recibe la luz y actúa como formada por partículas de energía (fotones) que interactúan con los pigmentos de conos y bastoncillos determinando el envío de impulsos al cerebro, que los analiza y convierte en sensaciones visuales, distinguiendo incluso los colores.

La propagación de la luz por el espacio se comprende mejor si la consideramos como una onda; al llegar al ojo las ondas luminosas son desviadas y concentradas a su paso por la córnea y el cristalino para alcanzar la retina; ésta con su denso tapiz de células (conos y bastoncillos) recibe la luz y actúa como formada por partículas de energía (fotones) que interactúan con los pigmentos de conos y bastoncillos determinando el envío de impulsos al cerebro, que los analiza y convierte en sensaciones visuales, distinguiendo incluso los colores.



1.1.2 ESPECTRO VISIBLE

El hombre es ciego para la mayoría de las longitudes de onda de la luz incluidas las ondas largas de radio, ondas cortas, como los rayos ultravioleta, rayos X, rayos gamma. Es por ello que debemos diferenciar lo que son las radiaciones energéticas en general, de lo que se define como LUZ, es decir “ Las radiaciones que son capaces de excitar la retina humana “, quedando acotada esta energía entre dos límites específicos de longitudes de onda de la radiación. Es importante recalcar que la luz (radiación) no se ve, lo que se ve son los objetos iluminados.

Estos límites que corresponden a las denominadas ondas luminosas, no son absolutamente rigurosos, ya que dependen de varios factores, como la intensidad energética, la capacidad de visión de cada individuo y del grado de fatiga que en un momento determinado tenga el ojo, pero que se han fijado como valores teóricos 380 y 780nm, siendo las únicas radiaciones que son capaces de activar la retina del ojo humano, para producir la sensación visual. (Ver ilustración 3)

Este espectro visible, se divide en seis tramos, que se corresponden con los colores fundamentales en los que se descompone la luz blanca por medio de un prisma; siendo en un orden de longitud de onda creciente: violeta, azul, verde, amarillo, naranja y rojo.

1.2 EL COLOR Y LA LUZ

Inicialmente hay que considerar que el color no es una propiedad de los cuerpos, si no que es una propiedad de la luz; las sensaciones cromáticas dependen de la composición espectral de la luz y también de las propiedades de absorción, reflexión y transmisión de los cuerpos.

Los componentes implicados en el proceso de la visión son: la fuente de luz, el objeto visualizado, el ojo y el cerebro, y todos ellos intervienen en la sensación final, que se verá alterada por la variación de cualquiera de los componentes.

La presencia de la luz produce una serie de estímulos en nuestra retina y unas reacciones en el sistema nervioso, que comunican al cerebro un conjunto de sensaciones cromáticas (colores), cada longitud de onda de luz , originan una determinada sensación de color. El color es por lo tanto, una interpretación psicofisiológica del espectro electromagnético visible.

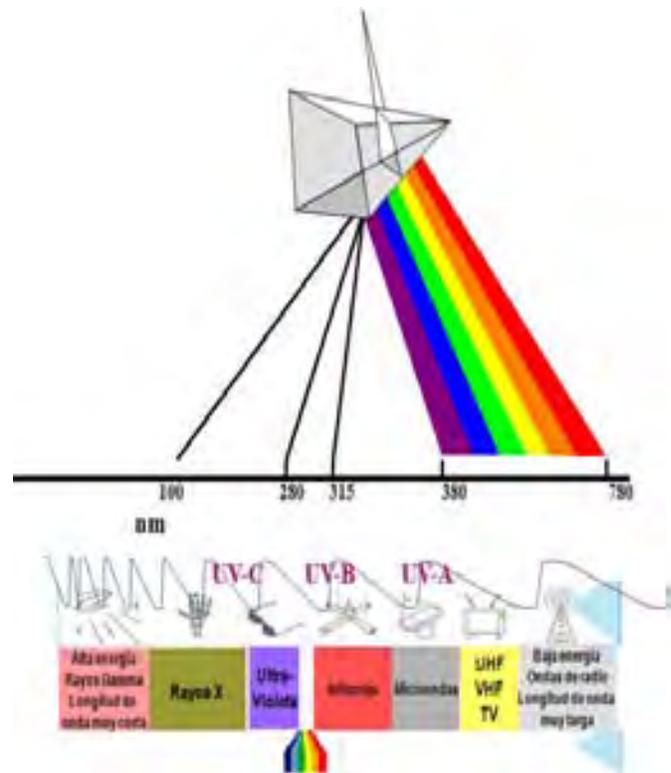


Ilustración 3. Espectro visible 380nm A 780 nm aproximadamente



1.2.1 COMPOSICIÓN ESPECTRAL DE LA LUZ

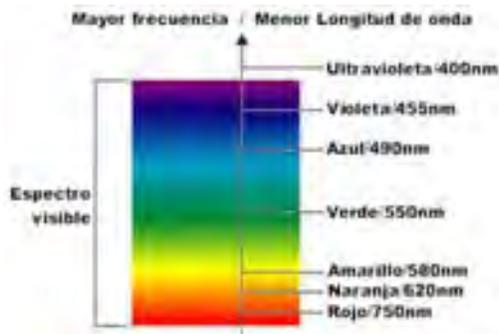


Ilustración 4. Longitudes de onda del espectro visible

La luz blanca del día está compuesta por un conjunto de radiaciones electromagnéticas con diferentes longitudes de onda, dentro de la zona del espectro visible (380-780nm). (Ver ilustración 4)

El que no podamos ver directamente los componentes cromáticos de la luz blanca del día, se debe a que si sobre nuestro cerebro actúa un conjunto de estímulos espectrales diferentes, éste no distingue cada uno de los componentes por separado, produciendo una especie de efecto aditivo, que constituye como resultado el “color de la luz”.

Se ha demostrado que un haz de luz blanca obtenido a partir de luz solar, puede dispersarse por medio de un prisma en forma de un espectro¹², Newton identificó siete colores diferentes en el espectro, pero observó que se mezclaban unos con otros apareciendo diferentes grados de colores. Otros dos hechos que descubrió también fueron que las propiedades de los rayos o las longitudes de onda no se alteraban por la refracción o la reflexión y que diferentes longitudes de onda podían combinarse para dar la misma luz blanca que antes. También demostró, que los colores producidos por la mezcla de distintas longitudes de onda, podrían dar el mismo efecto visual que una longitud de onda intermedia, pero haciendo hincapié en que sus composiciones espectrales serían diferentes; estos experimentos establecieron los fundamentos de la ciencia de la colorimetría.

1.2.2 COLORIMETRÍA. MEZCLA DE COLORES

Las leyes de mezcla de colores se establecieron en 1860 cuando Maxwell inició sus trabajos sobre las cantidades de luz roja, azul y verde, necesarias para generar los colores con las diferentes longitudes de onda del espectro.

Existen dos hechos experimentales y fundamentales en la colorimetría los cuales son:

- Cualquier color puede ser imitado exactamente o simulado visualmente, por una combinación de no más de tres radiaciones primarias, adecuadas a veces, con el uso necesario de una cantidad negativa de uno o dos de los primarios.
- Las relaciones aditivas de la mezcla de colores se mantienen en un amplio rango de condiciones de visualización.

Por lo que estas mezclas se denominan “tricromáticas”, debido a que partiendo de tres colores primarios, se obtienen tres colores secundarios. Los colores más utilizados en combinaciones como estímulo de color de referencia, son el rojo, verde y el azul, principio en el cual se basa la llamada tecnología RGB¹³.

¹² Newton, “Opticks. Un tratado de las reflexiones, refracciones, inflexiones y colores de la luz”, Inglaterra, 1704

¹³ RGB. Por sus siglas en ingles (red, green y blue)



1.2.3 SISTEMAS DE ORDENACIÓN DE COLORES

Se estima que hay al menos unos diez millones de colores que se detectan como diferentes, por lo cual, para fines prácticos, se requiere una organización de la forma más lógica posible, para poder definir un color sin necesidad imperiosa de tener una muestra del mismo, para lo cual, se han ideado los sólidos de color, los atlas de color y los diagramas de color, en los cuales, se han organizado de una manera específica, los colores que quedan perfectamente definidos por sus coordenadas, su posición o por un atributo específico, según sea el caso.

1.2.3.1 SISTEMA MUNSELL

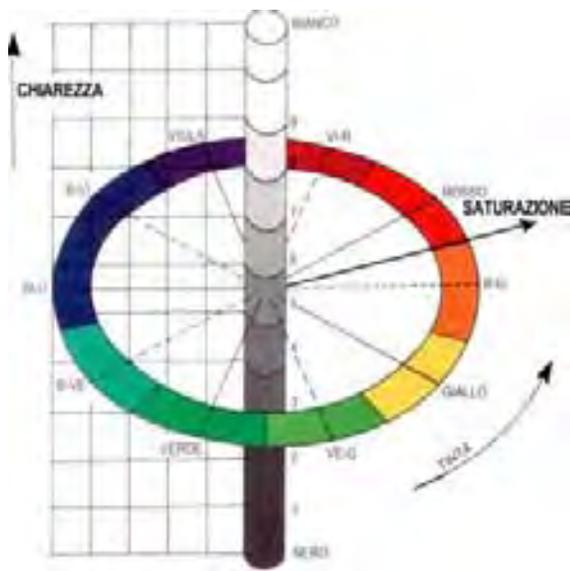


Ilustración 5. Gráfica del Sistema Munsell

Es uno de los más conocidos y se debe a Munsell¹⁴ y se basa en los tres conceptos genéricos de la física del color, es decir, el tono, la luminancia y la cromaticidad o saturación, llevados a un muestrario en forma de carta de colores.

En el Eje vertical central, denominado escala de valor (luminosidad), va desde el blanco en la parte superior, hasta el negro en la parte inferior, con nueve tonos de grises, separados por igual entre ellos. Los colores saturados se disponen en el ecuador del sólido, dividido en diez matices o colores azul, verde, amarillo, rojo púrpura; cada uno de los cuales se divide en diez divisiones o pasos. (Ver ilustración 5) La saturación o cromaticidad del color aumenta también en pasos equivalentes, a medida que se aleja del eje central. Un color queda identificado por una combinación de tres números que definen el matiz (color), el valor y la cromaticidad.

1.2.3.2 DIAGRAMA CROMÁTICO CIE

Este sistema, derivado del método de obtención de los colores por medio de mezclas tricromáticas, consiste en la definición de cualquier color por medio de tres coordenadas x,y,z denominadas “coordenadas de cromaticidad”, correspondientes a la luminancia de los tres colores primarios de una mezcla aditiva.

Forma el diagrama una parte curva, que es el lugar geométrico de todas las radiaciones monocromáticas del espectro visible, desde el rojo (780 nm) hasta el violeta (380 nm) cerrado por una recta denominada “línea de púrpura”. En la zona intermedia se encuentra el “punto blanco” que coincide con la suma aditiva de todos los colores del espectro, para el cual los valores (x,y,z) son iguales entre sí. (Ver ilustración 6).

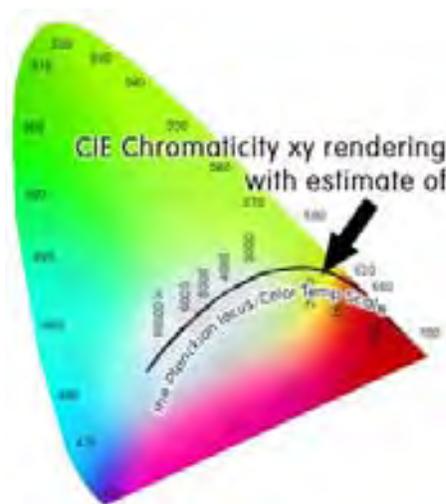


Ilustración 6. Diagrama cromático CIE

¹⁴ Nickerson, 1976



Cada punto del diagrama, equivale a un color definido, cumpliéndose que $x + y + z = 1$ por lo cual, bastará con dos coordenadas x, y ; para definir un color determinado. Dos colores de la curva perimetral son complementarios, si se pueden unir por una línea recta que pase por el punto blanco. Se comprende que el número de colores complementarios sea infinito.

1.2.4 TEMPERATURA DE COLOR

La temperatura de color de una fuente de luz se determina en base a la comparación de un radiador (cuerpo negro) y se grafica en la “Curva de Plank”. Mientras más alta sea la temperatura del cuerpo negro más grande se vuelve el componente azul y más pequeño el componente rojo del espectro. (Ver ilustración 7). Por lo que la temperatura de color de una fuente de luz se puede definir como: la temperatura absoluta (K) a la que el cuerpo negro, emite una radiación luminosa que impresiona al ojo con un color, igual o similar al de la fuente analizada.



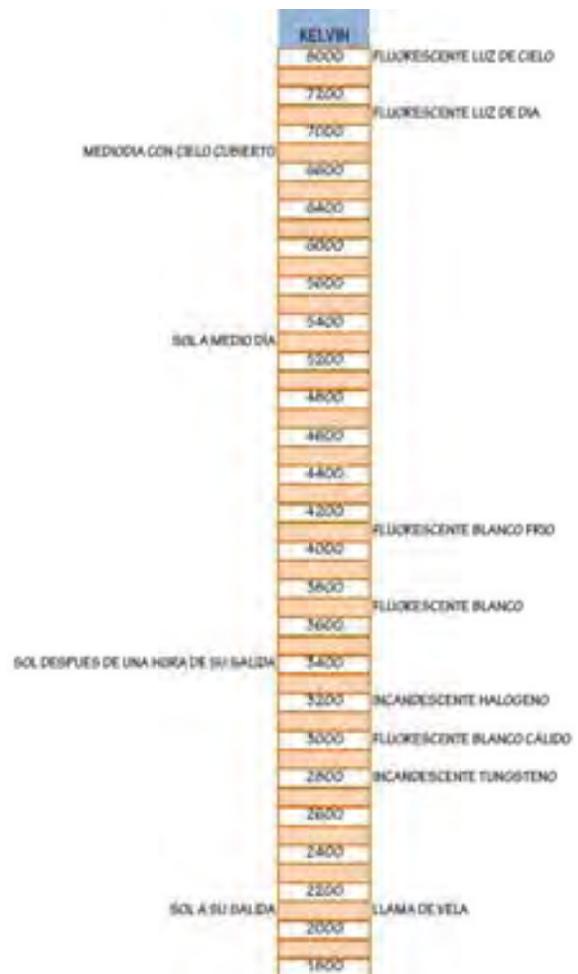
Ilustración 7. Escala de Temperatura de Color

En la Ilustración 8, podemos observar una tabla en la que se especifican diferentes temperaturas de color, tanto de fuentes artificiales, como de fuentes naturales, en donde se muestra su comparación, y donde es más evidente notar los conceptos denominados “luz fría” o “luz cálida” en función de su temperatura de color.

La unidad de medida de la temperatura de color es el kelvin (K), la cual expresa el color de una fuente luminosa por similitud a la del cuerpo negro, esta unidad no es una medida de temperatura propiamente, ya que es un concepto teórico que supone que el cuerpo negro radia toda la energía que recibe.

1.2.5 INDICE DE RENDIMIENTO DE COLOR

El índice de rendimiento de color también llamado índice de la reproducción cromática, es una medida de la correspondencia que hay entre el color que posee un objeto en sí mismo y su apariencia bajo una fuente de luz de referencia. Para determinar los valores del IRC, se iluminan ocho colores de prueba, definidos de acuerdo al DIN6169¹⁵ con la fuente de luz de referencia y con la fuente de luz que está a prueba. La reproducción de colores de una lámpara es medida por una escala llamada CRI (Índice de Reproducción de Colores).



¹⁵ Sylvania, 2008



Cuanto más próximo esté el índice al CRI = 100 (dado a la luz solar), más fielmente los colores serán vistos en la decoración. Una fuente de luz con valor Ra de 100 muestra todos los colores exactamente como aparecen bajo la fuente de luz de referencia. Mientras más bajo sea este valor, peor será la reproducción cromática.

Esto ocurre porque, en realidad, lo que observamos es el reflejo de la luz que ilumina los objetos, ya que en la oscuridad no vemos los colores. La luz es compuesta por los siete colores del arco iris y los pigmentos contenidos en los objetos tienen la capacidad de absorber determinados colores y reflejar otros.

1.3 SISTEMA VISUAL

Se considera que aproximadamente entre el 50 % y el 85% de la información sensorial que recibe el hombre es de tipo visual, para que pueda desarrollarse la actividad laboral de una forma eficaz, es preciso que la luz (característica ambiental) y la visión (característica personal) se complementen.

En el fenómeno que llamamos visión intervienen tres elementos fundamentales, que son la luz, el ojo y el cerebro. El ojo humano posee alrededor de 138 millones de sensores, que absorben la luz reflejada por todos los objetos que nos rodean; sin embargo, el hombre es ciego para la mayoría de las longitudes de onda de las radiaciones electromagnéticas y solamente aquellas ondas, que hemos denominado como luz visible, son capaces de impresionar al ojo. Como se ha mencionado la luz es una forma particular y concreta de energía que se desplaza o propaga, no a través de un conductor, si no por medio de radiaciones, es decir, de perturbaciones periódicas del estado electromagnético del espacio (lo que se conoce como energía radiante), Por ello la propagación de la luz por el espacio se comprende mejor como onda, pero en el ojo, es preferible considerarla como partícula.

1.3.1 EFECTOS ÓPTICOS DE LA LUZ

Los efectos ópticos de la luz, se definen como los efectos que producen estímulos en la corteza cerebral, capaces de transmitir una información visual. Hasta hace algunos años la Luminotecnia había basado sus estudios sobre la luz en estos efectos; debido principalmente a que se estaba tratando únicamente la iluminación artificial, cuyas características propias en cuanto a intensidad y densidad no alcanzan una magnitud notable de influencia, como para considerar también los efectos no ópticos.

Es por esto que al referirnos a efectos ópticos se considera a todos aquellos elementos que forman parte o permiten al sistema de visión en seres humanos, es decir el proceso visual.

1.3.1.1 EL OJO COMO ÓRGANO DE LA VISIÓN

El ojo es el órgano fisiológico mediante el cual se experimentan las sensaciones de luz y color en el ser humano. Este transforma la energía luminosa en energía eléctrica que es transmitida al cerebro a través del nervio óptico. Al llegar al ojo las ondas luminosas, son desviadas y concentradas a su paso por la córnea y el cristalino, para alcanzar la retina (situada en el fondo del ojo), donde existe una gran cantidad de células sensibles a la luz, y actuando sobre ellas, como una gran cantidad de partículas de energía (fotones), que interactúan con los pigmentos de dichas células (conos y bastoncillos) determinan un impulso nervioso, que es enviado por el nervio ocular hasta el cerebro, y allí, éste los analiza y los convierte en sensación visual (color).



1.3.1.2 CONSTITUCIÓN FISIOLÓGICA DEL OJO HUMANO

La posición de los ojos junto al cerebro, semiprotégidos por la cavidad craneana, refleja de algún modo la importancia que le da nuestra propia anatomía. El ojo está constituido por un conjunto de elementos: Órganos anejos y Globo ocular.

Los órganos anejos son las cejas, los párpados y las pestañas, los cuales tienen una misión específica todos ellos, de protección y limpieza, ante la posibilidad de entrada de cuerpos extraños, polvo, sudor, etc., dentro del ojo. Existen unas glándulas lagrimales que sueltan un líquido limpiador (lágrima) y que el movimiento constante de los párpados (parpadeo), reparte por el frente del globo ocular siendo posteriormente conducido por los orificios lagrimales, hacia la nariz.

La parte más importante es el globo ocular, que tiene forma esferoidal y se encuentra en el interior de una cavidad craneana denominada órbita ciliar, unido a ésta por seis músculos, cuatro de ellos denominados "rectos" (exterior, interior, superior e inferior) y los otros dos denominados "oblicuos" (menor y mayor) que permiten la movilidad del globo, dentro de la órbita, tanto en sentido horizontal como en sentido vertical.

El globo ocular para su estudio, se divide principalmente en dos partes fundamentales, medios transparentes y membranas opacas, que a su vez se subdividen en sus componentes. Los medios transparentes constituyen la óptica del ojo, y es el camino a través del cual penetra la luz hasta llegar a la retina. Está formado por la cornea, el iris, la pupila y el cristalino. (Ver ilustración 9)

La cornea es una membrana transparente situada en la parte anterior del ojo, formando parte de la primera membrana (esclerótica), a través de la cual pasa la luz al iris (parte coloreada del ojo). El iris se encuentra detrás de la cornea y gradúa automáticamente la entrada de luz en el ojo.

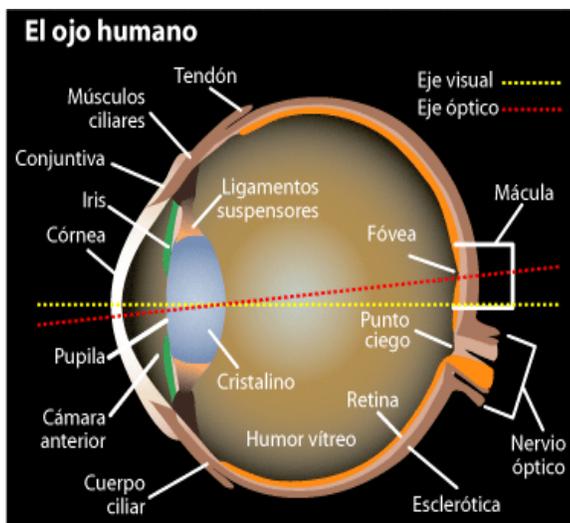


Ilustración 9. Fisiología del ojo humano

La pupila forma parte del iris y consiste en un orificio circular del mismo, a través del cual pasa la luz al interior del ojo, actuando de forma conjunta con el iris para regular la entrada de luz, constituyen un auténtico diafragma de adaptación automática, es decir el orificio varía su diámetro en función de la luz entrante.

El cristalino se encuentra detrás del iris y consiste en una membrana transparente, que actúa como lente biconvexa (una especie de lupa) y su cometido es enfocar los rayos luminosos sobre la retina. El cristalino puede variar su curvatura, para enfocar a diversas distancias, este ajuste se consigue mediante unos pequeños nervios denominados músculos ciliares, que modifican su forma y la potencia de esta lente para así mantener una imagen limpia en la retina.



Entre la córnea y el iris hay un espacio denominado cámara anterior y se encuentra lleno de un líquido transparente, muy rico en agua, cuya misión es mantener hidratada la córnea y que así sea transparente, este líquido se denomina humor acuoso. En la parte posterior al cristalino y hasta la retina, formando el globo se constituye una segunda cámara denominada cámara posterior, que está ocupada por otro líquido, gelatinoso, denominado humor vítreo, proteína transparente que mantiene tenso el globo ocular.

Las membranas opacas son: la esclerótica, las coroides, y la retina. La esclerótica es la membrana más externa dura y resistente, formada por un tejido translúcido de color blanco, que sirve de protección al ojo. La coroides es la segunda membrana, blanda, de color oscuro, que es atravesada por numerosos vasos sanguíneos, que aportan oxígeno y sustancias nutritivas a todo el ojo. En la parte anterior la coroides se prolonga en forma de corona circular coloreada, formando el iris y dejando una pequeña apertura, que es la pupila.

La Retina es la membrana más interna que ocupa dos terceras partes del ojo, de color amarillento, donde se alojan las células nerviosas y foto receptoras. En la retina hay dos tipos diferentes de células foto receptoras; unas denominadas bastoncillos que reaccionan frente a la luz tenue y no perciben el color; y otras denominadas conos que distinguen las longitudes de onda de los diferentes colores.

1.3.1.3 PERCEPCIÓN VISUAL

La sensibilidad del ojo a las radiaciones luminosas es diferente para cada longitud de onda del espectro electromagnético visible. Si cada una de las radiaciones que contiene la luz blanca, la hiciésemos llegar al ojo independientemente, éste las captaría cada una de ellas con distinta intensidad, debido a que la sensibilidad de los conos de la retina es diferente para cada color.

La visión humana puede ser clasificada en tres tipos diferentes;

- Fotópica ó diurna, bajo condiciones normales de luz. Se produce cuando el ojo está adaptado a luminancias superiores a 3cd/m^2 . Las células de la retina, conos, posibilitan una visión normal de los colores.
- Escotópica ó nocturna, bajo condiciones de poca luz. Se produce cuando el ojo está adaptado a luminancias inferiores a 0.25cd/m^2 . No existe sensación de color
- Mesotópica, bajo condiciones intermedias entre las dos anteriores.

El ojo tiene también dos propiedades importantes:

- Adaptación: Es el proceso que se produce cuando el ojo se ajusta a la luminosidad y/o al color del campo de visión. Esta función es realizada por el ajuste del tamaño de la pupila, actuando como un diafragma, con su movimiento de cierre y apertura en función de la iluminación que ha de llegar al cristalino.
- Acomodación: Capacidad para ajustarse a las distancias que se encuentran los objetos, para conseguir una imagen nítida. Se puede decir que es la capacidad de enfoque del ojo.

El campo visual del hombre está limitado por un ángulo de unos 130° en sentido vertical y de unos 180° en sentido horizontal. Bajo condiciones de luz de día cuando la visión es Fotópica, los conos en la retina actúan como receptores primarios. El ojo tiene tres tipos de conos, los cuales son sensibles a cortas, medias y grandes



longitudes de onda dentro del espectro de luz visible. (Ver ilustración 10) Cada grupo de conos transmite la información que recibe al cerebro, el cual las combina para producir la sensación final de color. Esto nos permite además percibir pequeñas variaciones en las longitudes de onda y por lo tanto de color. Cuando la visión es Fotópica, el ojo es más sensible a la longitud de 555nm (situado en la región verde-amarillo del espectro electromagnético de luz visible). Este coincide con el color de la Clorofila a la luz del sol.

El ojo humano tiene una mayor sensibilidad, en visión diurna o fotópica, es nueve veces más sensible a la longitud de onda 555nm, verde, que a longitudes cercanas como son 480nm azul y 650nm rojo. En visión nocturna hay un desplazamiento hacia la derecha¹⁶ y las radiaciones de menor longitud de onda (violeta y azul) provocan más sensación de luminosidad con baja, que con alta iluminación, y a la inversa con los colores del extremo del ojo.

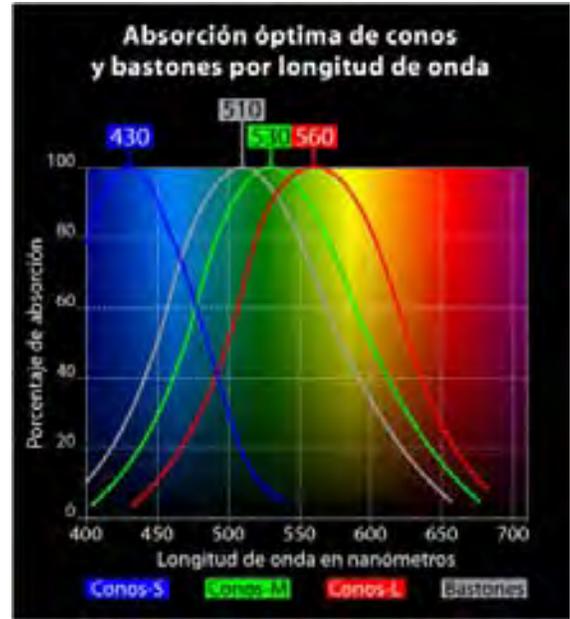


Ilustración 10. Visión Fotópica - Absorción de conos y bastones por longitud de onda

Las radiaciones más intensas de energía solar se encuentran en la zona verde y azul del espectro de luz visible; sin embargo estos colores tienen cortas longitudes de onda y por esto son más fácilmente afectados por los efectos de dispersión causados por las moléculas presentes en la atmósfera (por ejemplo las moléculas de agua). Ya que el azul es el color que tiene la longitud de onda más corta, es el color que resulta más fácil de dispersar, y esta dispersión de las ondas azules es la razón por la cual el cielo se ve azul.

Las longitudes más largas como son las del amarillo y rojo no se dispersan tan fácilmente, por lo tanto pueden llegar más directo al ojo. Esto explica porque el sol se ve amarillo, naranja o rojo. Cuando las partículas presentes en la atmósfera son grandes, como por ejemplo gotas de agua, arena o polvo, estas dispersan las ondas de una manera muy uniforme por lo que únicamente podemos ver una escena nebulosa o de un solo tono. Esta es la razón por la que las nubes se ven blancas y en un día lluvioso se ven grises.

En condiciones de poca luz, cuando la visión es Escotópica (Ver ilustración 11), los bastones en la retina se convierten en los receptores primarios. Los bastones son capaces de percibir sombras pero no color. Cuando la luz baja, la sensibilidad de los conos cambia y se hacen más sensibles a las longitudes de onda alrededor de 510nm (azul - verde). Este color coincide con el de la Clorofila a la luz de la luna.

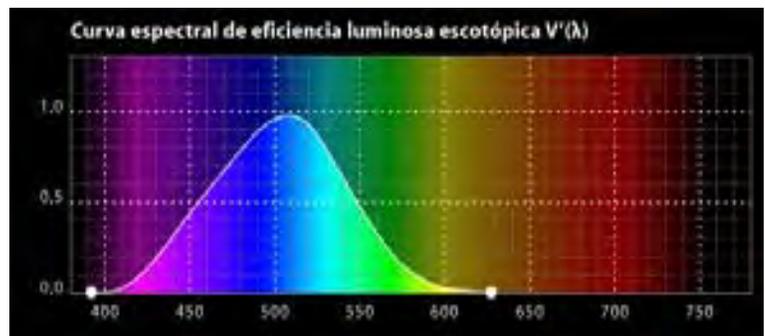


Ilustración 11. Curva espectral de eficiencia Escotópica

¹⁶ Efecto Purkinje



Cuando se empieza a oscurecer el ojo no puede cambiar inmediatamente de visión Fotópica a Escotópica por lo que este cambio se hace paulatinamente pasando por un periodo transitorio llamado de visión Mesotópica. Este periodo transitorio es el periodo durante el cual el ojo empieza a adaptarse a la oscuridad y representa un rasgo evolutivo que se explica a continuación:

Durante el crepúsculo, el sol se encuentra en una posición más baja en el cielo por lo que las ondas de energía tienen que recorrer más distancia a través de la atmósfera hasta llegar al ojo. Esto causa dos efectos principales: Las longitudes de onda más largas como amarillo y rojo se hacen más dispersas. Esto explica porque vemos más naranja o rosa el cielo en el crepúsculo. Cada vez menos longitudes de onda cortas como azul y verde llegan al ojo. El crepúsculo es el momento del día en que los depredadores nocturnos se hacen más activos mientras los humanos bajan su actividad. Mientras menos luz azul y verde llega a nuestro ojo durante el crepúsculo, nuestra habilidad para ver decrece sustancialmente.

La respuesta evolutiva a este problema fue la posibilidad del ojo de cambiar de la máxima sensibilidad 550nm cuando la visión es Fotópica (durante el día) a 510nm durante el crepúsculo y entrar a la fase Mesotópica hasta llegar a la visión Escotópica (nocturna). Este cambio en la sensibilidad significa que el ojo puede seguir viendo las longitudes de onda cortas y es posible ver más tiempo hasta que se llega a la oscuridad total. Esto explica también porque el ojo humano tarda más tiempo en cambiar de visión Fotópica (durante el día) a Escotópica durante la noche.

1.3.2 EFECTOS NO ÓPTICOS DE LA LUZ

Si se considera que la principal fuente de iluminación es la iluminación natural, proveniente de la radiación solar; la industria de la luminotecnia no puede considerar únicamente los efectos ópticos de la luz que hemos mencionado; dado que la influencia biológica de la luz es mucho más amplia y afecta a otros diversos aspectos. Se debe contemplar entonces, que la radiación solar ha sido el medio energético en cuyo entorno se han desarrollado y evolucionado los seres vivos terrestres. Nuestro organismo es el resultado de una adaptación a la composición espectral, intensidad, ciclos de evolución de la luz natural, y la influencia que ejerce sobre nuestro organismo sobrepasa la percepción visual.¹⁷

En el cuerpo del ser humano, se tienen diferentes foto receptores, además del sistema visual que es sensible a la luz del sol. Las radiaciones del espectro electromagnético que inciden sobre los efectos no ópticos van del ultravioleta UV (100-400nm), pasando por el visible (400-780nm), hasta el infrarrojo IR cercano (780nm-1400nm); las cuales tienen diversos efectos en nuestro organismo, mismas que en la actualidad se han aprovechado de maneras diferentes para obtener algunos beneficios y aplicaciones, sobre todo en el ámbito médico. (Ver Tabla 1).

Los efectos no ópticos en su mayoría afectan de manera física al ser humano, dentro de estos, encontramos importantes procesos de regulación fisiológica que guardan relación con los relojes y los ritmos biológicos, el síndrome de depresión estacional SAD¹⁸, el Jet Lag, alteraciones del sueño, desincronización, por mencionar algunos.

¹⁷ Murguía L y San Martín, 2002

¹⁸ S.A.D por sus siglas en inglés Seasonal Affective Disorder.



EFFECTOS ó APLICACIONES	ULTRAVIOLETA (100-400 nm)	VISION INFRARROJO CERCANO (380-1400nm)	INFRARROJO (ARRIBA DE 1400 nm)
PIEL	Eritema Fotocarcinogénesis Envejecimiento Cutáneo Fotoinducido Fotosensibilidad a las drogas Malanogenesis Melanoma	Quemaduras Eritema (térmico, inmediato) Fotosensibilidad a las drogas	Quemaduras Eritema (térmico inmediato)
OJO CÓRNEA LENTE RETINA	Fotoconjuntivitis Fotoqueratitis Cataratas (inmediatas y a largo plazo) Coloración Esclerosis Cambios retinales	Cataratas infrarrojo-cercano Lesión térmica Lesión de choque Retinitis solar (lesión fotoquímica) Degeneración retinal	Quemaduras Conmociones Cataratas infrarrojo
FOTOTERAPIA	Psoriasis Herpes Simple Odontología Vitiligo, fotoquimioterapia Micosis	Desprendimiento de Retina Retinoterapia diabética Bilirubinemia Glaucoma Borrar manchas de oporto y tatuajes Terapia Fotodinámica Cirugía Depresión invernal Desorden Afectivo Estacional SAD Jet lag Terapia de Laser bajo nivel	
BENEFICIOS	Vitamina D Pigmentación protectora	Ritmos Biológicos Actividad Hormonal Comportamiento	Calor radiante

Tabla I. Efectos no ópticos de la luz en el ser humano. Fuente: Murguía, L. y San Martín, R. "Efectos no ópticos de la luz sobre el ser humano". LUCES Revista Semestral del Comité Español de Iluminación. No. 19:31-39, España, 2002

A nivel fisiológico se han encontrado dos rutas bien definidas de acceso de información a partir de la luz, las cuales provocan impulsos nerviosos en nuestro cerebro. Ambas rutas se generan en la retina pero después se separan. Una de ellas se dirige hacia la corteza visual a través del Núcleo Genicular Lateral (LGN), y la otra va hacia el hipotálamo vía Núcleo Supraquiasmático (SCN), generando consecuencias fisiológicas importantes.

La primera ruta ha sido bastante estudiada durante muchos años y ha servido para establecer los mecanismos de visión y percepción del ser humano a partir de la luz, pues muestra cómo se codifica la información en nuestro cerebro generada por los estímulos lumínicos de radiación óptica, incidiendo directamente sobre la retina o bien sobre todos los objetos que componen nuestro entorno, de tal manera que podemos reconocer cuanto nos rodea.



La segunda, ruta la no óptica es aquella a través de la cual se genera una sincronización con el ambiente geofísico. Se trata de una ruta nerviosa especial a lo largo de la cual se transmite información sobre el nivel de la luz ambiental desde la retina hasta el reloj biológico, el cual está localizado en la región del hipotálamo, ubicado a su vez, en el centro del cerebro.

La luz actúa fundamental y prevalentemente en el núcleo supraquiasmático (SCN). Descubrir cómo influye la luz es uno de los éxitos de la biología molecular de los últimos años. El SCN es el marcapasos principal que gestiona todos los marcapasos periféricos, ya que cada órgano posee su propio marcapasos: el hígado y el corazón, por ejemplo, poseen su SCN gestionado por el SCN central. El SCN se encuentra en la zona del hipotálamo y es un núcleo muy pequeño, que contiene aproximadamente 20000 células nerviosas, es tan pequeño que hasta finales de la década de los setenta no se estaba seguro de su existencia ya que para su identificación se requirieron avanzadas técnicas microscópicas. Su funcionamiento se descubrió hace unos treinta años gracias a los estudios de la mosca de la fruta o del vinagre (drosophila) en la cual se observaron unas mutaciones genéticas que producían modificaciones químicas en una de sus cepas, las cuáles afectaban su ritmo circadiano ya fuese avanzándolo o retrasándolo o anulándolo por completo.

Los principales agentes involucrados en este complejo nivel fisiológico son: el Núcleo Supraquiasmático (SCN), el Núcleo Paraventricular (NPV), la Médula espinal, el Ganglio cervical superior (GCS) y la Glándula Pineal, sitio en donde se produce la melatonina y hormona del sueño, misma que está vinculada estrechamente con el ciclo luz-obscuridad. (Ver ilustración 12)

A partir de algunos estudios se ha descubierto que los ratones sin nervios ópticos mantienen un ritmo circadiano y que ni los conos ni los bastones de su aparato logran regular el ritmo circadiano; por lo tanto es la retina que posee un sistema visual completamente diferente al de los conos y bastones, un sistema que no tiene ninguna relación con la visión sino que sólo sirve para el ritmo circadiano, como una facultad sensitiva no percibida, intrínseca a la retina de todos los mamíferos.

Los conos y los bastones no efectúan la transducción de la señal luminosa sino que la efectúan algunas células ganglionares especiales de la retina que representan el 2-5% de todas ellas. Estas células ganglionares son muy especiales, diferentes y más ramificadas que las que sirven para la visión, estas células fotosensibles son muy sensibles a la longitud de onda de 484nm, es decir, a la luz azul. Por lo tanto existe una selectividad específica a la luz azul por parte del sistema circadiano y sólo esta luz lo puede restablecer; este es un dato muy importante debido a la propia naturaleza del ser humano, ya que estamos acostumbrados a percibir la luz natural, punto que trataremos más a fondo al describir el sistema circadiano.



Ilustración 12. Hipotálamo humano y sus núcleos.



1.4 SISTEMA CIRCADIANO

Los relojes biológicos son neuromecanismos capaces de medir el tiempo y señalar al organismo que comience o cese periódicamente su actividad. El concepto de CICLO ó RELOJ CIRCADIANO, quiere decir que existe un orden temporal interno. En el cuerpo humano existen múltiples sistemas que actúan de forma cíclica cuyos periodos varían mucho dependiendo de su función; como por ejemplo, frecuencias altas, como es el caso de los latidos del corazón, frecuencias medias, como el sueño o frecuencias lentas como los ciclos reproductivos.

El término ritmo circadiano¹⁹ proviene del griego *circa* que significa alrededor o cerca y *diano* que significa día, es decir “cada día”, y de acuerdo con Golombek y Cardinali²⁰ son los ritmos que más atención han recibido, debido a la importancia que se le ha dado en la ciencia biomédica.

El orden temporal interno se refiere a que los seres humanos vivimos en una dimensión de veinticuatro horas, y que en función de la latitud, localización y momento del año, somos expuestos a un período diurno y a un periodo nocturno. Es decir que la luz regula nuestro organismo, puesto que somos afectados por las variaciones de intensidad de esta y por la duración de la exposición a la luz determinada por el ciclo noche-día. Esto explica un proceso evolutivo dando como resultado que el hombre enfrentado a su medio natural, se rija por la variación entre noche y día, dedicando una parte al descanso y otra a la actividad física.

Cualquier variable de nuestro organismo cambia en función del momento en que éste se encuentre; por ejemplo, la temperatura, dentro de un rango fisiológico, aumenta durante el día, luego se estabiliza y vuelve a aumentar durante la tarde, disminuyendo en la noche. En el caso de la circulación, la frecuencia cardiaca aumenta durante el día, hasta llegar a un pico, y luego disminuye, y aumenta y disminuye en la noche, lo que ocurre en forma sucesiva todos los días. (Ver ilustración 13)

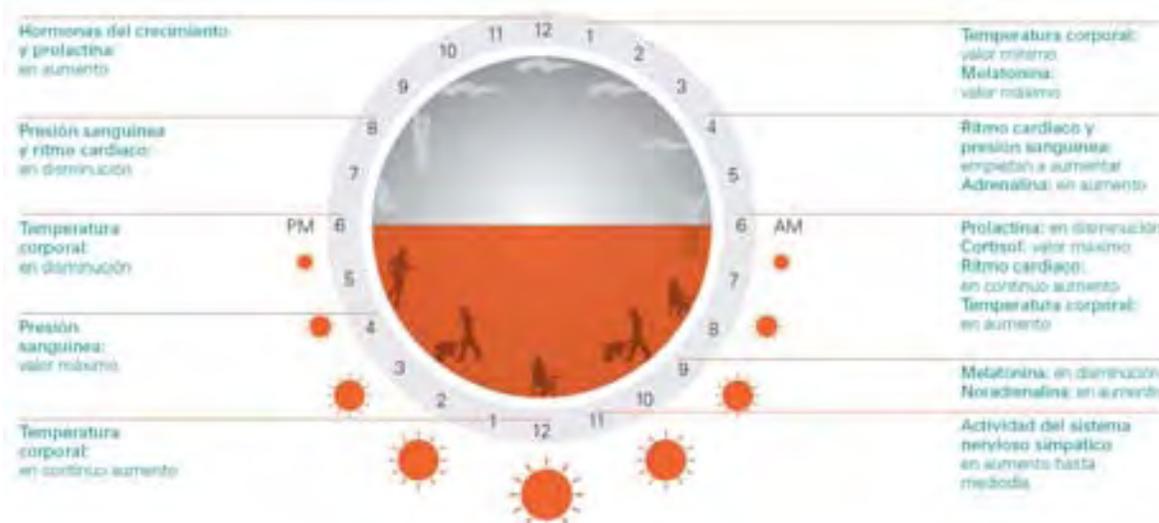


Ilustración 13. Representación gráfica del ciclo circadiano. Correspondencia entre las horas del día y algunas funciones fisiológicas.

Fuente: Archivo Iguzzini. Revista Incontroluce XV

Imagen: Mirco Tangherlini

¹⁹ Establecido por F. Halberg, 1959

²⁰ Cardinali, D.P., Jordá C, J.J, Sanchez B.E, “Introducción a la Cronobiología fisiológica de los ritmos biológicos”, 1994



Por lo tanto, cada una de estas variables fisiológicas tiene una modulación circadiana, lo que quiere decir que completan un ciclo en un período de un día, pero además, el concepto del orden temporal establece que, si bien cada variable tiene su propia modulación circadiana, existe una relación de fase entre las infinitas variables de nuestro organismo. Por ejemplo, cuando la temperatura está en un punto, la frecuencia cardíaca y otras variables guardan una relación de fase, es decir, la temperatura corporal no podría estar en un punto fuera del que le corresponde a una determinada frecuencia cardíaca.

El respeto de los ritmos circadianos garantiza una sensación de mayor bienestar, en el caso de la luz, esta llega a la retina que, mediante impulsos eléctricos, transmite las señales correspondientes al cerebro, en particular a los núcleos supraquiasmáticos, y de estos mediante impulsos electroquímicos a otras áreas del hipotálamo y a la glándula pineal. La glándula pineal convierte los estímulos nerviosos en mensajes hormonales. Durante la noche, algunas hormonas (como la melatonina) entran en círculo y alcanzan su valor máximo, mientras que otros (como el cortisol) bajan al mínimo y por consiguiente la temperatura corporal se reduce, las pulsaciones cardíacas y la presión sanguínea disminuye.

1.4.1 RITMOS Y RELOJES BIOLÓGICOS

En las últimas décadas se ha ido estructurando todo un nuevo campo de la ciencia médico-biológica, la cronobiología. La preocupación por sistematizar los estudios de los fenómenos biológicos relacionados con el paso del tiempo ha surgido fundamentalmente como consecuencia de la enorme cantidad de datos, comprobaciones y teorías que se han ido acumulando en torno al tema de los ritmos.

El ritmo es la repetición periódica de un fenómeno. Al decir periódica se entiende que se verifica a intervalos regulares de tiempo que reciben el nombre de periodo.

1.4.1.1 EL TIEMPO

El tiempo es un concepto que juega un papel fundamental en la comprensión de los ritmos. Su medida constituye la cronometría, palabra derivada de Kronos²¹. Diversos autores han hablado de dos tipos o formas de entender o de medir el tiempo interior. El tiempo exterior se mide con relojes y se considera uniforme. Por el contrario el tiempo interior se mide por medio de índices en los seres vivos.

El tiempo interior, fisiológico o psicológico es un tiempo acumulativo que, como señala Lecomte du Nouy²² tiene un comienzo y un final, y su velocidad no es constante. Es más, puede alterarse si varían las condiciones externas. Por su lado Gustav Kramer, en su trabajo sobre la orientación de las aves, introdujo la idea de un reloj biológico. El término “reloj” empezó a utilizarse en biología por varios investigadores desde entonces. Erwin Bunning comenzó a hablar de un reloj químico de los seres vivos y elaboró un modelo tan sugestivo, que ha sido llamado el padre de la teoría del reloj biológico.

²¹ Dios griego padre de Zeus e identificado con el tiempo.

²² Lecomte du Nouy, 1969. *De la ciencia a la fe*. Madrid, Guadarrama.



1.4.1.2 ESTRUCTURA BÁSICA DE LOS RELOJES

Casi todos los esfuerzos en la investigación sobre los ritmos biológicos van encaminados a dilucidar cuál es el mecanismo y la localización de los “relojes” biológicos. Un reloj (sea interno o externo) es un mecanismo oscilador que lleva en su misma estructura un programa que le informa en cada momento sobre qué estado debe tomar en el momento siguiente. Los estados que puede tomar un reloj son finitos, y al final del programa se vuelve el estado de partida. Si hiciéramos una analogía los estados o fases de un reloj corresponden a la posición de las manecillas en los relojes ordinarios de cuerda.

1.4.1.3 DEFINICIÓN DEL RITMO BIOLÓGICO

Todas las especies terrestres están gobernadas por relojes biológicos²³ que se basan en un ciclo de aproximadamente 24 horas. En los seres humanos, estos relojes biológicos se encuentran en varios órganos periféricos, como el hígado y sirven para regular sus funciones específicas como la digestión.

Toda naturaleza se manifiesta a través de los ritmos, ya los presenta la materia en sus características ondulatorias, los presenta el movimiento de los cuerpos celestes al describir orbitas, los presenta la tierra en muchas de sus particularidades geofísicas, los presenta la vida, y de un modo muy particular los presenta el hombre tanto desde el punto de vista puramente biológico como desde el punto de vista cultural. Por estar los seres vivos influidos por la materia en todas sus manifestaciones, incluidas las rítmicas, conviene situar en su lugar a los ritmos biológicos en el conjunto de todos los demás.

1.4.2 RITMOS CIRCADIANOS

La definición clásica de Van Gelder, importante científico en temas circadianos, es la siguiente; “Son oscilaciones autónomas que se producen en los sistemas vivientes con una periodicidad de aproximadamente 24 horas (circa dies) en ausencia de estímulos”; este último término se ha traducido al inglés *cues*, que tiene una difícil traducción al español. Los “*cues*” son estímulos de sincronización o restablecimiento.

Las propiedades fundamentales de los ritmos circadianos son cuatro:

1. Persisten en ausencia de estímulos externos, con una periodicidad llamada “*free running*”, es decir, en condiciones de no constricción por parte de estímulos externos.
2. Su fase se desplaza debido a los estímulos sincronizadores, a los “*cues externos*” (principalmente son la luz y los fármacos). La luz es el estímulo más importante, es eficaz fuera del día subjetivo (nuestras 12 horas de iluminación²⁴) y retrasa la fase si se aplica precozmente en la noche subjetiva y viceversa, la anticipa si se aplica más tarde en la noche subjetiva.
3. El periodo y la fase están regulados por estímulos periódicos.
4. El ritmo se compensa por la temperatura.

Los ritmos circadianos se dan en todos los seres vivos, desde los procariotas, que son bacterias en las que no se ha desarrollado la distinción entre citoplasma y núcleo (organismos muy antiguos), hasta los eucariotas y, sustancialmente, hasta todos los organismos celulares y multicelulares, por ello, se puede decir que se trata de una propiedad intrínseca a la materia viviente.

²³ Aschoff J, 1965

²⁴ Se refiere a las horas de luz natural promedio en México



El ritmo circadiano free running del hombre es de aproximadamente 24 hrs, en concreto, 24 hrs y 20/30 minutos, por lo tanto, no está sincronizado con el fotoperiodo y se ha de ajustar con la duración del día de 24 hrs. Para simplificar, podemos hacer una analogía, es como si un reloj se adelantase 20 minutos cada día y todas las mañanas se hubiese de sincronizar con la hora exacta.

Como hemos mencionado el estímulo que sincroniza el reloj biológico es, fundamentalmente, la luz, que sin embargo no es el único sincronizador. Es sin duda, el más importante, pero la alimentación y la locomoción también son estímulos de sincronización del reloj biológico, aunque han sido poco estudiados.

1.4.3 FOTORRECEPTORES Y FISIOLÓGÍA DE LA SECRECIÓN HORMONAL

La luz esencialmente nos proporciona dos tipos de información: por una parte información espacial (sobre la forma, brillo, color y posición de las cosas), y por otra parte, información temporal (es decir la alternancia luz-obscuridad nos permite saber en qué estación estamos y qué hora del día es). Al sistema receptor de la información temporal no le interesa tanto distinguir el matiz, la intensidad y la distribución de la luz, sino tan sólo detectar su presencia o ausencia.

El fotorreceptor fundamental en el humano, como se ha mencionado es el ojo, aunque también existe fotosensibilidad dérmica que controla la pigmentación, la síntesis de vitamina D y producción de ácidos grasos insaturados por la acción de los rayos UV. Además de su conexión en el cortex y el tronco cerebral, ahora se sabe que existe otro receptor de la retina humana, el criptocromo que en 2003 fue descubierto; este es el gen implicado en la regulación del reloj circadiano, es un fotorreceptor y responde a la luz azul. Los rayos UV dañan el ADN y los daños provocados por los rayos UV son reparados por los enzimas que han evolucionado en los pigmentos (melanopsina). La historia de la evolución de estos enzimas es bastante interesante y se remonta a los metazoos primitivos que, como los actuales, migran en el océano, se encuentran en la superficie durante la noche y durante el día descienden a profundidades variables en el mar para evitar los rayos UV. La única luz que penetra en las profundidades de los océanos es la luz azul, por ello, ya sea en el pasado como en la actualidad, el fotorreceptor indicaba cuándo se podía volver a la superficie porque no había rayos UV. Es precisamente de esta propiedad de hace millones de años que nació nuestro periodo circadiano; de la unión de los océanos y del día astronómico se origina el ritmo circadiano.

El reloj biológico recibe entradas (luz), y manda salidas, es decir eferencias²⁵, estudios actuales pero todavía poco profundos demuestran que el núcleo supraquiasmático (SCN) actúa en los ritmos del sueño con trazos de regulación con respecto a los núcleos laterales del hipotálamo. Según un descubrimiento reciente, los núcleos laterales del hipotálamo regulan el ritmo sueño-vigilia a través de las vías que contienen un neuromediador especial: la orexina. El hipotálamo segrega la orexina y su falta provoca una grave patología neurológica: la narcolepsia²⁶.

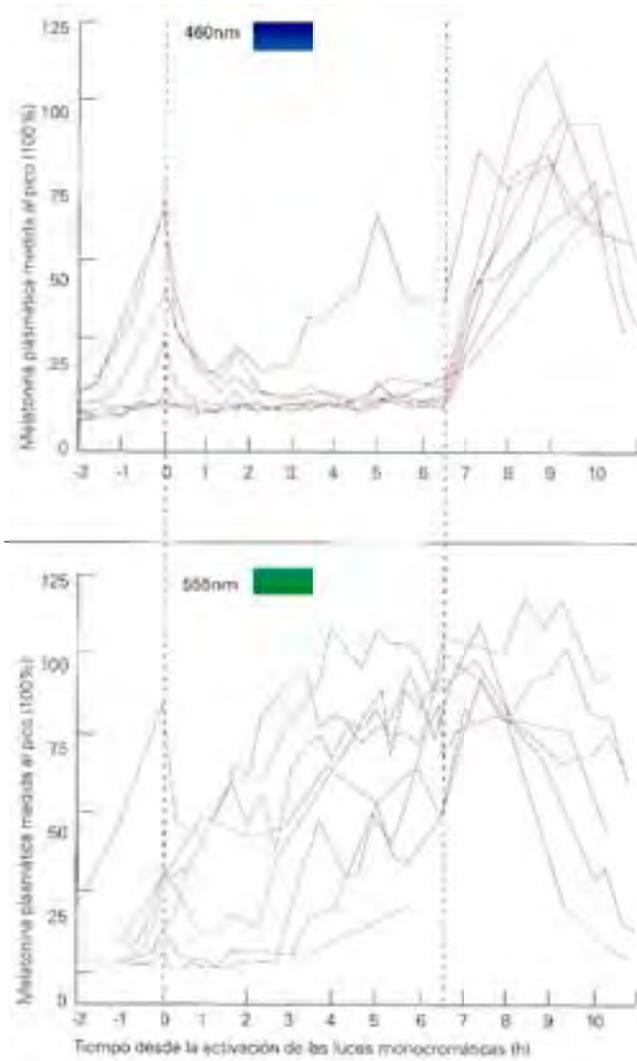
Otra de las salidas principales de SCN concierne a la glándula pineal, el núcleo supraquiasmático regula la función de la glándula pineal mediante el sistema simpático, a través de un proceso bioquímico muy complejo. La MELATONINA, segregada a la glándula pineal, regula el ritmo circadiano humano, por esto, esta es la hormona de la oscuridad pero no la del sueño. El SCN también regula la temperatura corporal y toda una serie de redes hormonales. Mediante la temperatura corporal, que posee un ritmo circadiano con un pico mínimo durante las primeras horas de la mañana, este regula funciones psicológicas: la memoria a corto plazo (posee un pico negativo

²⁵ En anatomía se utiliza para designar las fibras nerviosas (axones) que salen de un núcleo o zona del sistema nervioso para dirigirse a otro.

²⁶ Trastorno del sueño que causa somnolencia incontrolable y períodos de sueño frecuentes durante el día.



junto al de la temperatura), las prestaciones cognitivas (que también poseen un ritmo circadiano) y la alerta subjetiva.²⁷



rsu

Es importante destacar la relevancia de la longitud de onda en relación con la secreción de la melatonina, en la ilustración 14, se puede observar la diferencia entre la luz azul y la luz amarilla-verde: en el rango de onda de 460 nm (luz azul) se inhibe completamente la secreción de melatonina; y por el mismo tiempo y con la misma intensidad luminosa en el rango de 555 nm (luz amarilla-verde) no la inhiben. Por lo tanto, se puede afirmar que el sistema circadiano es específico para la luz azul.

Algunos estudios demuestran que para suprimir la melatonina en un 50%, una luz monocromática roja de 100 lx tarda 4003 hrs mientras que una luz fluorescente de 58W sólo tarda 15 minutos; por lo tanto, las luces fluorescentes son mucho más eficaces con respecto a las luces de otra longitud de onda para eliminar la melatonina.

En los últimos años, la tecnología de la iluminación ha pasado de utilizar lámparas incandescentes, que emiten principalmente luz amarilla-roja, a luces fluorescentes blancas, que exponen cada vez más mayores longitudes de onda en azul.

Con esto podemos decir que en general, si deseamos regular de la manera más higiénica posible el reloj biológico; tendremos que estimular al reloj circadiano, mediante luz blanca brillante y usar luz roja no brillante por la noche, ya que si utilizamos luz blanca por la noche estamos proporcionando una estimulación luminosa diurna en un periodo inadecuado.

1.4.4 ILUMINACIÓN CIRCADIANA

El objetivo de la iluminación circadiana teniendo como contexto, ambientes con iluminación artificial, es lograr que ésta se base en una correcta valoración de los parámetros fundamentales de cantidad, espectro, distribución, duración y tiempo del ciclo noche-día, para poder asegurar la adaptación del reloj biológico al esquema de actividad-reposo requerido por las exigencias actuales.

La luz es el factor principal para el análisis del sistema visual y del sistema circadiano, es importante recalcar que el concepto de luz válido para el sistema visual es muy diferente del concepto válido para el sistema circadiano.

²⁷ Montagna Pasquale, 2007



La luz es el elemento que incide en la retina como hemos mencionado, y estimula dos sistemas diferentes pero interconectados entre sí, cada uno de los cuales efectúa operaciones funcionales muy diferentes, necesarias para la supervivencia del ser humano. El sistema visual es un sistema de detección a distancia que nos permite valorar el ambiente que nos rodea para establecer oportunidades y amenazas, durante las fases más luminosas del día y durante las noches. En primer lugar, nos permite mantener una elevada fidelidad del espacio; mediante la refracción óptica por parte de la cornea y de la lente del cristalino y mediante la potenciación de la imagen por parte de las neuronas de la retina, el sistema visual preserva una representación exacta espacial del ambiente dentro del cerebro. Esta elevada resolución espacial nos permite distinguir objetos pequeños a gran distancia, leer textos con caracteres muy pequeños, entre muchas otras cosas. Además este sistema es muy rápido proporcionando respuestas, la mayor parte de elaboración visual se efectúa en medio segundo y esto ha contribuido a garantizar la supervivencia de la especie.

El sistema visual extrae la información sobre los colores del ambiente a través de las combinaciones de tres fotorreceptores en forma de cono y de las neuronas de la retina distal, que crean los contrastes espectrales de los canales de color rojo-verde y amarillo-azul ²⁸. La capacidad del sistema visual de discriminar entre los reflejos espectrales ligeramente diferentes nos permite diferenciar rápidamente, el grado con el que el sistema visual puede efectuar estas operaciones tan extraordinarias está influido por la cantidad de luz disponible en la retina. Aunque se sabe que el sistema visual puede funcionar en condiciones que van desde la plena luz solar hasta la luz nocturna tenue de las estrellas (un intervalo de 12-14 tipos de magnitudes de sensibilidad), la exactitud visual, los tiempos de reacción y la visión en color quedan afectados progresivamente por la reducción del nivel de iluminación. A pesar de ello, una sensación visual elemental puede ser generada por una cantidad mínima de fotones que lleguen a la retina ²⁹. Esta excepcional cualidad del sistema visual se contrapone con la del sistema circadiano, si bien es importante recordar que ambos sistemas comparten un gran número de fotorreceptores y neuronas de la retina necesarios para percibir la luz.

En primer lugar, el sistema circadiano a diferencia del visual, es relativamente insensible a la información espacial del ambiente visual. Los fotorreceptores y las neuronas del sistema circadiano, según Berson, parece que forman una delgada red que envuelve toda la retina ³⁰. La luz absorbida por cualquier punto de la retina estimula el sistema circadiano. Pero al parecer, existe una forma de sensibilidad preferente para la luz que llega a la parte inferior de la retina ³¹. La luz que procede de la parte que se encuentra bajo la línea visual (como es la del cielo), parece que puede proporcionar una estimulación mayor del sistema circadiano.

El sistema circadiano posee unos tiempos de respuesta muy lentos y requiere una estimulación luminosa prolongada para asegurar la activación en condiciones de vida normales. La unidad para medir los efectos de la luz en el sistema circadiano es el minuto y no las fracciones de segundos como sucede en el sistema visual. Este primero está orientado para poder excluir la respuesta a breves impulsos luminosos, como pueden ser las lámparas nocturnas.

Un elemento importante de diferencia entre ambos sistemas, es que en el circadiano, la sensibilidad espectral, es principalmente a las longitudes de onda muy breves ³², a pesar de que ambos sistemas comparten los fotorreceptores y las neuronas de la retina. (Ver ilustración 15)

²⁸ Hurvich LM, Jameson D, 1955 ; Kaiser PK, Boynton RM, 1996

²⁹ Hecht S, et al., 1942

³⁰ Berson DM, 2003

³¹ Glickman G, et al, 2003

³² Brainard GC, et al, 2001





Ilustración 14. Sensibilidad espectral del sistema circadiano.

Recientemente se ha descubierto un ganglio de la retina intrínsecamente fotosensible (ipRGC), con una sensibilidad espectral de pico de 480 nm, el cual es el corazón de la conversión de la luz en señales neurales por parte del sistema circadiano. Según Hattar³³, en una de sus publicaciones referentes a este tema los clásicos fotorreceptores, bastoncillos y conos, proporcionan entradas al sistema circadiano. Es probable que uno de los factores más importantes es que los mismos fotorreceptores y neuronas de la retina, que forman el canal de color azul-amarillo del sistema visual, tienen una gran importancia para el sistema circadiano³⁴, lo cual ha sido expuesto en varias publicaciones por Figueiro y Mark Rea, este último director del Centro de Investigaciones de la Iluminación del Instituto Politécnico de Troy, Nueva York, el cual ha desarrollado diversas investigaciones y estudios sobre la visión e ingeniería de la iluminación.

Esta entrada por parte de los mecanismos neurales del canal azul-amarillo presenta otras dos consecuencias muy importantes. En primer lugar la sensibilidad espectral de pico del sistema circadiano es de aproximadamente 450nm, cercana a la sensibilidad de pico del cono S, no de 480nm, es decir la sensibilidad espectral de pico del ipRGC. En segundo lugar, dado que utiliza una entrada neural en el canal azul-amarillo, el sistema circadiano es parcialmente insensible a la “blanca”. Se ha demostrado que una combinación de luz “amarilla” y “azul” produce una luz blanca que es menos eficaz a la hora de estimular el sistema circadiano que la luz “azul” por sí misma. El otro mecanismo de contraste espectral, el rojo-verde, parece ser que tiene unos efectos escasos o nulos en el sistema circadiano. Por lo tanto, las formas difundidas de deficiencia de la percepción del color, concernientes al contraste espectral rojo-verde³⁵, no poseen ningún impacto en el sistema circadiano. En la Tabla II, se muestra el efecto correspondiente al sistema visual y circadiano de lámparas con diferentes características espectrales, basándose en un reciente modelo de fototransducción circadiana.

FUENTE LUMINOSA	ESTIMULACIÓN CIRCADIANA CORRESPONDIENTE POR LUMEN FOTÓPICO (CS/lm)
INCANDESCENTE	100%
FLUORESCENTE 3000K	74%
FLUORESCENTE 7500K	157%
VAPOR DE MERCURIO	40%
DIODOS DE EMISIÓN LUMINOSA (LED) 470 nm de pico	2790%
LUZ SOLAR 6500K	190%

Tabla II. Estimulación de luz circadiana por valores de lumen fotópico, para diferentes fuentes luminosas. Valores calculados según Figueiro, 2006 y Rea et al, 2005

³³ Hattar S, et al, 2003

³⁴ Figueiro MG, 2006 y Rea et al, 2005

³⁵ Ruberg FL, et al, 1996



1.5 ILUMINACIÓN NATURAL

1.5.1 CARÁCTERÍSTICAS

A lo largo de la historia de la arquitectura y hasta prácticamente los años cincuenta de este siglo, se ha concebido la luz, tanto por sus aspectos cualitativos como cuantitativos. Es decir, se atendía tanto a los valores expresivos de interacción entre la luz y la forma arquitectónica dentro de la variabilidad de intensidad y color, como a la consecución de unos niveles adecuados de iluminación para las distintas actividades. En efecto cuando se concibe la luz como un factor meramente cuantitativo y no se tienen en cuenta sus valores cualitativos, reducimos notablemente sus posibilidades expresivas. Esta reducción ha tenido lugar en la arquitectura moderna cuando se ha querido conseguir lo que se denomina un nivel uniforme en la iluminación interior, lo cual supone hacer abstracción del fenómeno lumínico, por una parte, y de la beneficiosa influencia psicológica y estimulante que la luz variable tiene en el ser humano.

Debido a los avances tecnológicos y a estas ideas, se ha ido sustituyendo la iluminación natural por la artificial, llegando en algunas ocasiones al extremo de proyectar espacios completamente cerrados totalmente al exterior. Esta desafortunada concepción arquitectónica fue originada en gran medida por la reducción de los costos en la energía, el desarrollo de sistemas de iluminación artificial de bajo consumo y el auge del aire acondicionado. Sin tomar en cuenta las grandes ventajas que tiene la utilización de la iluminación natural, como lo ha demostrado la IEA, International Energy Agency³⁶, a través de varios estudios, que la luz natural ayuda a disminuir estrés e incomodidad en los usuarios de espacios interiores en la arquitectura.

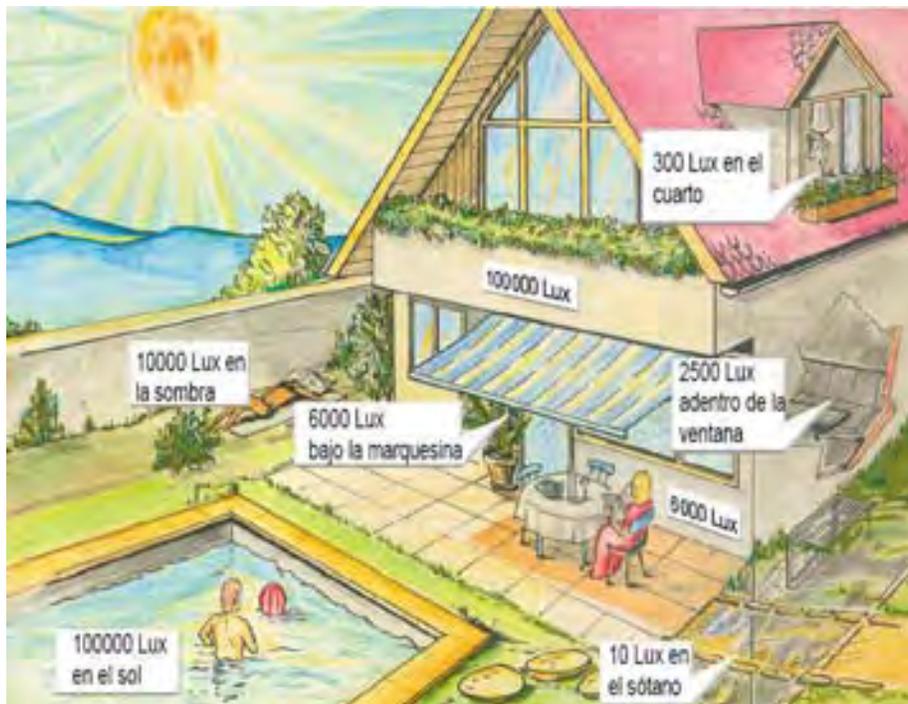


Ilustración 16. Niveles de iluminación natural

La luz natural es uno de los elementos que en mayor medida contribuye a la expresión arquitectónica. Puesto que varía de hora en hora y de día en día a lo largo del año, tanto en intensidad como en color, introduce un componente temporal en la arquitectura. Esta variabilidad, da lugar a distintas manifestaciones visuales, tanto en espacios internos como en su aspecto externo.

Estas variaciones lumínicas, son en su mayor parte percibidas por el ojo humano, dada su gran capacidad de adaptación, que le permite ver con niveles de iluminación entre 3 y 100,000 lux (Ver ilustración 16).

³⁶ IEA, International Energy Agency, 2000.



1.5.2 FUENTES DE LUZ NATURAL

Así como las lámparas de diversos géneros constituyen las fuentes para la iluminación artificial; el SOL y el CIELO son las fuentes de las que se dispone para la iluminación natural. La luz natural llega al interior de un espacio o local, de varias formas, directa o indirectamente, dispersada por la atmósfera y reflejada por las superficies del ambiente natural o artificial. Se puede decir que de la misma manera que una luminaria filtra y distribuye la luz emitida por la lámpara eléctrica que está contiene, la luminaria de la luz natural es la envolvente que admite la luz del sol en el interior de un espacio, por transmisión, dispersión o reflexión de la misma. Esto incluye el cielo (*bóveda celeste*), así como el ambiente externo natural o construido por el hombre. Por ello, el tipo de cielo, las superficies de la tierra, plantas, materiales y otros edificios son parte de la “luminaria natural”.

En consecuencia, el sol, el cielo, las obstrucciones naturales, y las obstrucciones artificiales contribuyen al grado de variación de iluminación natural de los interiores, esta variación puede cambiar parcialmente debido al movimiento del sol, los cambios en las nubes, las estaciones del año, entre otras cosas.

El Sol es una fuente inagotable de energía debido a las reacciones nucleares. La energía irradiada por el sol procede de la fusión de átomos de deuterio para dar átomos de helio. El astro irradia en un segundo más energía que la consumida por la humanidad en toda su historia³⁷. Una parte de esta energía llega a la Tierra en forma de radiación electromagnética.

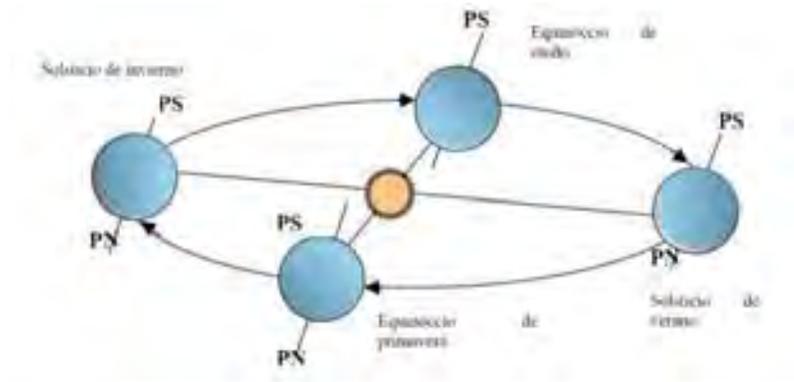


Ilustración 17. Geometría solar

La habilidad del hombre de integrar el uso de la luz natural en los edificios, comenzó con la comprensión de los movimientos cíclicos del sol, como principal elemento de entorno circundante. La predicción de los periodos de asoleamiento y su modificación por efecto del clima formaron base de las actividades diurnas y estacionales del hombre. Se sabe pues, que el sol determina las características esenciales de la luz natural disponible, el largo de los días y sus cambios estacionales, así como los cambios de intensidad y cromaticidad que ocurren durante el día. Estas características dependen de los movimientos de la tierra, del ángulo de sus ejes, de la localización geográfica y del ángulo de la superficie iluminada respecto al ángulo de incidencia del rayo de luz³⁸.

Además de las condiciones atmosféricas, el movimiento aparente del sol a través de la bóveda celeste determina la incidencia de la radiación, y es un factor que lo determina, por ello debemos entender el movimiento de traslación, que la Tierra describe alrededor del Sol, el cual sigue una trayectoria en forma de elipse, con una excentricidad de un 3%. A esta línea imaginaria que representa la órbita descrita se llama *eclíptica*. Esta órbita define el plano de la eclíptica. En su movimiento de traslación el eje de rotación terrestre forma casi siempre el mismo ángulo de $23^{\circ}:26':45''$ con la perpendicular al plano de la eclíptica³⁹. (Ver ilustración 17).

³⁷ Ibáñez Plana, Rosell Urrutia, Rosell Polo, 2005

³⁸ Denominado Efecto coseno

³⁹ Muhlia, Agustín V, 2006. Notas del curso: Solarimetría, 30 Semana Nacional de Energía solar.



El ángulo que forma el plano de la eclíptica con el plano del ecuador varía a lo largo del año, este conocido como *declinación*, esta varía entre -23.5° el día del solsticio de invierno y 23.5° el día de solsticio de verano, pasando por cero en los Equinoccios de Primavera y de Otoño.

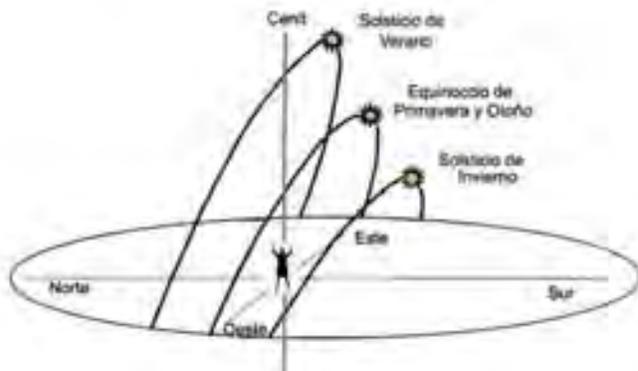


Ilustración 18. Trayectoria solar sobre el plano del observador

Desde el punto de vista de un observador sobre la superficie de la Tierra, el Sol parece describir un arco de círculo desde su salida (*orto*) hasta su puesta (*ocaso*). A mitad de este recorrido, al mediodía solar, se sitúa por definición el plano meridiano local. La vertical del observador sobre la superficie terrestre intersecta a la bóveda celeste en un punto llamado *cenit* (Ver ilustración 18). El eje de la Tierra forma un ángulo igual a la latitud del lugar (θ) con el plano del horizonte del observador.

Es importante tener en cuenta, que el sol emite radiación en toda la gama del espectro electromagnético, desde los rayos gamma hasta las ondas de radio. Pero debido a la fotosfera, que se encuentra próxima a los 6000K, el flujo de energía emitido por el sol, corresponde al de un cuerpo a esa temperatura. Esta distribución espectral hace que se considere que la radiación solar, o de onda corta, procedente del sol tiene longitudes entre $0.3 \mu\text{m}$ y $4 \mu\text{m}$, aún cuando se reciben pequeñas cantidades de energía en otras zonas del espectro. La radiación emitida desde el núcleo del sol está localizada en la zona del espectro correspondiente a los rayos gamma y rayos X. Aumentando la longitud de onda a medida que la temperatura desciende al alejarnos del núcleo solar. El máximo de emisión de un cuerpo negro se desplaza hacia longitudes de onda mayores a medida que disminuye su temperatura, según dice la Ley de Wien⁴⁰. Las ondas electromagnéticas que transportan mayor cantidad de energía proveniente del sol, tienen una longitud de onda aproximada de $0.55 \mu\text{m}$. Es por ello que casi la mitad de la energía solar que recibimos se encuentra en la región visible del espectro, por lo que de la radiación total que llega a la superficie de la tierra después de atravesar la atmosfera, sólo la radiación visible para el ser humano es la relevante desde el punto de vista de la iluminación natural; aunque sabemos que otros rangos de espectro se utilizan en otras aplicaciones, lo cual ya se ha mencionado.

Otro aspecto importante de entender es el efecto atmosférico sobre la radiación solar. La distribución temporal de la energía solar que alcanza la superficie es muy irregular. No solamente varía la insolación máxima diaria⁴¹, sino que la radiación solar es más o menos atenuada según la composición instantánea de la atmósfera que atraviesa.

En términos generales sólo el 47% de la radiación incidente sobre la atmósfera terrestre alcanza la superficie del planeta. El 31% lo hace directamente y el otro 16% después de ser dispersada por polvo en suspensión, vapor de agua y moléculas del aire. La energía restante, es decir un 53% es reflejada hacia el espacio exterior o es absorbida en la atmósfera.

⁴⁰ Para una temperatura de 5.800°K (temperatura de la superficie solar) la longitud máxima de energía es aproximadamente $0,5 \mu\text{m}$ (micrómetro, equivalente a $1 \times 10^{-6}\text{m}$)

⁴¹ Se refiere a las horas en las que el Sol está por encima del horizonte del lugar.



1.5.3 COMPONENTES DE LUZ NATURAL

La atmósfera terrestre está constituida por gases, nubes y partículas sólidas en suspensión. Los diversos constituyentes de esta, provocan la atenuación de la radiación. A medida que la radiación solar atraviesa la masa de aire sufre procesos de absorción, reflexión y refracción. A consecuencia de la interacción de la radiación solar con la atmósfera, la energía que llega a la superficie tiene diferentes componentes, nombradas como la *radiación directa*, la cual no ha sufrido ninguno de los citados fenómenos y llega a la superficie en la dirección del disco solar y la *radiación difusa* procede del resto de direcciones de la bóveda celeste. A estas componentes hay que añadir que un captador inclinado también puede recibir radiación previamente *reflejada* en el suelo. Al conjunto de radiaciones que alcanza la superficie se le llama *radiación global*. (Ver ilustración 19)

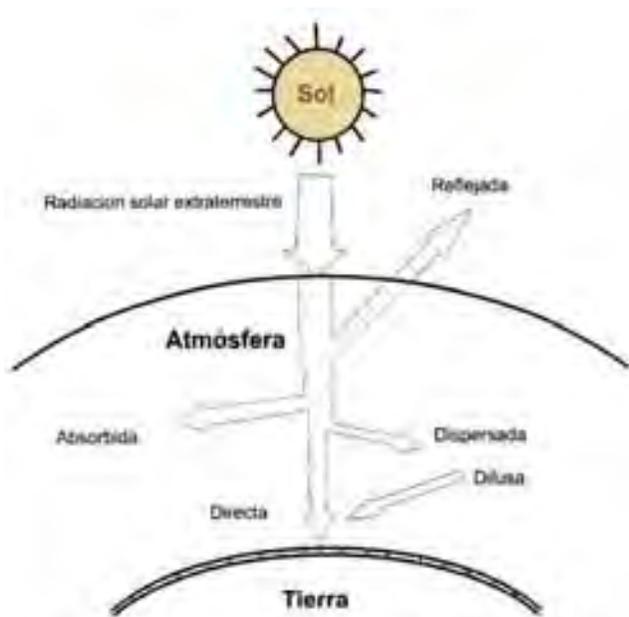


Ilustración 19. Atenuación de la radiación por la atmósfera

Entonces, las fuentes de luz provenientes del sol, del cielo y de superficies circundantes que inciden y se distribuyen en los espacios interiores de las edificaciones se dividen principalmente en:

COMPONENTE DIRECTA:

Se llama luz solar directa a la porción de luz natural que incide en un lugar específico proveniente directamente del sol. Esta se caracteriza por; su continuo cambio de dirección, su probabilidad de ocurrencia, la iluminancia que produce en una superficie horizontal no obstruida y su temperatura de color.

COMPONENTE DIFUSA:

La luz natural difusa es aquella que tiene aproximadamente la misma intensidad en diferentes direcciones, es decir la luz proveniente de la bóveda celeste sin considerar el Sol.

Comparado con el sol directo, el cielo difuso de la bóveda celeste imaginaria tiene un área visual muy grande y una iluminancia relativamente baja. La cantidad de luz natural que proviene de un cielo difuso depende de la posición del sol y de las condiciones atmosféricas de transparencia. La distribución de la luminancia de un cielo nublado varía según el lugar (latitud), hora del día, densidad y uniformidad del cielo difuso. Un cielo uniformemente nublado es 2.5 a 3 veces más brillante en el cenit que en el horizonte.

COMPONENTE INDIRECTA O REFLEJADA:

La luz solar indirecta es la que llega a un espacio determinado por reflexión generalmente en muros, pisos o plafones. El tanto por ciento de la energía solar que se refleja en una superficie respecto al total incidente, es llamado *reflectividad*, y depende de la longitud de onda de la radiación y de la naturaleza de la superficie. Las diferentes reflectividades en función de la longitud de onda dan lugar a la *signatura espectral* de una superficie. La *reflectividad global* considerando todo el espectro de radiación solar se conoce como *albedo* de la superficie. En los climas soleados, la luz natural indirecta constituye un verdadero aporte a los sistemas de iluminación natural, mediante uso de superficies reflectoras que dirigen la luz solar directa por ejemplo al plafón, aumentando la cantidad de luz natural disponible y mejorando su distribución.



1.5.4 TIPOS DE CIELO

Si bien la fuente primaria de la luz natural es el Sol, desde el punto de vista de iluminación diurna de edificios, la fuente de luz considerada para el cálculo es la *Bóveda Celeste*, excluyendo siempre la luz solar directa sobre los planos de trabajo por su gran capacidad lumínica, que como hemos visto puede generar contraste excesivos y causa deslumbramiento.

El cielo puede ser descrito, de acuerdo a sus características distintivas, principalmente por la distribución de luminancias en la *bóveda celeste*, lo que permite su utilización en los cálculos y en el análisis de sus efectos en el interior de un local. Estos valores dependerán de características locales; como son la localización geográfica, características climáticas, densidad y uniformidad de las nubes, y condiciones atmosféricas como hemos mencionando, considerando también el smog ó la contaminación atmosférica.

De acuerdo a las estrategias de diseño y las características locales de la *bóveda celeste*, existen diferentes clasificaciones para determinar los diferentes tipos de cielo. La CIE⁴² tiene una de las más completas; en su clasificación general de cielo del año 2003, define 16 tipos de cielo, de acuerdo con las diversas distribuciones luminosas e incluso propone diversas ecuaciones con parámetros específicos que rigen la forma de la distribución.

En la Tabla III se muestra una comparativa entre la clasificación del “CIE general sky type description” y una clasificación más general de los diversos tipos de cielo basada en el libro de *Daylighting Performance and Design* de John Wiley & Sons resaltando las diferencias de los tipos de cielo en cuanto a su distribución luminosa y brillo. Al caracterizar un tipo de cielo, se debe hacer de una manera objetiva, ya que se puede caer en muchos errores; porque por una parte hay innumerables distribuciones de cielos posibles y variaciones, y por otra parte los valores de luminancia son determinados estadísticamente, con valores obtenidos como resultado de mediciones de varios años, pero para otras latitudes. Por esto para determinar las características de iluminación natural que se reproducirá en el modelo de diseño propuesto en esta tesis, se considerará el tipo de cielo y su correspondiente distribución de luminancias, de acuerdo a los datos meteorológicos locales, pudiéndose completar la información respecto a la distribución de luminancias con mediciones locales de cielo para la Ciudad de México.

La clasificación del CIE nos permite describir a la luz de día de los diversos climas del mundo, ya que define subconjuntos con las variaciones que estos mismos pueden tener; pero se está considerando que en diversas publicaciones⁴³ se ha demostrado que en algunos climas se puede tener una eficiente clasificación con sólo tres o cuatro tipos sin necesidad de llegar a tal detalle; razón por la cual para fines de esta investigación se emplea la siguiente clasificación⁴⁴, debido a que se muestra de una manera más simplificada, además de el objetivo de esta tesis no es la clasificación de los tipos de cielo.

⁴² CIE, Commission Internationale de l'Eclairage, 2003

⁴³ Tregenza PR, Standard skies for maritime climates. Lighting Res. Technol. 1999

⁴⁴ Fuente: Daylighting Performance and Design, John Wiley & Sons, USA, 2003



TIPO DE CIELO	TIPO (según CIE)	LUMINANCE DISTRIBUTION	DESCRIPCIÓN Y DISTRIBUCIÓN LUMINOSA	CARACTERÍSTICAS	BRILLO
CIELO CUBIERTO OVERCAST	1	CIE Standard overcast sky, steep luminance gradation towards zenith, azimuthal uniformity	Cielo cubierto estándar del CIE, con gradación con pendiente de la luminancia hacia el cenit, uniformidad azimutal	Más luminoso en el cenit que en el horizonte	LEVE BRILLO
	2	Overcast, with steep luminance gradation and slight brightening towards the sun	Cielo cubierto, con gradación con pendiente y leve brillo hacia el sol	Sol a penas visible, siin contrastes de luz directa, favorable iluminación cenital	
	3	Overcast, moderately graded with azimuthal uniformity	Cielo cubierto, moderadamente calificado con uniformidad azimutal		
	4	Overcast, moderately graded and slight brightening towards the sun	Cielo cubierto, moderadamente calificado y leve brillo hacia el sol		
CIELO UNIFORME	5	Sky of uniform luminance	Cielo con luminancia uniforme	Nubes blancas de espesor constante	UNIFORME
CIELO PARCIALMENTE DESPEJADO CLOUDY SKY	6	Partly cloud sky, no gradation towards zenith, slight brightening towards the sun	Cielo parcialmente nublado, no gradación hacia el cenit, leve brillo hacia el sol	Presencia estacional del sol alternada por periodos de nubosidad variable	MAS BRILLANTE QUE EL CIELO CLARO
	7	Partly cloud sky, no gradation towards zenith, Brighter circumsolar region	Cielo parcialmente nublado, no gradación hacia el cenit, más brillante en la región circumsolar		
	8	Partly cloud sky, no gradation towards zenith, distinct solar corona	Cielo parcialmente nublado, no gradación hacia el cenit, corona solar (alrededor del sol) distinta		
	9	Partly cloudy, with the obscured sun	Parcialmente nublado con el sol obscurecido		
	10	Partly cloudy, with brighter circumsolar region	Parcialmente nublado más brillante en la región circumsolar		
	11	White-Blue sky with distinct solar corona	Cielo Blanco-Azul con la corona solar distinta		
CIELO CLARO CLEAR SKY	12	CIE Standard clear sky, low luminance turbidity	Cielo claro estándar del CIE, baja turbiedad en la luminancia	Bóveda celeste donde el Sol no está obstruido por las nubes	MENOS BRILLANTE QUE CIELO NUBLADO
	13	CIE Standard clear sky, polluted atmosphere	Cielo claro estándar del CIE, atmosfera contaminada		
	14	Cloudless turbid sky with broad solar corona	Cielo turbio despejado con amplia corona solar		
	15	White-Blue sky with broad solar corona	Cielo Blanco-Azul con amplia corona solar		

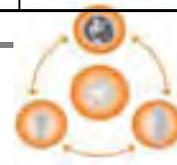


Tabla III. Comparativa de clasificaciones de tipos de cielo

CIELO CUBIERTO “overcast sky”:

Definido para climas fríos por la CIBSE⁴⁵, como un cielo cubierto en un 90% por nubes con sol no visible. Otras especificaciones incluyen en este tipo de cielo cuando la proporción de nubes va desde un 70 a 100%, es decir un cielo nublado. (Ver ilustración 20). Un cielo cubierto es de 2.5 a 3 veces más luminoso en el cenit que en el horizonte, lo que hace que sea favorable la iluminación cenital (ventanas altas o en el techo), aprovechando así la parte más luminosa de la bóveda celeste, sin los riesgos de excesivos contrastes debido a la luz solar directa.

El valor medio anual de iluminancia exterior sobre una superficie horizontal que se considera para los cálculos es de 5000 lux.

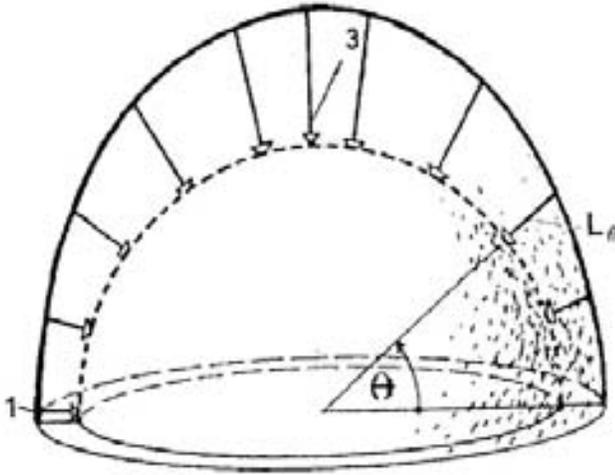


Ilustración 20. Distribución de luminancias de cielo nublado

Una simplificación de este tipo de cielo es conocida como cielo de luminancias uniformemente distribuidas o CIELO UNIFORME, que supone una capa de nubes blancas de espesor constante y una atmósfera de turbidez constante, por lo tanto su distribución de luminancia es constante. (Ver ilustración 21)

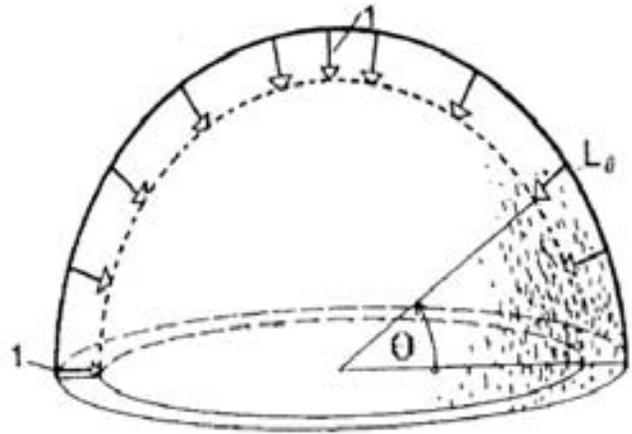


Ilustración 21. Distribución de luminancias de cielo uniforme

CIELO PARCIALMENTE DESPEJADO “cloudy sky”:

Se define como un cielo en el cual del 30 % al 80 % de la bóveda celeste es oscurecida por nubes, esto por lo general incluye la luminancia que varía extensamente de un área del cielo al otro y tiende a cambiarse bastante rápido. Cuenta con presencia estacional del sol alternada por periodos de nubosidad variable (climas templado húmedo y cálido húmedo), la iluminancia en una superficie horizontal exterior no obstruida bajo este tipo de cielos, puede variar entre 100,000 luxes sin nubes y 10,000 luxes con nubes interceptando el Sol. Por lo que este tipo de cielo es el más difícil de predecir por la enorme variabilidad que puede presentar y por lo tanto no se dispone de un modelo específico simple., ya que puede proporcionar niveles de iluminación muy alto durante los períodos

⁴⁵ CIBSE, The Chartered Institution of Building Services Engineers, (Estandarización Británica.)



cuando el sol directo penetra en el edificio y algunos niveles muy bajos durante los períodos cuando se encuentra nublado, para objetivos prácticos, casi siempre se toma como cielo nublado o cubierto.

CIELO CLARO "clear sky":

Definido por la CIBSE, como un cielo no obstruido por nubes y por la IESNA⁴⁶, como un cielo obstruido en un porcentaje menor al 30%. En todos los casos se trata de una bóveda celeste donde el Sol no está obstruido por las nubes.

La relación de luminancias que tiene es de 1 en el horizonte (azul oscuro más luminoso) a 0.5 en el cenit (más brillante), el cielo claro es menos brillante que el cielo nublado y tiende a ser más brillante en el horizonte que en el cenit. (Ver ilustración 22)



1.6 ILUMINACIÓN ARTIFICIAL

Durante más de diecisiete siglos la humanidad ha estado a oscuras y a partir de finales del siglo XVIII,, comenzaron a desarrollarse avances tecnológicos para poder iluminar las ciudades y aprovechando el desarrollo de la electricidad se ha podido llegar hasta las fuentes de luz artificial actuales, que nos permiten ejercer cualquier actividad, tanto en el interior como en el exterior de los edificios, igualmente que con la iluminación natural producida por el Sol.

Actualmente es posible encontrar lámparas de diferentes formas, tamaños, colores y potencial de luminosidad, según las necesidades del consumidor. Este invento, aunque pequeño por su tamaño, ha contribuido a modificar la forma en que vivimos y nos apropiamos de nuestro mundo. Largo trecho ha recorrido la humanidad desde aquellas primeras ramas ardientes y las lámparas incandescentes, que ahora hay por doquier, para llegar a tecnologías nuevas, que ya no solo se basan en principios básicos como son la combustión, dando paso a la electrónica microscópica, como es el caso de la luz sólida como son los LEDS⁴⁷.

1.6.1 PRINCIPIOS PRODUCTORES DE LUZ ARTIFICIAL

La luz producida de manera artificial, se debe a una transformación de la energía eléctrica, en energía radiante es decir en radiación electromagnética visible. Este proceso recibe diferentes denominaciones y se tienen de manera general; tres principios fundamentales en los que se basa la producción o creación de la luz artificial de las diversas fuentes que hoy en día utilizamos.

INCANDESCENCIA: Se obtiene la luz por medio de un proceso de agitación térmica de los átomos del material del que está hecho el filamento de la lámpara, que se comporta como un radiador térmico, con una emisividad espectral muy próxima a la unidad y que podemos determinar por la fórmula de Planck. Al calentarse los materiales sólidos y líquidos, estos emiten radiación visible a temperaturas superiores a 1000 k. Una

⁴⁶ IESNA - The Illuminating Engineering Society of North America. (Estandarización Norteamericana)

⁴⁷ Siglas en inglés de Light-Emitting Diode (diodo emisor de luz).



consecuencia de estos desplazamientos espectrales es que gran parte de la radiación desprendida no se emite en forma de luz, sino de calor en la región de infrarrojos.

LUMINISCENCIA: Es la emisión de radiación óptica producida por átomos o moléculas de un material, que es originada por la excitación de éstos por diversas formas de energía (excepto térmica). Siendo la mayor aplicación en las fuentes artificiales de la luz la electroluminiscencia producida por la acción de un campo eléctrico, en un gas o en un material sólido.

La luminiscencia se puede obtener de muy diversas formas, que dan lugar a todos los principios de obtención de luz, por este procedimiento, aunque muchos de ellos son solamente testimoniales, debido a que sus rendimientos, son tan bajos que no han tenido aplicación comercial y otros con aplicaciones muy reducidas. Estos procedimientos son: Quimioluminiscencia, Bioluminiscencia, Triboluminiscencia, Radio luminiscencia, Cato luminiscencia, Electroluminiscencia, Fotoluminiscencia.

Hay dos tipos de fotoluminiscencia: la **fluorescencia** y la **fosforescencia**. La primera es una fotoluminiscencia, en la cual la emisión de radiación, resulta de transiciones directas de electrones entre el nivel de energía excitado⁴⁸ y un nivel inferior. El tiempo transcurrido entre la excitación y la emisión es inferior a 10ns. La Fosforescencia es una forma de fotoluminiscencia retardada, como consecuencia del almacenamiento de energía, en un nivel intermedio. Por eso con la fosforescencia hay una emisión de luz durante cierto tiempo después que ha cesado la excitación.

1.6.2 FUENTES DE LUZ ARTIFICIAL

A medida que las nuevas tecnologías van avanzando, cada vez mayor la variedad de fuentes de luz que el mercado nos brinda, de las cuales necesitamos tener mayor conocimiento tanto de sus características, como de sus aplicaciones, por lo que entra más sea este conocimiento, nos permitirá lograr un proyecto de iluminación correcto y de calidad, siendo por lo contrario una elección inadecuada de la fuente de luz, la causa de una mala iluminación.

En esta investigación las fuentes de luz artificial, a las que nos vamos a referir, son siempre aquellas que van a utilizar la transformación de la energía eléctrica en energía lumínica, utilizando para ellos alguno de los principios de generación ya mencionados. Se mencionarán de manera general, ya que el objetivo no es analizar en particular cada fuente. Las principales fuentes de luz artificial que podemos encontrar son: (Ver ilustración 23)

En la Tabla IV, se muestra una comparativa de las principales fuentes de luz artificial; en esta clasificación se muestran diferentes tipos de lámparas que se pueden encontrar en el mercado. Esta comparativa se hace de acuerdo a diversas características como son la eficacia, flujo luminoso, vida promedio de duración, IRC⁴⁹, temperatura de color y distribución espectral.

Los datos contenidos fueron obtenidos de fichas técnicas de diversos fabricantes (principalmente Philips, Osram y GE) y son datos promedios y se procuro estandarizarlos; ya que en la actualidad encontramos una gran diversidad de productos que varían y dependen de cada marca en particular.

⁴⁸ Se dice que un átomo, ión o molécula están excitados, cuando alguno de sus electrones pasa a niveles de energía más altos.

⁴⁹ IRC Índice de Reproducción de Color



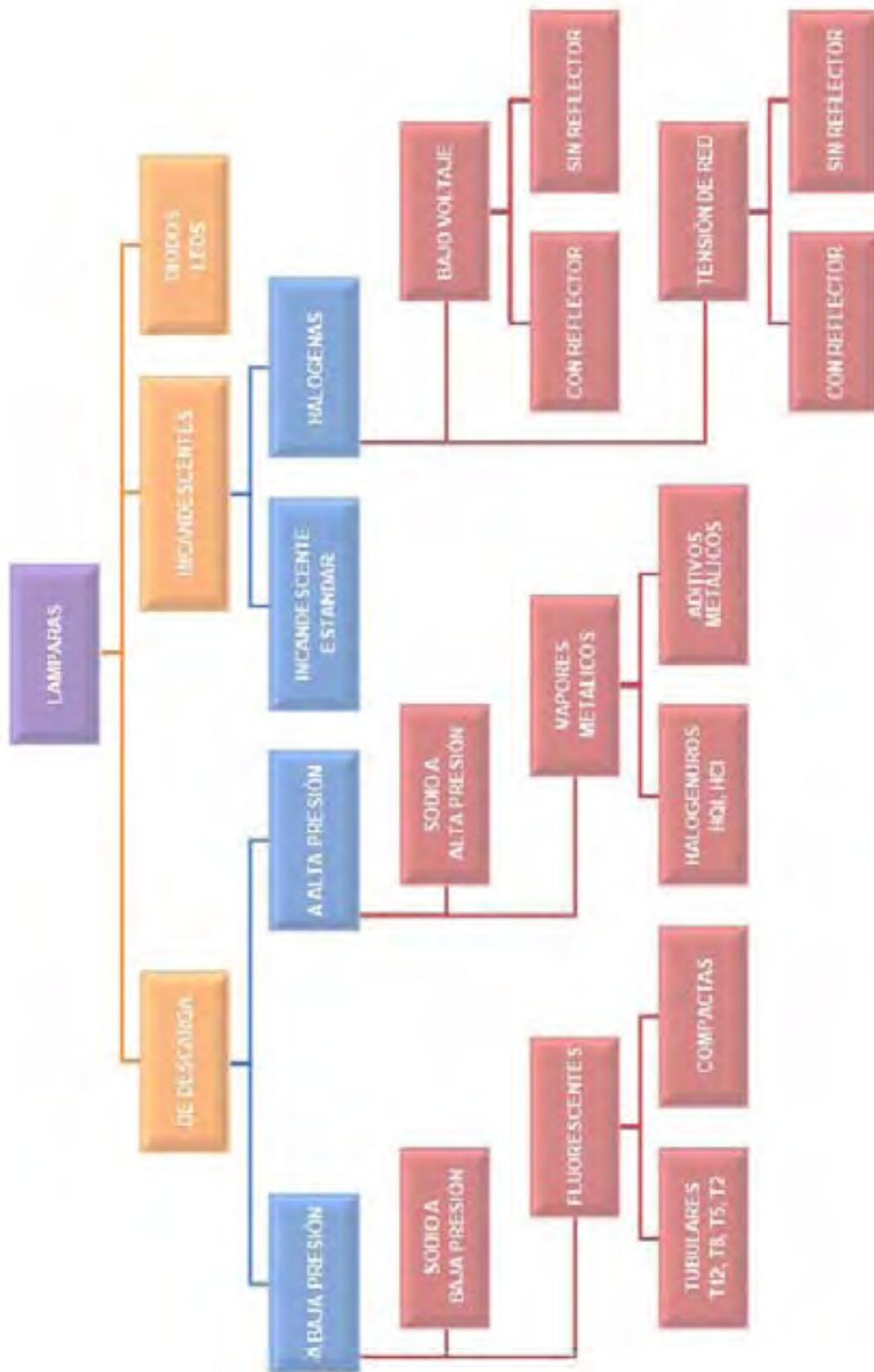


Ilustración 23. Fuentes de iluminación artificial



IMAGEN	FUENTE	TIPOS	EFICACIA	FLUJO LUMINOSO	VIDA O DURACION PROMEDIO	IRC	TEMP DE COLOR	DISTRIB ESPECTRA
	INCANDESCENTE	A19	MUY BAJA 10-15 lm/w	BAJO 250- 1500 lm	MUY BAJA 750- 1000 HRS	MUY BUENO 100	2700 K	
	HALÓGENO TUNGSTENO DE BAJA VOLTAJE	MR16 AR111 AMPOLLETA	REGULAR 18-25 lm/w REGULAR 20-30 lm/w REGULAR 12-14.6 lm/w	REGULAR 400- 2025 lm REGULAR 1500- 4000 lm BAJO 250- 1100 lm	REGULAR 2000- 5000 HRS REGULAR 3000 HRS REGULAR 2000 HRS	MUY BUENO 100 MUY BUENO 100 MUY BUENO 100	2700 K - 4500 K 2700 K - 4500 K 2700 K - 4500 K	
	HALÓGENO TUNGSTENO A TENSION DEDIDA	PAR YODO-CUARZO	REGULAR 10-22 lm/w REGULAR 16-20 lm/w	REGULAR 460- 2200 lm REGULAR 1800- 9500 lm	REGULAR 2000- 4200 HRS REGULAR 1500- 3200 HRS	MUY BUENO 100 MUY BUENO 100	2700 K - 4500 K 2700 K - 4500 K	
	FLUORESCENTE TUBULAR	T8 T5 T2	MUY BUENO 82-103 lm/w MUY BUENO 65-104 lm/w MUY BUENO 85- 105.5 lm/w	BUENO 1400- 3725 lm BUENO 1200- 7000 lm REGULAR 330- 12000 lm	MUY BUENA 20000- 30000 HRS MUY BUENA 24000 HRS MUY BUENA 10000- 14000 HRS	BUENO 86 BUENO 85 BUENO 80	3000 K - 6500 K 3000 K - 6500 K 3000 K - 4100 K	
	FLUORESCENTE COMPACTA	PL-C PL-S PL-T / PL-H	BUENO 84-70 lm/w BUENO 85-85 lm/w BUENO 65-70 lm/w	BUENO 750- 1800 lm BUENO 400-900 lm	BUENA 12000 HRS BUENA 10000 HRS BUENA 10000 HRS	BUENO 82 BUENO 82 BUENO 82	4000 K 2700 K - 5000 K 3000 K - 4100 K	
	DESCARGA DE ALTA INTENSIDAD BAJA PRESIÓN	VAPOR SODIO A BAJA PRESION	MUY ALTA 100- 150 lm/w	REGULAR 1800- 32000 lm	BUENA 10000 HRS	NULO -45 -0	1800 K	
	DESCARGA DE ALTA INTENSIDAD ALTA PRESIÓN	LUZ MIXTA VAPOR DE MERCURIO VAPOR DE SODIO ALTA PRESION	BAJA 20-2.8 lm/w REGULAR 40-55 lm/w ALTA 80 - 120 lm/w	BUENO 5000- 14000 lm BUENO 9000- 50000 lm MUY ALTO 4000- 130000 lm	BAJA 6000 HRS BUENA 24000 HRS BUENA 24000 HRS	REGULAR 65 BAJO 45 MUY BAJA 22	3600 - 4100K 4000 K 1900 - 2100 K	
	DIODOS EMISORES DE LUZ LEDS	LED RADIAL MR16 LED / AR111 LED LED VIALIDADES	REGULAR 80-100 lm/w REGULAR 100-150 lm/w REGULAR 100-150 lm/w	REGULAR 10000- 18000 lm REGULAR 18000-30000 lm BAJO 1500 lm	EXCELENTE 100000 HRS MUY BUENO 50000- 100000 HRS	REGULAR 70 REGULAR 70 REGULAR 70	2900 K - 6800 K 3000 K - 7000 K	

Tabla IV. Comparativa de fuentes de iluminación artificial



1.7 DIFERENCIAS ENTRE ILUMINACIÓN NATURAL Y ARTIFICIAL

Tanto la iluminación artificial como la iluminación natural son validas para la iluminación de espacios interiores y cada una de ellas tiene un aporte valioso, sin embargo se deben tomar en cuenta sus características para proponerla, no sólo en relación a la CANTIDAD sino también a la CALIDAD de la iluminación.

Ventajas de la luz artificial:

- Tiempo (se puede utilizar cualquier hora y día del año)
- Duración (lapsos de tiempo)
- Direccionalidad
- Intensidad
- Efectos especiales de color
- Omite la radiación solar

Ventajas de la luz natural:

- Excelente para la visibilidad
- Confort
- Es regidora del Sistema Circadiano
- Mejor percepción del Color
- No tiene costo
- Abarca todo el espectro de luz

Es importante tomar en cuenta que en la iluminación natural se abarca todo el espectro de luz visible, mientras que en la mayoría de las fuentes artificiales de luz, dependiendo su tipo, solo abarcan una parte de este espectro; existe un término llamado FULL-SPECTRUM, el cual es utilizado en terapias de luz el cuál ha sido aconsejado para combatir el Síndrome de Afección Estacional⁵⁰ y otras deficiencias relacionadas con la producción de melatonina; este término “full-spectrum” se refiere a la luz que cubre todo el espectro desde infrarrojo hasta ultravioleta. Por lo que podríamos decir que en términos generales la luz natural es una full-spectrum light.

Investigaciones llevadas a cabo en él: Lighting Research Centre at the Rensselaer Polytechnic Institute in New York, USA han demostrado que usando full spectrum lámparas con una intensidad de 100 to 200 lux (en el ojo) es posible modular la secreción de melatonina hasta cierto grado.

La investigación llevada a cabo por la IEA ha demostrado que el trabajar bajo condiciones de luz artificial durante prolongados lapsos de tiempo es perjudicial para la salud humana y contrariamente, ésta misma institución también ha demostrado a través de varios estudios, que la luz natural ayuda a disminuir estrés e incomodidad en los usuarios de espacios interiores en la arquitectura.

Por ello es importante considerar las diferencias que se tienen entre la iluminación natural y la artificial para poder utilizarlas de la mejor manera; en mi opinión en los diseños se debe incluir como primer recurso la luz natural, reforzando con un buen diseño y selección de luz artificial, para integrar ambos recursos.

⁵⁰ SAD- Seasonal Affective Disorder (Síndrome de Afección Estacional)



EFICACIA LUMINOSA

La luz directa del sol, cuando esta iluminando superficies perpendiculares a ella, puede alcanzar valores de entre 60,000 y 100,000 lux, por lo que es muy intensa y generalmente si se quiere utilizar directamente puede ocasionar deslumbramiento y aumento de la temperatura. Por estas razones, regularmente en los diseños se prefiere excluir, si no en su totalidad, casi por completo la luz solar en espacios interiores; lo que constituye un gran error, debido a que si bien sabemos, prácticamente toda la energía proveniente de las fuentes de luz se convierte finalmente en calor, la proporción de calor inducida por lúmenes de luz solar directa es menor que en la mayoría de las fuentes de iluminación eléctrica, sobre todo en las fuentes incandescentes, que en la actualidad a pesar de su ineficiencia, siguen siendo las fuentes más utilizadas en nuestro país a nivel residencial.

En la Tabla V, podemos observar la eficacia luminosa, expresada en lúmenes por watts, de diversas fuentes luminosas, incluyendo en esta la luz directa del sol (la cual depende de la altitud) y la proveniente del cielo, en contraste con fuentes de iluminación artificial que son comúnmente utilizadas en diversas aplicaciones, incluyendo la fluorescente utilizada en oficinas.

FUENTE LUMINOSA	EFICACIA (lm/w)
SOL	90-117
CIELO CLARO	150
CIELO PROMEDIO	125
LAMPARA INCANDESCENTE (150W)	16-40
TUBO FLUORESCENTE (150w)	50-80
LAMPARA DE SODIO DE ALTA PRESIÓN	40-140
LAMPARA FLUORESCENTE COMPACTA (26W)	70

Tabla V. Eficacia luminosa de diversas fuentes de luz. Fuente: Moore, Fuller, 1985

Se deben considerar las calidades cambiantes de la luz natural, debido a que nos mantienen conectados a los procesos naturales de la tierra y el tiempo, y la luz artificial hasta hace poco no había podido aproximarse, sin embargo hoy en día existen avances tecnológicos que nos permiten acercarnos a las bondades de la Luz natural.

Por otra parte, un mismo espacio interior, puede dar impresiones visuales muy diferentes, según el tamaño y la ubicación de las ventanas o vanos por donde accede la luz. Además, su color y calidad espectral, está influida a su vez por el color y texturas de las superficies donde se refleja, determinando la tonalidad lumínica, por lo que deben considerarse todas las variables y efectos para lograr un adecuado diseño de iluminación.



1.8 ILUMINACIÓN BIODINÁMICA

1.8.1 DEFINICIÓN

Como mencionamos inicialmente el concepto de iluminación biodinámica, o también llamado biológico-dinámica, en la actualidad se está utilizando para definir la luz que logra producir el mismo estímulo neurofisiológico de la luz natural. Por lo que entre sus cualidades primordiales, están, que es capaz de variar la iluminancia y la temperatura de color a lo largo del día, esto mediante variaciones cromáticas y de intensidad luminosa.

Según George Brainard investigador pionero de este concepto, esto debe considerarse de acuerdo al entorno y en función de variables tanto geográficas como climáticas, esto con el objetivo de brindar una iluminación correcta que estimule el sistema circadiano, y que la luz sea considerada como principal elemento para la sincronización del reloj biológico, coordinado con una duración de 24 hrs.

Si bien los primeros experimentos acerca de las repercusiones del ciclo luz-obscuridad sobre el ser humano demostraron que la luz artificial de bajos niveles no producían ningún cambio en nuestro ritmo biológico, al día de hoy, ya se ha descubierto que altos niveles de luz (alrededor de 2500 lux) aplicados durante la noche, suprimen la producción de melatonina; la cual si recordamos es la hormona del sueño, razón que hace evidente que la luz puede alterar al ritmo circadiano del hombre. Este hallazgo médico, es la base de la importancia y la experimentación de la iluminación biodinámica.

En un principio se utilizó para fines terapéuticos junto con la administración de melatonina para curar trastornos del sueño, y pronto se convirtió en la base de algunos experimentos para demostrar que, iluminando los espacios de trabajo nocturnos con estos niveles de luz, se podrían reducir los riesgos de somnolencia experimentados por algunos trabajadores, puesto que, al suprimirse la producción de melatonina se engaña al organismo haciéndole creer que es de día. Esta es una aplicación que deberá tomarse con algunas consideraciones, debido a que como se ha comentado el dormir es fundamental, y privar del sueño, puede provocar alteraciones de diversa índole.

Es por esto que debemos tener bien claro, que si las actividades que desarrollamos dentro de espacios construidos, no cuentan con iluminación natural; o su mayor fuente de iluminación es la artificial, podemos proponer que los niveles de luz artificial sean cambiantes, es decir no estáticos o sin variaciones periódicas importantes; esto sumado con las variaciones de temperatura de color, las cuales nos permitirían reproducir los tonos que se tienen a lo largo del día, nos daría la oportunidad de diseñar y proponer una iluminación artificial variable, más acorde con nuestra biología, una “iluminación saludable”, esto es lo que es la iluminación biodinámica.

1.8.2 CARACTERÍSTICAS DE LA LUZ

La luz que es el factor principal para el análisis del sistema visual y el sistema circadiano, se puede dividir en diferentes magnitudes primarias, mismas que influyen en las prestaciones y en la salud de los seres humanos. Estas magnitudes son: cantidad, intensidad, espectro, distribución, tiempo y duración; para cumplir con el objetivo de la iluminación biodinámica, se debe tener una correcta valoración de estos parámetros, sobre todo del tiempo de la duración del ciclo noche-día, y de obtener el análisis de las horas luz disponibles de acuerdo a la latitud en la que vivimos.



De acuerdo a investigaciones realizadas en el Lighting Research Center, del Instituto Politécnico de Troy, NY, USA, encabezadas por el doctor en Biofísica y director del centro de investigaciones de la iluminación, Mark Rea; la cantidad de luz, su composición espectral, su distribución espacial, el tiempo y la duración, necesarios para el sistema visual son diferentes que los necesarios para las funciones circadianas, por ello cuando se utilizan los términos como “good lighting”, “right light”, “lighting quality”, (los cuales son términos que se han utilizado últimamente en artículos y publicaciones acerca del tema), deberán ser evaluados por diferentes criterios y será necesario para tener una evaluación real, el desarrollo de un nuevo sistema de fotometrías para el sistema circadiano, porque de no hacerlo no se podrá tener bien definido cual es la verdadera luz saludable para el ser humano.

Hasta este momento se ha desarrollado un sistema internacional de fotometrías, el cual ha sido desarrollado e institucionalizado para cuantificar, medir y comunicar las propiedades de la luz⁵¹, y de una fuente específica, sin embargo considerando las recientes investigaciones del sector médico se deben establecer nuevos parámetros para considerar una buena iluminación; ya que debemos considerar que la luz actualmente se genera, se entrega, se fabrica, se comercializa y vende; por ello se deben implementar nuevas ideas para el desarrollo de nuevas fuentes de iluminación, luminarias y aplicaciones, siempre y cuando se considere el impacto incuestionable de la luz, lo cual como se ha mencionado requerirá del desarrollo de un sistema de fotometrías para el sistema circadiano. Porque, por ejemplo se sabe que la luz brillante es necesaria para activar el sistema circadiano, pero los niveles típicos de iluminación para una oficina son de 500 lux aproximadamente, los cuales regularmente provienen de fuentes fluorescentes, lo que es completamente inefectivo para la supresión de melatonina. Y por otro lado se tiene diversas hipótesis que sostienen también que muy bajos niveles 3.5 lux aproximadamente, pueden afectar a nivel circadiano⁵², con esto se hace aún más evidente que es necesario un sistema que sea más práctico para poder implementarse, a nivel de diseño y saber cuál es la cantidad y tipo de luz necesaria para el sistema circadiano.

1.8.2.1 -CANTIDAD

El primer concepto para desarrollar es la cantidad, cuando se utiliza este término en el campo de la iluminación se refiere únicamente a la cantidad de luz expresada en términos de iluminancia (lux). Se dice que la cantidad de luz necesaria es aquella con la que el usuario u operario puede realizar el trabajo sin esfuerzo ni agotamiento visual y con seguridad.

La cantidad de luz adecuada para el sistema visual, dependerá básicamente del tipo de trabajo que se realiza, de la fineza de los detalles que se van a observar, del color y reflectancia del objeto y del medio circundante, entre algunos otros factores, sin embargo como hemos visto la cantidad de luz adecuada para el sistema circadiano es distinta a la necesaria para el sistema visual.

En la Tabla VI, se resume y se da un marco preliminar para el funcionamiento tanto visual como circadiano, basada en lo que hasta hoy se sabe y se conoce⁵³, sabemos que mucho es todavía desconocido sobre la fotobiología circadiana y su interacción con la iluminación, pero algo es evidente e incuestionable y se ha demostrado de diversas formas, la luz no es solamente de la visión.

⁵¹ Comission International de l'Eclairage, 1978.

⁵² Kronauer Re, Forger Db, Jewett Me, 1999.

⁵³ Rea et al, 2002



CARACTERÍSTICAS DE LA LUZ	APLICACIÓN		
	VISION	SISTEMA CIRCADIANO-TRABAJO DIURNO	SISTEMA CIRCADIANO-TRABAJO NOCTURNO
CANTIDAD	BAJA (300- 500 lux ilum de trabajo - aprox. 100 lux en el ojo)	ALTA (aprox 1000 lux en el ojo)	ALTA (aprox 1000 lux en el ojo)
ESPECTRO	FOTOPICA (pico de sensibilidad 555 nm)	LONGITUD DE ONDA CORTA (pico de sensibilidad 420 nm- 480 nm)	LONGITUD DE ONDA CORTA (pico de sensibilidad 420 nm- 480 nm)
DISTRIBUCIÓN ESPACIAL	IMPORTANTE DISTRIBUCIÓN (nivel de luminancia, contraste y determinar el tamaño de visibilidad)	INDEPENDIENTE DE LA DISTRIBUCIÓN (iluminancia en el ojo)	INDEPENDIENTE DE LA DISTRIBUCIÓN (iluminancia en el ojo)
TIEMPO	CUALQUIER MOMENTO	SUBJETIVO POR LA MAÑANA	PERIODICAMENTE EN TODO CAMBIO
DURACIÓN	MUY CORTA (menos de 1 seg)	LARGA (1 a 2 hrs)	CORTA (15 min)

TABLA VI. Marco preliminar del funcionamiento visual y circadiano y su relación con las características de la luz según, Rea et al, 2002

Otro concepto que debe tenerse claro cuando estamos hablando de cantidad de iluminación, es que la iluminancia es la cantidad de luz que recibe una superficie determinada, no cuanta de está luz es percibida por la retina; ya que depende de la orientación (tanto de la iluminancia horizontal para un plano de trabajo, como de la iluminancia vertical cerca del plano de la retina), porque podemos encontrar que la misma cantidad de luz emitida por una fuente de luz, puede producir variaciones en la medida de la iluminancia, si se considera este factor.

En general se recomienda y es común que se midan los niveles de iluminación, en términos de cantidad sobre el plano horizontal de trabajo; naturalmente si el luxómetro está orientado hacia arriba o se está midiendo en esta dirección, es decir hacia las fuentes de luz en el techo, se obtendrá un valor mayor que si se encontrara verticalmente cerca de la línea de visión.

La orientación correcta para hacer una medición con respecto a la orientación de la retina, no necesariamente garantizaría la exactitud de la medición de la cantidad de luz, debido a que teniendo la misma iluminación, la iluminancia de la retina puede variar sustancialmente dependiendo tanto del medio ambiente, como de las diferencias individuales; por ejemplo las diferentes reflectancias que produce el objeto dentro del campo visual, la densidad óptica de la retina, la estructura física de la frente, nariz y otras características de la cara, pudieran producir discrepancias entre la iluminancia percibida por la retina y la iluminancia medida.

Estos son sólo algunas de las muchas fuentes de confusión que se presentan en una inadecuada especificación para estimular el sistema circadiano. Como otro ejemplo se tiene la investigación realizada en la Universidad de Harvard⁵⁴, donde se menciona que un eficiente sistema de iluminación, no solo depende de la fuente de luz sino también de los materiales en la arquitectura, relacionado con las diferentes superficies y texturas de suelos, techos y paredes.

⁵⁴ Lira A. 2006.



1.8.2.2 -ESPECTRO

Como se ha mencionado con anterioridad el espectro de la luz visible tiene un rango de valores teóricos de 380nm a 780nm, los cuales no son límites absolutamente rigurosos, ya que dependen de varios factores, como la intensidad energética, la capacidad de visión de cada individuo y del grado de fatiga que en un momento determinado tenga el ojo; sin embargo estas son las únicas radiaciones que son capaces de activar la retina del ojo humano para producir sensación visual.

Es importante tener en cuenta que este espectro visible se divide en seis tramos que corresponden a los colores fundamentales en los que se descompone la luz blanca, de acuerdo a la teoría corpuscular de la luz de Newton, siendo en orden de longitud de onda creciente: violeta, azul, verde, amarillo, naranja y rojo. (Ver Tabla VII)

ESPECTRO CROMÁTICO						
VIOLETA	AZUL	VERDE	AMARILLO	NARANJA	ROJO	Nm
380	435	495	565	590	625	780

Tabla VII. Descomposición del Espectro según Newton

Es posible que unos colores de luz iguales produzcan unas reproducciones diferentes del color propio a causa de una composición espectral diferente. Los espectros continuos resultan en una reproducción cromática uniforme. Los espectros de rayas saben reproducir correctamente sólo una zona de colores muy pequeña. Los espectros de rayas múltiples están compuestos por diferentes espectros de rayas, y mejoran de este modo la reproducción cromática. (Ver Ilustración 24) Estos criterios son muy importantes para hacer una correcta elección del tipo de fuente luminosa para la iluminación biodinámica.



Ilustración 24. Diferentes composiciones espectrales

Si relacionamos la influencia y eficacia del espectro en relación al Sistema Visual y el Sistema Circadiano, debemos notar que ambos tienen su estímulo conductor en la retina. Sin embargo el Sistema Circadiano tiene un punto de activación mucho más alto relacionado con la intensidad y una alta sensibilidad a la luz con alta frecuencia.⁵⁵ (Ver Tabla VIII)

⁵⁵ Figueiro M G, Rea M S, Bullough J D., 2006.



FUENTE DE LUZ	EFICACIA LUMINOSA FOTÓPICA (lm/W)	EFICACIA LUMINOSA CIRCADIANA (lm/W)	PROPORCIÓN RELATIVA CIRCADIANA-FOTÓPICA (lm)
3000 K fluorescente	87 (1.00)	149 (1.00)	1.00
4100 K fluorescente	87 (1.00)	275 (1.00)	1.85
7500 K fluorescente	65 (0.75)	285 (1.91)	2.56
Vapor de Sodio	108 (1.2.4)	300 (2.02)	1.63
Sodio de Alta Presión	127 (1.46)	115(0.77)	0.53
Incandescente	15 (0.17)	32 (0.21)	1.25
Led Rojo (630nm)	44 (0.51)	2 (0.02)	0.03
Led Amarillo (590nm)	36 (0.41)	10 (0.07)	0.17
Led Verde (520nm)	25 (0.29)	88 (0.59)	2.06
Led Azul (460nm)	11 (0.13)	681 (4.58)	36.20
Led Blanco (460nm)+ fósforo	18 (0.21)	90 (0.60)	2.91
Luz de Día (6500 k)			2.78

Tabla VIII. Eficacias Fotópica y Circadiana y sus eficacias relativas (en paréntesis) Fuente: REa M, "Light Much More Than visión"

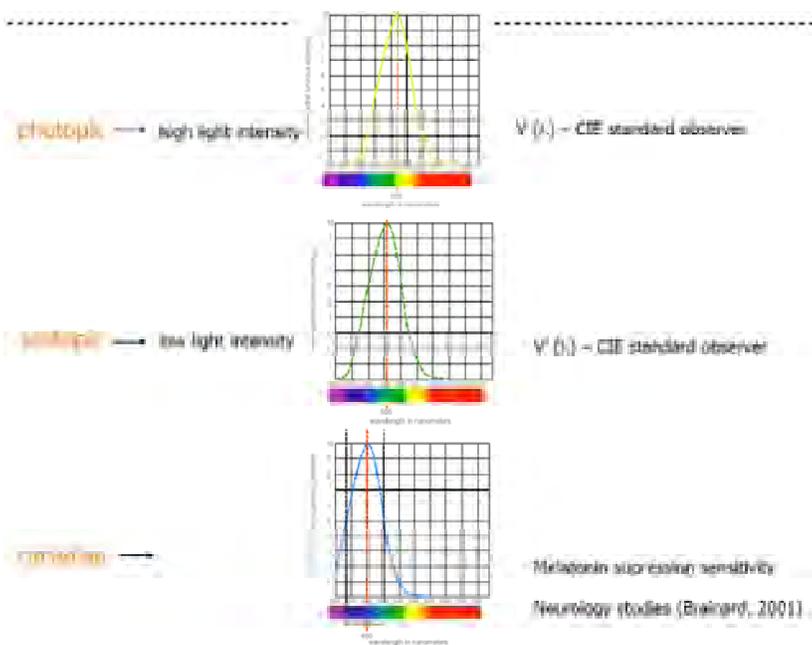


Ilustración 25. Diferencia en las curvas de sensibilidad espectral

Existen importantes diferencias en las curvas de sensibilidad espectral, que deben considerarse, tal como se muestra en la ilustración 25, donde podemos observar la curva para la visión fotópica (cuando se tiene alta intensidad luminosa), para la escotópica para bajos niveles, y para la visión circadiana, donde se muestra el pico de supresión de melatonina, según estudios realizados por Brainard.

Recientemente se ha estado utilizando por diferentes universidades el software Radiance, también aplicado a estudios para poder calcular la distribución de iluminancia circadiana, al igual que simular la variación del espectro de luz en espacios interiores relacionado con las diferentes superficies de suelos, techos y paredes⁵⁶.

⁵⁶ Lira A. 2006



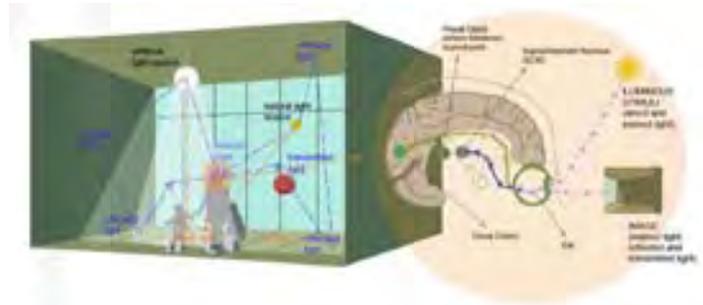
1.8.2.3 -DISTRIBUCIÓN ESPACIAL

Aunque la retina inferior parece ser más sensible a la luz que la retina superior, el Sistema Circadiano es altamente indiferente a la distribución espacial de la luz⁵⁷. (Ver ilustración 26)

1.8.2.4 -TIEMPO/CALENDARIO

Una de las principales diferencias entre ambos sistemas es el factor tiempo, mientras el Sistema Visual responde a una fracción de segundo, el Sistema Circadiano requiere varios minutos para activarse⁵⁸

Otra de las diferencias es que mientras el Sistema Circadiano depende de la hora del día, el Sistema visual trabaja eficientemente sin importar la hora del día.



espacial.
hanging a Wall
Radiance

1.8.2.5 -DURACIÓN

El sistema visual opera bastante rápido, la mayoría de las funciones visuales responden inmediatamente, toda la información es captada, integrada y transmitida al cerebro, obteniendo una respuesta en poco menos de cien milisegundos⁵⁹. Sin embargo el sistema circadiano opera mucho más lento, lo cual se puede ver en la siguiente gráfica Ilustración 27 en donde se muestra la cantidad de tiempo requerido en relación de la iluminancia para la supresión de melatonina.

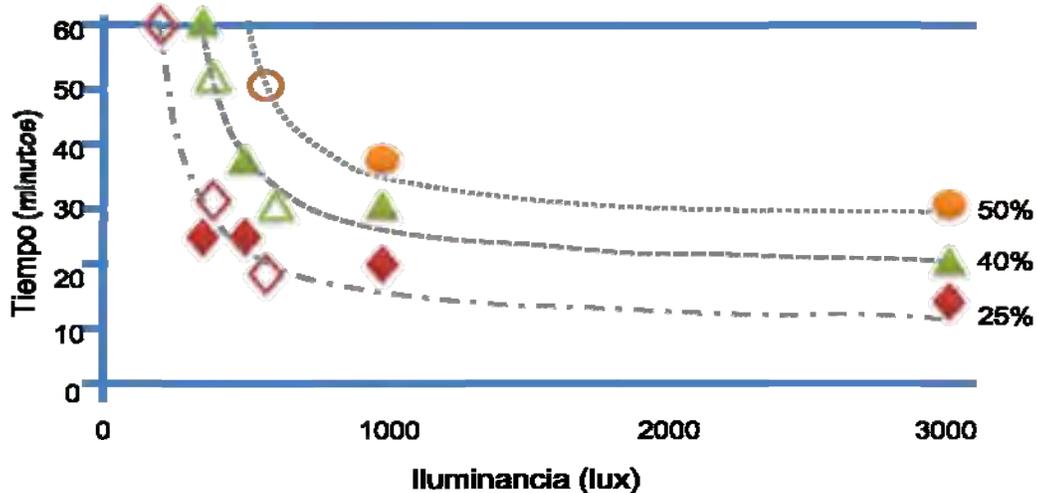


Ilustración 27. Cantidad de tiempo requerido para medir la supresión de melatonina, en función de la iluminación percibida por el ojo, Los diamantes representan el 25% de supresión, los triángulos representan el 40% y los círculos el 50%.

⁵⁷ Brainard G P, Hanifin J P, Greeson J M, Burme B, Glickman G, Gerner E, Rollag M D., 2001.

⁵⁸ Berson D M, Dunn F A, Takao M., 2002.

⁵⁹ Ingling CR, Martinez E, Lewis Al., 1983.



2 ESTADO DEL ARTE

2.1 NIVEL NACIONAL-ESTUDIOS MULTIDISCIPLINARIOS

2.1.1 PHILIPS LIGHTING APLICATION CENTER (BEGGEMANN HOLANDA-MÉXICO)

A partir del año 2002, la empresa Philips ha participado en proyectos de investigación llevados a cabo conjuntamente con las universidades de Jefferson (EE.UU.), Surrey (R.U.), Monash (Australia), Eindhoven y Groningen (NL) para estudiar el efecto de las lámparas con un mayor contenido de espectro azul.

Como hemos comentado anteriormente en 2002 se descubrió un tercer receptor, además de los conos y bastones; razón por la cual esta empresa se ha interesado en la elevada sensibilidad que tiene este a la luz azul y las reacciones que esta provoca en el ser humano sobre todo que emite señales neurológicas que facilitan la función del reloj biológico y también que se ha demostrado que todos los seres humanos necesitan la intervención de este tercer receptor para su bienestar general y para regular con precisión su programa diario de actividad y reposo.

Basadas en este descubrimiento, Philips ha lanzado una gama de lámparas llamada “ActiViva” las cuales emiten una cantidad óptima de luz azul para estimular el tercer receptor. De esta forma influyen positivamente en nuestros biorritmos y en nuestra sensación de bienestar. El espectro de las lámparas ActiViva está diseñado especialmente para proporcionar la información visual y no visual que se requiere para las actividades humanas y el bienestar general y tienen un índice de reproducción cromática alto (>80) y una cantidad óptima de componente azul, producen una temperatura de color elevada de 8.000 K (Philips ActiViva Natural) o 17.000 K (Philips ActiViva Active).

Según una comparativa realizada entre iluminación a 7.500 K y a 3.000 K se desprende que las temperaturas de color altas favorecen más la actividad mental. Además, se cree que los entornos con temperatura de color más alta refuerzan los sistemas nerviosos simpático y parasimpático y paralelamente se ha observado que la somnolencia es mayor con una temperatura de color de 3.000 K que con 5.000 K.

La influencia de la nueva iluminación de 17.000 K sobre el bienestar y el rendimiento ha sido objeto de estudio en los ámbitos de la oficina y la industria. Se han llevado a cabo diversas pruebas en una serie de lugares y entornos de trabajo⁶⁰, tanto con turnos como sin turnos (Ver Tabla IX). Los resultados son los siguientes:

1. En un centro de atención telefónica organizado por turnos, la nueva iluminación de 17.000 K produjo mejoras manifiestas en los aspectos de fatiga, energía, concentración y rendimiento laboral autoevaluado. También se han observado mejoras en los datos de gestión de llamadas objetivas. En comparación con los valores de referencia, el grupo de 17.000 K mejoró sustancialmente en varias de las puntuaciones, entre ellas la percepción de salud general, sociabilidad y vitalidad. Se registraron diferencias significativas entre el grupo de control y el grupo de 17.000 K en las áreas de concentración y rendimiento laboral.

⁶⁰ Geerdinck L, Schlangen L. “Well-being effects of high color temperature workplace lighting” Philips Lighting, Global Organisation Applications Lighting, Eindhoven, Holanda, 2006



2. Realizaron también un estudio de control aleatorio para analizar el efecto de la luz intensa de 17.000 K enriquecida en azul en los pacientes con depresión invernal SAD⁶¹, aplicando un tratamiento con luz intensa normal como referente de control. Tanto la nueva luz de 17.000 K como la estándar de alta intensidad resultaron muy eficaces en el tratamiento contra la depresión. Los efectos terapéuticos no mejoran aunque se añada más luz azul al tratamiento básico. Cuando intervienen los receptores no visuales en el tratamiento del trastorno mediante luz, es posible que ya estén saturados por las altas luminosidades usadas durante la terapia. (Ver ilustración 28)

Area / workplace	subjects	2006, wk 3 (baseline)	wk4 - wk6	wk7 - wk9	wk10 - wk12
1: Industry-hall	17	4000 K	17000 K	4000 K	17000 K
2: Office	22	4000 K	17000 K	4000 K	17000 K
3: Control group	15	4000 K	4000 K	4000 K	4000 K
Instruments used					
(I) Survey questionnaire		once	once	once	once
(II) Short questionnaire		5 times for one day	5 times for one day	5 times for one day	5 times for one day
(III) Acceptance questions			once	once	once
(IV) Final evaluation questions					once

Tabla IX. Diseño experimental utilizado para investigar el lugar de trabajo, Geerdinck L, Schlangen, 2006

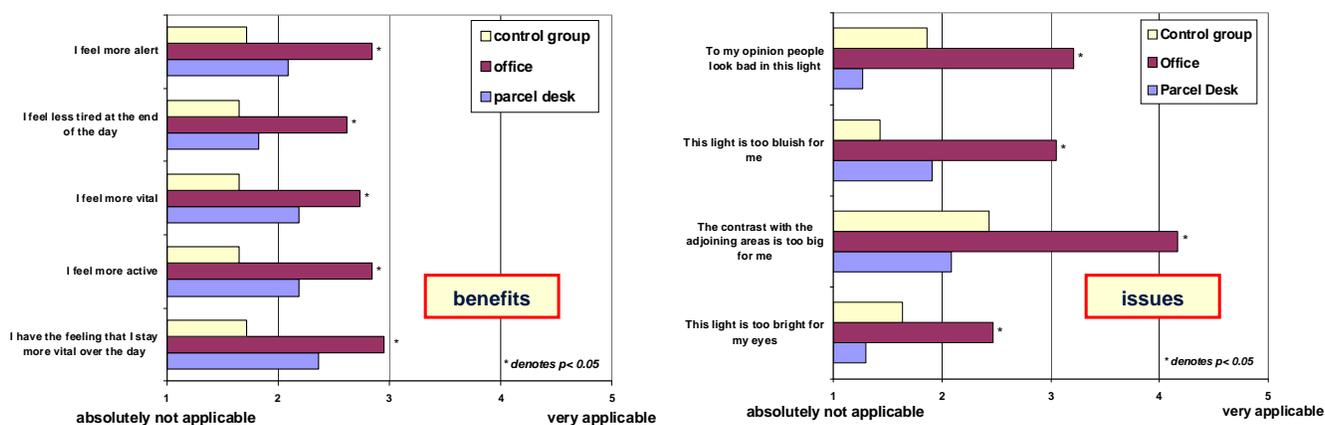


Ilustración 28. Resultados obtenidos de la evaluación final entre el grupo de 17000 K y el grupo control. Beneficios a la izquierda y desventajas a la derecha, Geerdinck L, Schlangen, 2006

⁶¹ SAD "Seasonal Affective Disorder", trastorno afectivo estacional.



Estos descubrimientos abren la puerta a nuevas técnicas de iluminación de interiores que den respuesta a la necesidad humana de aprovechar los efectos biológicos no visuales de la luz. Las investigaciones y proyectos de esta empresa han favorecido la puesta en marcha de nuevas estrategias, energéticamente eficientes, que proporcionen los beneficios visuales y no visuales requeridos para las actividades humanas y el bienestar general. (Ver ilustración 29) Constituyen una importante contribución a la iluminación de lugares de trabajo y de las áreas que normalmente utilizan fuentes de luz fluorescentes; aunque es importante considerar que este tipo de lámparas deben utilizarse conjuntamente con sistemas de control dinámico.

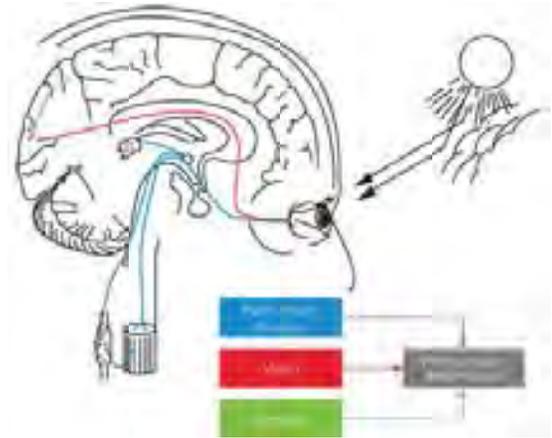


Figura 29: Efectos de la luz

Philips Luminarias introdujo el Alumbrado Dinámico en el 2003 basándose en las variaciones naturales de la luz diurna y adaptando la temperatura de color y los niveles de iluminación durante el día a los ritmos humanos. La lámpara ActiViva de Philips ha permitido ampliar el rango de temperaturas de color del Alumbrado Dinámico a 8.000 K ó 17.000 K.

2.2 NIVEL INTERNACIONAL-ESTUDIOS MULTIDISCIPLINARIOS

2.2.1 PLANTEAMIENTO Y PROPUESTAS

BRAINARD Y BERNECKER (E.U.A.)	CZEISLER (E.U.A.)	ABDOU (E.U.A.- ARABIA SAUDITA)
<ul style="list-style-type: none"> • ESTUDIOS BASE • DESCUBRIMIENTOS DE EFECTOS NO ÓPTICOS DE LA LUZ • INFLUENCIA DE LA LUZ EN EL SER HUMANO • PROPUESTA: INCORPORAR LA LUZ EN DISEÑOS ARQ. PARA OPTIMIZAR LA SALUD DE LAS PERSONAS 	<ul style="list-style-type: none"> • LUZ Y SALUD • EFECTOS DE SOMETERSE A PROLONGADAS HORAS DE LUZ ARTIFICIAL • RELOJES BIOLÓGICOS • PROPUESTA: PROMOVER UN CAMBIO A PARTIR DEL DISEÑO DE ILUMINACION ARTIFICIAL Y LA CULTURA DE LA LUZ 	<ul style="list-style-type: none"> • IMPLICACIONES DEL AMBIENTE LUMÍNICO EN LA PRODUCTIVIDAD • PROPONE REALIZAR ESTUDIOS SERIOS CON UNA METODOLOGÍA ADECUADA PARA ANALIZARLAS. • PROPUESTA: ESTUDIAR CONCEPTOS COMO AHORRO ENERGÉTICO Y PRODUCTIVIDAD



REA, PIPERMO, FIGUEIRO, MONTAGNA (ITALIA-E.U.A.)

- ALTOS NIVELES DE ILUMINACIÓN DISMINUCIÓN DE MELATONINA
- DESCUBRIMIENTO DE QUE ILUMINANCIAS SUPERIORES A LOS 2500 LUX APLICADAS SUPRIMEN LA PRODUCCION DE LA HORMONA DEL SUEÑO
- SISTEMA DESARROLLADO SIYRA UTILIZADO EN HOSPITALES, OFICINAS.
- PROPUESTA: SE PROPONE UNA ILUMINACION DINAMICA DECRECIENTE (2500 A 200LUX)

MAJOROS Y LUXMATE CONTROLS (HUNGRIA)

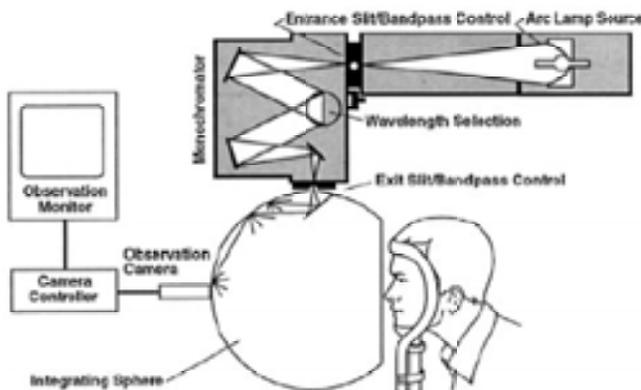
- EL DINAMISMO EN LOS NIVELES DE ILUMINACION DURANTE TRABAJO DIURNO AFECTA LA CALIDAD DE TRABAJO Y LOS SENTIMIENTOS SUBJETIVOS DEL EFECTO ESTIMULANTE EXPERIMENTADO
- PROPUESTA: A TRAVÉS DE LA VARIACIÓN DINAMICA POSITIVA O NEGATIVA, MEDIR EL ESFUERZO MENTAL DE LOS USUARIOS EN RELACION CON UNA TRAYECTORIA CIRCADIANA

BEGEMANN-PHILIPS (HOLANDA)

- NIVELES DE ILUMINACIÓN EN OFICINAS NECESARIOS PARA TENER UN ADECUADO NIVEL DE CONCENTRACIÓN
- ESTOS NIVELES TIENE QUE SER LO MÁS CERCANOS A LA ILUMINACIÓN NATURAL
- PROPUESTA: ILUMINACIÓN DINAMICA PARA HOSPITALES Y OFICINAS

2.2.2 BRAINARD Y BERNECKER (E.U.A.)

El Dr. George Brainard es director del Jefferson's Light Research Program desde 1984, y fué pionero en presentar en foros internacionales de iluminación descubrimientos acerca de los efectos no ópticos de la luz y la influencia que tiene en el ser humano; y sugiere que estos deben ser fundamento para las futuras estrategias en el diseño de iluminación arquitectónica. En el programa de investigación que lleva a cabo en el Jefferson Medical College en la Universidad de Thomas Jefferson en Pensylvania, EUA, estudia los efectos de la luz a nivel neurológico (Ver ilustración 30) y sus implicaciones en las regulaciones circadianas, usando las técnicas de la fotobiología, ensayos de la radiosidad, y pruebas de rendimiento; con lo que el y su grupo de investigadores han logrado documentar las diferencias de entre la las fuentes de luz visibles y las no visibles y como influyen tanto el equilibrio hormonal y el comportamiento.



3.

Estudios en curso incluyen el esclarecimiento de los espectros de acción de la melatonina, la investigación de la fase de desplazamiento de la capacidad de la luz, el estudio de la influencia de la luz en la progresión tumoral, y el ensayo de nuevos dispositivos de tratamiento con luz para el invierno y su relacion con el síndrome de Afección estacional.

Brainard formó parte en el equipo de la NASA, National Space Biomedical Research Institute, como miembro del area de rendimiento de factores humanos, sueño y cronobiología en el 2001 y director en el 2002.



En otros de sus experimentos, en colaboración con otros investigadores⁶² han estudiado la variación del espectro de luz en espacios interiores relacionado con las diferentes superficies de suelos, techos y paredes; y mencionan que se debe considerar en el diseño la correcta combinación de propiedades de los materiales, más la textura, más las características de la luz con el fin de lograr el espectro correcto en una cantidad adecuada para la estimulación adecuada del sistema circadiano.

2.2.3 CZEISLER (E.U.A.)

El doctor Charles A. Czeisler junto con colegas de la Escuela de Medicina de Harvard, en Boston Massachusetts, E.U.A., han tenido diversas experiencias que indican que el ser humano reacciona a la luz artificial de baja y moderada intensidad (alrededor de 180 luxes), como la que regularmente es empleada para iluminar los ambientes interiores de las viviendas y algunas áreas de trabajo, misma que modifica el horario del reloj biológico y alterando los Ritmos Circadianos.

Durante cinco años, los investigadores realizaron pruebas experimentales en las cuales estudiaron en 80 voluntarios sanos, los efectos de diferentes intensidades de luz, desde 0.03 hasta 9.500 lux, en relación al reloj biológico hipotalámico, midiendo la temperatura de manera periódica y obteniendo curvas de ella y de la concentración de algunas hormonas, cuyas fluctuaciones mostraron los cambios en los ritmos. El análisis de la información reveló, que la luz muy intensa ocasionaba en corto tiempo una importante alteración del Ritmo Circadiano y reajuste del reloj endógeno. El hallazgo más sorprendente fue que las desviaciones del RC fueron similares tanto en condiciones de fuerte como de baja iluminación.

A partir de esta observación se llevó a cabo un estudio adicional que, por una parte, demostró claramente que la exposición repetitiva a luz de baja intensidad por un período de tiempo relativamente corto (cinco horas en promedio), tenía efectos muy similares a los de la luz intensa sobre el Ritmo Circadiano de regulación de la temperatura corporal. Así, en pocos días, la exposición a luz artificial corriente (50 a 300 lux) por períodos cortos induce un importante adelanto del reloj biológico, que puede manifestarse con privación de sueño, descanso insuficiente y alteración del estado de alerta. Incluso estímulos insignificantes, de apenas 0.03 lux de intensidad, pueden causar alteraciones similares. La modificación del horario del marcapaso hipotalámico, fue proporcional a la intensidad del estímulo luminoso, describiendo una curva dosis-respuesta, y es acumulativa, pues al reducir la intensidad de la luz se mantiene el efecto inicial.

En la actualidad, los habitantes de las ciudades están expuestos, en las horas siguientes al atardecer, a niveles de luz cercanos a 1.000 lux, lo que significa, de acuerdo con los experimentos del doctor Czeisler y sus colaboradores, que es posible que esta iluminación artificial sea causa de modificación del marcapaso hipotalámico y los ciclos circadianos en un gran número de individuos. Por ello la propuesta de estos autores se inclina a promover un cambio a partir del diseño de iluminación artificial que incorpore variaciones y a generar modificaciones respecto a disminuir la exposición a la luz artificial en el horario nocturno.

⁶² Lira A. *Light Spectrum and Internal Variation by Changing a Wall Texture*, Harvard University, USA. 5th International Radiance Scientific Workshop, Septiembre 2006



2.2.6 INFORME TÉCNICO DE LA CIE (COMISION INTERNACIONAL DE ILUMINACIÓN)

La Comisión Internacional de Iluminación, publicó un informe técnico⁶³, resultado de la reunión sostenida en el 2001 de algunos comités: "Psychological aspects of lighting", "Systemic effects of optical radiation on humans", "Psychobiological effects of lighting", "Spatial and temporal variability of radiation exposure and human behaviour". Es muy importante esta publicación ya que es una guía de gran utilidad agrupada por temas generales, siendo una compilación bibliográfica bastante extensa dedicada a la influencia de la luz natural y artificial y las variaciones diurnas y estacionales sobre los seres humanos.

3 PROPUESTA DE MODELO DE DISEÑO

3.1 EL ESPACIO LABORAL- OFICINAS

3.1.1 CARACTERÍSTICAS y ESTADO DEL ARTE EN MÉXICO

El espacio laboral y las áreas de oficinas a lo largo del tiempo han experimentado diversos cambios, desde la falta de incorporación de las necesidades propias del usuario con respecto al mobiliario y al ambiente, respondiendo más a cuestiones estéticas y de estilo que funcionales en las oficinas de los años 30s, hasta la aparición de los rascacielos a finales de los años 50, donde ya se muestra una jerarquía clara, mostrando el carácter de un edificio de oficinas, tanto por su configuración como por el mobiliario utilizado; y en donde comenzó a proliferar el diseño de espacios cada vez más artificialmente alejados del entorno natural y en donde el acondicionamiento del ambiente es sumamente inadecuado.

En la actualidad los edificios más recientes están incorporando facilidades para integrar la tecnología y los sistemas de acondicionamiento del ambiente pasivos y activos, junto con las nuevas filosofías de trabajo. Por su parte en la Ciudad de México, como parte de su ciclo natural, el mercado inmobiliario corporativo vive la parte alta de su ciclo, caracterizada por un bajo inventario disponible de oficinas, lo cual se ha traducido en altos precios. Sin embargo, en el horizonte mediano y largo plazo hay cerca de millón y medio de metros cuadrados en proyecto⁶⁴ de construcción, mismos que pueden cambiar el escenario sobre todo si se toman consideraciones desde su concepción.

Pero lo atractivo es que por primera vez en la historia más del 50 por ciento del inventario total, son de edificios nuevos, con menos de 10 años de antigüedad, lo que significa que se pueden implementar nuevas tecnologías y estrategias en el diseño integral de las áreas de oficinas, incorporando nuevos sistemas de iluminación y control. De acuerdo con el reporte "Marketbeat", correspondiente al segundo trimestre del 2008 de Cushman & Wakefield, en la Ciudad de México existen más de 570 mil metros cuadrados adicionales en proyecto siendo el submercado de Santa Fe, el que mayor actividad registra con 26 por ciento de los metros cuadrados en proyecto.

⁶³ CIE 2001, Technical Report. The influence of daylight and artificial light on diurnal and seasonal variations in humans.

⁶⁴ Fuente CBRE, Mercado de Oficinas en la Ciudad de México Julio 2008



METROS CUADRADOS EN PROYECTO DE CONSTRUCCION 2008-2012						
ZONA DE CONSTRUCCIÓN	2008	2009	2010	2011	2012	TOTAL POR CORREDOR
Periferico		20,000	46,900	50,000		116,900
Insurgentes		58,000	79,000	56,000		193,000
Lomas-Palmas		11,330				11,330
Santa Fe		43,000	129,000			172,000
Azcapotzalco		18,000				18,000
Polanco			193,000	37,800	83,000	313,800
Reforma			60,000	76,000		136,000
TOTAL ANUAL	0	150,330	507,900	219,800	83,000	961,030

Fuente: CBRE. Mercado de oficinas en la Ciudad de México. Julio 2008

En las siguientes tablas se puede observar los metros cuadrados construidos por zona en la ciudad de México para los próximos años.

METROS CUADRADOS EN CONSTRUCCION 2008-2012						
ZONA DE CONSTRUCCIÓN	2008	2009	2010	2011	2012	TOTAL POR CORREDOR
Bosques	12,000	0	0	0	0	12,000
Insurgentes	46,750	23,367	11,000	0	0	81,117
Lomas-Palmas	2,500	8,000	0	0	0	10,500
Santa Fe	25,000	74,400	61,206	39,241	28,933	228,780
Azcapotzalco	0	18,000	0	0	0	18,000
Polanco	0	35,000	30,000	70,000	0	135,000
Reforma	0	78,100	30,000	0	0	108,100
TOTAL ANUAL	86,250	236,867	132,206	109,241	28,933	593,497

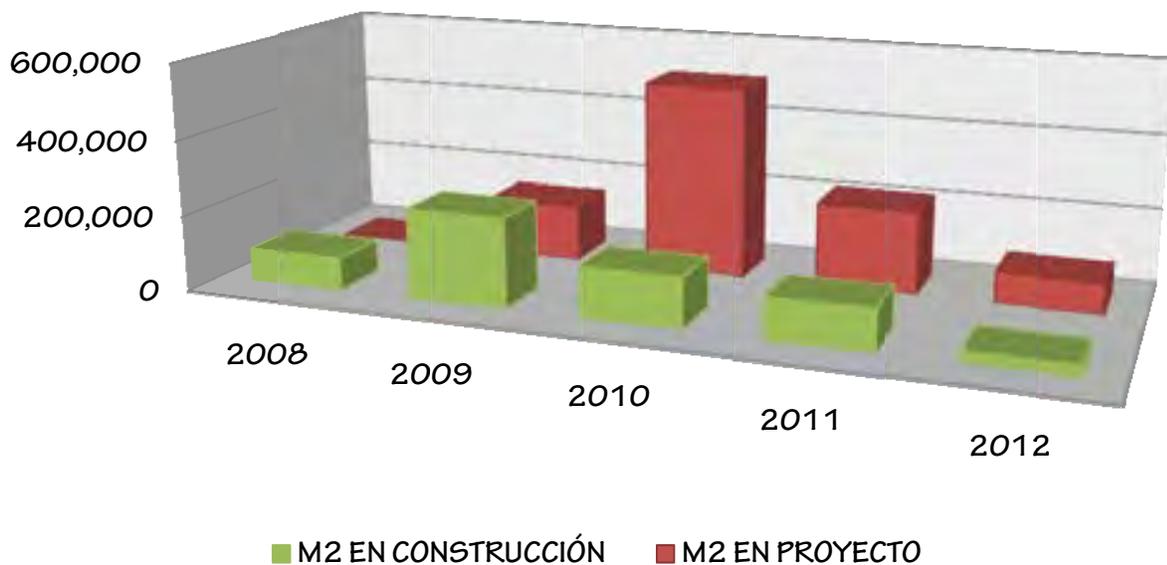
Fuente: CBRE. Mercado de oficinas en la Ciudad de México. Julio 2008





Las tendencias a nivel mundial en cuanto los aspectos de sustentabilidad y respeto al entorno han alcanzado en otros países niveles muy interesantes. Certificaciones como LEED⁶⁵ para edificios corporativos, que tuvieron origen en aquellos llamados edificios inteligentes y ahora siguiendo las tendencias de la globalización se han concretado en algo mucho más específico y objetivo, deberían ser incorporados a los reglamentos de construcción de nuestro país, siendo el caso de los aspectos lumínicos de las oficinas.

M2 EN CONSTRUCCIÓN Y EN PROYECTO 2008-2012



⁶⁵ LEED "Leadership in Energy and Environmental Design". Sistema estadounidense de estandarización de construcciones ecológicas desarrollado por el US Green Building Council.



3.1.2 CONSIDERACIONES ARQUITECTÓNICAS

Desde hace mucho tiempo se sabe que la ergonomía y el diseño de oficina influyen decididamente en la forma de trabajar. Diseñamos nuestros espacios para minimizar el estrés, favorecer la concentración y optimizar el rendimiento. Y lo hacemos cuidando al máximo todos los factores, desde la estación de trabajo que ocupamos o el ruido de fondo, hasta la calidad del aire y, por supuesto no debemos dejar a un lado a la iluminación. Además de permitirnos ver, la buena iluminación también afecta a nuestras sensaciones. La sensación de bienestar es buena tanto para el trabajador como para la empresa.

La iluminación de los ambientes interiores en áreas de oficinas, tiene por objeto satisfacer las siguientes necesidades⁶⁶:

- ✓ Contribuir a crear un ambiente de trabajo seguro
- ✓ Ayudar a realizar tareas visuales
- ✓ Crear un ambiente visual adecuado

La creación de un ambiente de trabajo seguro, tiene que estar en el primer lugar de la lista de prioridades al momento de realizar un diseño y, en general, se aumenta la seguridad haciendo que los peligros sean claramente visibles. El orden de prioridad de las otras dos necesidades dependerá en gran medida del uso requerido. La realización de la tarea puede mejorarse haciendo que sea más fácil ver todos sus detalles, mientras que se crean ambientes visuales apropiados variando el énfasis de iluminación dado a los objetos y superficies existentes dentro del ambiente interior.

La luz y el color influyen en nuestra sensación general de bienestar, incluyendo la moral y la fatiga. Con bajos niveles de iluminación, los objetos tienen poco o ningún color o forma y se produce una pérdida de perspectiva. A la inversa, el exceso de luz puede ser tan incómodo como su escasez. En general, la gente prefiere una habitación con luz diurna a una habitación sin ventanas. Además, se considera que el contacto con el mundo exterior contribuye a la sensación de bienestar.

La introducción de controles de iluminación automáticos, junto con la atenuación de altas frecuencias en las lámparas fluorescentes, ha permitido proporcionar a los ambientes interiores una combinación controlada de luz natural y luz artificial. Aunando a esto se añade la reducción de los costos energéticos.

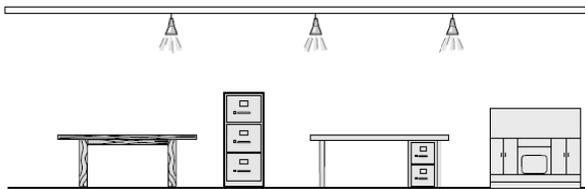
En la percepción del carácter de un ambiente interior influyen el brillo y el color de sus superficies visibles, tanto interiores como exteriores. Las condiciones de iluminación general de un ambiente interior pueden conseguirse utilizando luz natural o iluminación artificial, o lo que es más probable, con una combinación de ambas.

Al realizar un diseño de iluminación se deben considerar las siguientes variables espaciales:

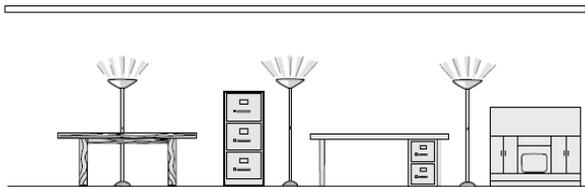
- ✓ ALTURA DEL LOCAL
- ✓ MOBILIARIO
- ✓ COLORES EN ACABADOS (REFLECTIVIDAD Y BRILLO)
- ✓ DISTRIBUCION
- ✓ TAREAS A DESEMPEÑAR

⁶⁶ Según la Enciclopedia de salud y Seguridad en el Trabajo

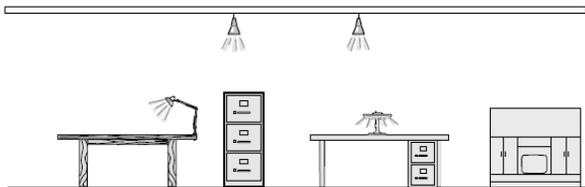




A. General



B. Localizada



C. Local

Los sistemas de iluminación utilizados en interiores pueden subdividirse en tres categorías principales:

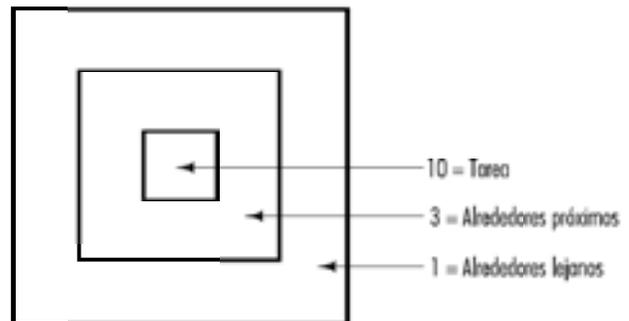
- A. Iluminación general
- B. Iluminación localizada
- C. Iluminación local

Normalmente, las instalaciones de iluminación general proporcionan una iluminancia aproximadamente uniforme en todo el plano de trabajo. Los sistemas de iluminación localizada proporcionan iluminancia en áreas de trabajo generales con un nivel reducido de iluminancia simultáneo en áreas adyacentes. Los sistemas de iluminación locales proporcionan iluminancia para áreas relativamente pequeñas que incorporan tareas visuales.

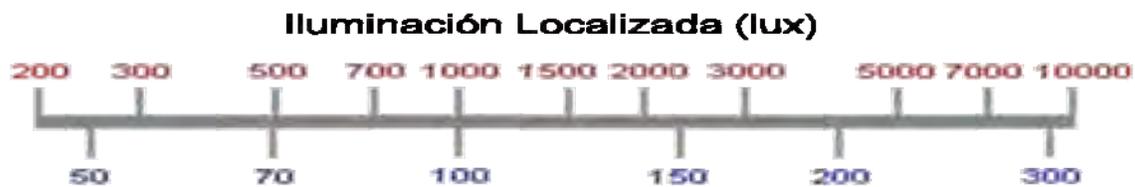
Normalmente, estos sistemas se complementan con un nivel especificado de iluminación general. En la Ilustración 31 se pueden observar las diferencias típicas entre los sistemas mencionados.

Cuando hay que realizar tareas visuales, es esencial alcanzar el nivel exigido de iluminancia y estudiar las circunstancias que afectan a su calidad; siempre buscando la visibilidad, estética, confort y salud del observador.

Con el objeto de producir un ambiente que proporcione satisfacción, confort y rendimiento visual, es preciso equilibrar las luminancias existentes dentro del campo de visión. Lo ideal es que las luminancias existentes alrededor de una tarea disminuyan gradualmente, evitándose así fuertes contrastes. La Ilustración 32 y 33, se observa la variación de luminancia recomendada en los alrededores de una tarea, entre iluminación localizada e iluminación general.



es de una



Iluminación General (Iluminación mínima en lux)

Ilustración 33. Relación de niveles de iluminación general y localizada recomendados

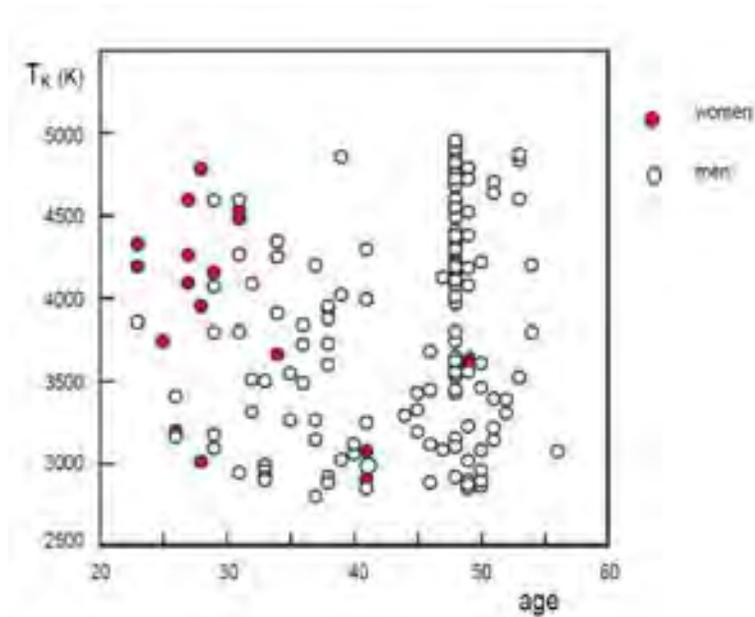
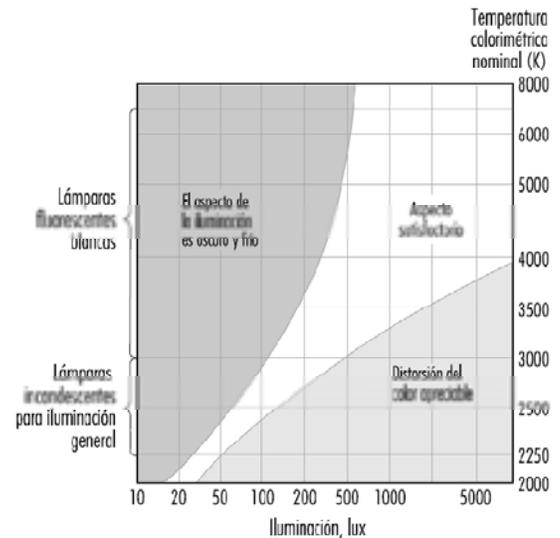


3.1.3 VARIABLES A CONSIDERAR RELATIVAS AL USUARIO

3.1.3.1 Confort en relación de Iluminación y Temperatura

El color o “coloración” de la iluminación no solo depende del color de la luz, sino también de la intensidad luminosa. La temperatura de color está relacionada con las diferentes formas de iluminación. La sensación de satisfacción con la iluminación de un ambiente determinado depende de esta temperatura. De este modo, por ejemplo, la temperatura de color de una lámpara incandescente de 100 W es de 2700 K, la de un tubo fluorescente es de 4000 K y la de un cielo nublado es de 10.000 K.

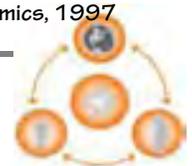
Kruithof definió, a través de observaciones empíricas, un diagrama de bienestar para diferentes niveles de iluminación y temperaturas de color en un ambiente determinado (Ver Ilustración 34). Mediante esta, demostró que es posible sentirse cómodo en ciertos ambientes con bajos niveles de iluminación si la temperatura colorimétrica también es baja (si el nivel de iluminación es de una candela, por ejemplo, con una temperatura colorimétrica de 1.750 K).



Estudios sobre el color preferido de la luz en un entorno de oficina⁶⁷, han demostrado que no existe una tendencia en la preferencia entre los individuos en este sentido: cada uno tiene su propia preferencia personal.

En la ilustración 35 se muestra una gráfica de la preferencia de temperatura de color de iluminación artificial en oficinas, dividido por género (hombres y mujeres), resultado de investigaciones realizadas por Tenner en 1997, publicadas en el artículo “Luz de día, luz artificial y la gente en un entorno de oficina, descripción general de las respuestas visuales y biológicas” "

⁶⁷ Tenner, A.D., Unpublished data from research reported in: Begemann, S.H.A., Beld, G.J. van den, Tenner, A.D., “Daylight, artificial light and people in an office environment, overview of visual and biological responses”, International Journal of Industrial Ergonomics, 1997



3.1.3.2 La influencia del alumbrado en la productividad

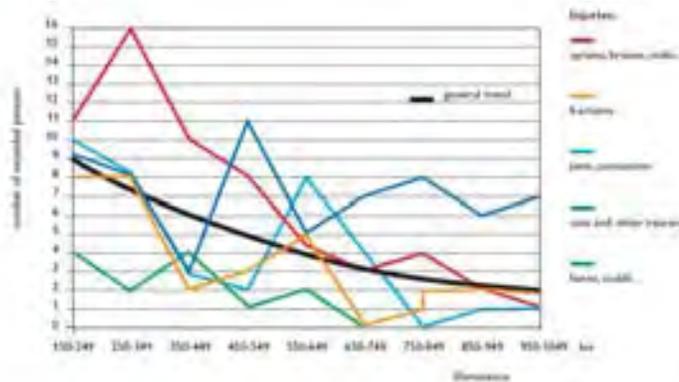


Ilustración 35. Número de accidentes en Función del Nivel de Iluminación, Völker, Rüschemschmidt and Gall, 1995

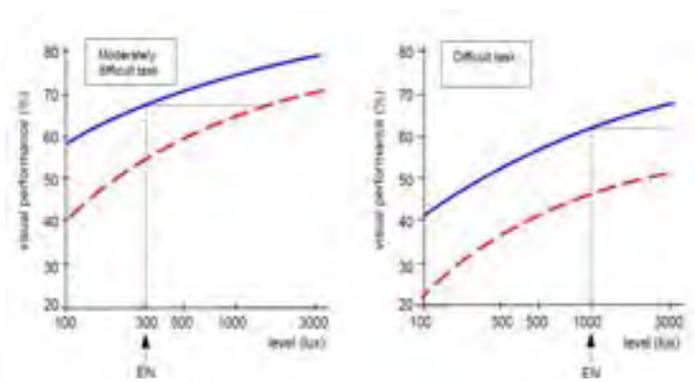


Ilustración 36. Relación entre rendimiento visual y nivel de iluminación, *Personas jóvenes línea azul, personas mayores roja*
Fuente: CIE Niveles especificados de la norma europea

La buena iluminación en la tarea que se esté desempeñando y en el lugar de trabajo, es esencial para conseguir un rendimiento óptimo de la tarea visual, y un buen desempeño de los trabajadores. Debemos considerar que en términos de productividad una mejor iluminación contribuye positivamente en: el rendimiento en las tareas (mayor velocidad y menor porcentaje de errores), en la seguridad y el porcentaje de accidentes (Ver ilustraciones 35), en el ausentismo, en el rendimiento visual (Ver ilustración 36), en la salud y bienestar; es decir el efecto general de todo esto es una mayor productividad. Otros estudios realizados sobre el efecto de una buena iluminación en el rendimiento del personal dentro de las fábricas ha demostrado que; en una sala de composición, el incremento del nivel de luz de 100 a 1000 lux aumentó la productividad en un 30% y redujo los artículos defectuosos en un 18%.

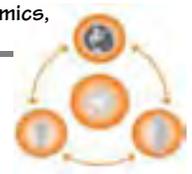
Para un entorno industrial (tarea visual moderadamente difícil), se ha investigado el posible incremento resultante de la productividad total como resultado de la mejora del nivel de iluminación⁶⁸, lo que arrojó el siguiente resumen de resultados.

Improvement of lighting level	Productivity increase
From 300 to 500 lux	8 %
From 300 to 2000 lux	20 %

Debemos considerar que este es un estudio particular, que no se puede tomar como una generalidad, ya que se requiere más investigación al respecto para poder considerar que los porcentajes de productividad mostrados, se pueden aplicar en todos los campos; debido a que se sabe que la iluminación no es el único factor que contribuye a la productividad laboral, sin embargo es evidente que influye en ella.

Para confirmar los resultados, se están llevando a cabo investigaciones de la productividad real, de la vida en una serie de entornos industriales donde la iluminación ha sido recientemente renovada. Conscientes de la importancia del componente biológico en el aumento de la productividad, se cree que cifras similares, se pueden obtener en un entorno de oficina. Al poner atención en los niveles de iluminación, que sean flexibles, variables, adaptables y en los colores y en la intensidad para los nuevos diseños, las ventajas de productividad, serán aún más impresionantes.

⁶⁸ Tenner, A.D., Unpublished data from research reported in: Begemann, S.H.A., Beld, G.J. van den, Tenner, A.D., "Daylight, artificial light and people in an office environment, overview of visual and biological responses", International Journal of Industrial Ergonomics,



3.1.3.3 TRASTORNOS

Como se ha mencionado la luz es factor de bienestar o por el contrario, puede provocar diversos trastornos en el ser humano, al estar expuesto por prolongadas horas a una mala iluminación o bien al no contar con ella. Estos trastornos pueden ser desde un simple dolor de cabeza, alteraciones en el ciclo del sueño, aumento de niveles de estrés, baja autoestima, depresión, síndromes de depresión estacional, falta de atención, baja productividad, entre muchos otros.

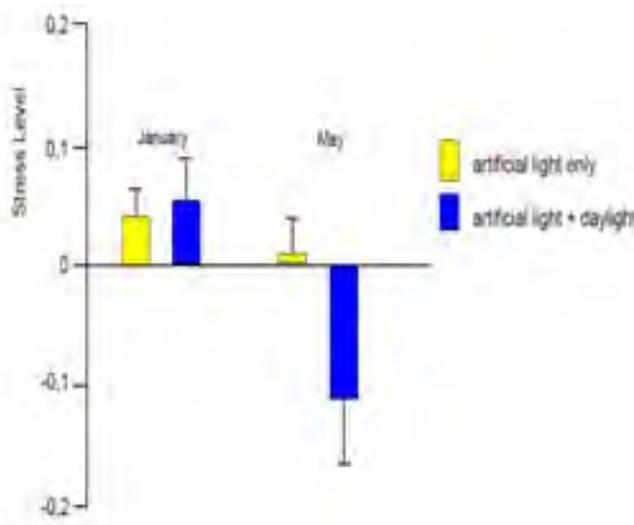


Ilustración 37. Niveles de Estrés

ESTRÉS

Algunos de los estudios realizados en referencia a los niveles de estrés en las personas que trabajan en ambientes interiores; se han llevado a cabo mediante la comparación de un grupo de personas que trabajan bajo luz artificial, y otro grupo de trabajo bajo una combinación de luz artificial y luz natural⁶⁹. Como puede verse, en la Ilustración 37; en enero, cuando la penetración de la luz del día no es suficiente para hacer una contribución sustancial al nivel de iluminación, no hay prácticamente ninguna diferencia entre los dos grupos, pero en mayo, cuando la luz del día contribuye realmente, el grupo que se beneficia de la luz del día tiene un nivel considerablemente inferior de estrés.

Otro estudio muestra que la luz artificial brillante en interiores en invierno tiene un efecto positivo sobre el estado de ánimo y la vitalidad⁷⁰

JET LAG

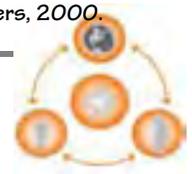
Es un trastorno que ocurre cuando te trasladas de una franja horaria a otra en un tiempo reducido, por el ejemplo cuando viajas en avión de un lugar a otro y pasas diversos husos horarios, lo que se deriva de ello es que después de realizar vuelos intercontinentales, el tiempo ambiental cambia abruptamente.

El ciclo de sueño-vigilia y el sistema circadiano no pueden seguir este repentino cambio de fase; además, se necesitan algunos días para conseguir ajustarse a la nueva franja horaria. Los efectos resultantes del desplazamiento entre el tiempo externo e interno se conocen como Jet Lag; las personas que sufren este, se sienten cansadas en cierto momento del día y tienen dificultades para conciliar el sueño o para levantarse temprano; por lo que se incrementa la sensación de fatiga, se tienen dificultades para la concentración, el apetito disminuye, las comidas son difíciles de digerir, pues se realizan en momentos que el organismo no está preparado para la digestión.

Algunos autores insinúan que en un futuro se incluirán programas de vuelo que incluyan luz brillante y sean los propios aviones los que incorporen elementos para proporcionar fototerapia a los viajeros, para reducir los síntomas propios durante los vuelos transmeridianos.

⁶⁹ Kerkhof, G.A., "Licht en prestatie", Proceedings. Symposium Licht en Gezondheid, Amsterdam, 1999.

⁷⁰ Partonen, T., et al., "Bright light improves vitality and alleviates distress in healthy people", Journal of Affective disorders, 2000.



SINDROME DE DEPRESIÓN ESTACIONAL “SAD”

Se le conoce como SAD, por sus siglas en inglés, “Seasonal Affective Disorder”. El trastorno afectivo estacional es un trastorno del estado de ánimo caracterizado por depresión en relación con una determinada estación del año, especialmente el invierno. Sin embargo, el SAD no suele describirse como un trastorno separado del estado de ánimo sino como una especie de "indicador" que hace referencia al patrón estacional de los episodios de depresión grave que pueden suscitarse dentro de la depresión grave y del síndrome maniaco depresivo.

El SAD es un diagnóstico clínico aceptado globalmente por la comunidad médica. El Dr. Norman E. Rosenthal, es el investigador a quien se le atribuye el descubrimiento del trastorno afectivo estacional.

La variación anual de la cantidad de horas de luz solar, junto con un cambio de fase inapropiado del ritmo circadiano, se consideran las principales causas tanto del letargo común del pleno invierno en la estación oscura, como de los estados agudos de depresión que ocurren durante otoño y primavera.

Se han identificado dos patrones estacionales de síntomas del SAD: un tipo de aparición otoñal, también llamado "depresión invernal", en el que los principales episodios depresivos comienzan hacia fines del otoño y primeros meses del invierno y desaparecen durante los meses de verano, y un tipo de aparición primaveral, también llamado "depresión veraniega", en el que el episodio depresivo grave comienza hacia fines de la primavera y primeros meses del verano. A continuación, se enumeran los síntomas más comunes del SAD. Sin embargo, cada individuo puede experimentarlos de una forma diferente. Los síntomas pueden incluir:

- Más sueño y somnolencia diurna.
- Irritabilidad.
- Fatiga o nivel de energía disminuido.
- Disminución del deseo sexual.
- Menor capacidad de concentración.
- Dificultad para pensar con claridad.
- Aumento del apetito, especialmente de comidas dulces e hidratos de carbono que provocan aumento de peso.

En muchos estudios en Alaska, Inglaterra, Finlandia, Dinamarca, Islandia, Escocia, Noruega, Suecia, Suiza y el centro de EUA, también se han documentado alteraciones estacionales. En el Hemisferio Sur, se ha identificado el SAD durante el invierno en Antártica, Australia y Sudáfrica.⁷¹

Se ha demostrado el efecto benéfico de la exposición a la luz intensa durante el amanecer, mediante Fototerapia (Ver Ilustración 38)



Ilustración 38. Ejemplo de fototerapia

⁷¹ Levine, M, 1995. "Seasonal symptoms in the sub-arctic". Military Medicine



3.1.3.4 FACTORES DE INFLUENCIA EN LA VISIBILIDAD

La visibilidad de un objeto puede resultar alterada de diversas maneras, existen diversos factores de influencia en ella; entre los más importantes encontramos:

COLOR DEL OBJETO	COLOR DEL FONDO
NEGRO	AMARILLO
VERDE	BLANCO
ROJO	BLANCO
AZUL	BLANCO
BLANCO	AZUL
NEGRO	BLANCO
AMARILLO	NEGRO
BLANCO	ROJO
BLANCO	VERDE
BLANCO	NEGRO

1. **CONTRASTE:** Se debe considerar el contraste de luminancias debido a factores de reflexión, a sombras, o a los colores del propio objeto y a los factores de reflexión del color. En la Tabla XI se muestran los contrastes entre diversos colores por orden descendente. En realidad, lo que el ojo realmente percibe son las diferencias de luminancia entre un objeto y su entorno o entre diferentes partes del mismo objeto.

2. **LUMINANCIA:** También debe considerarse que la luminancia de un objeto, de su entorno y del área de trabajo influyen en la facilidad con que puede verse un objeto. Por consiguiente, es de suma importancia analizar el área donde se realiza la tarea visual y sus alrededores a detalle.

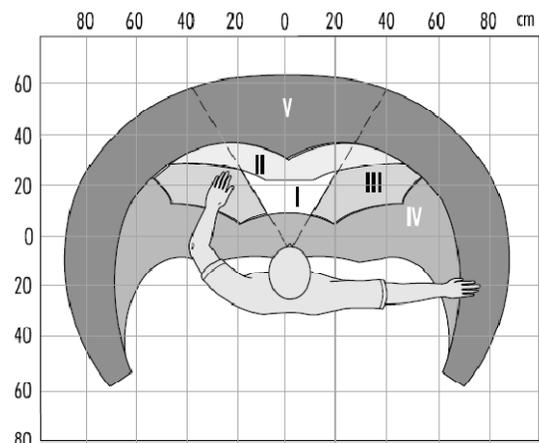
3. **TAMAÑO de OBJETO:** Otro factor es el tamaño del objeto a observar, que puede ser adecuado o no, en función de la distancia y del ángulo de visión del observador.

Tabla XI. Constrastes de color por orden descendente

Los dos últimos factores determinan la disposición del puesto de trabajo, clasificando las diferentes zonas de acuerdo con su facilidad de visión. De acuerdo a la Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo⁷² Se pueden establecer cinco zonas en el área de trabajo (Ver ilustración 38).

Un factor adicional es el intervalo de tiempo durante el que se produce la visión. El tiempo de exposición será mayor o menor en función de si el objeto y el observador están estáticos, o de si uno de ellos o ambos se están moviendo. La capacidad del ojo para adaptarse automáticamente a las diferentes iluminaciones de los objetos también puede influir considerablemente en la visibilidad.

Con esto podemos decir que los factores esenciales en las condiciones que afectan a la visión son la distribución de la luz y el contraste de luminancias. En cuanto a la distribución de la luz, es preferible tener una buena iluminación general en lugar de una iluminación localizada, con el fin de evitar deslumbramientos. Por esta razón, las luminarias deberán distribuirse lo más uniformemente posible con el fin de evitar diferencias de intensidad luminosa y evitar la fatiga ocular.



ZONAS VISUALES EN LA ORGANIZACION DEL ESPACIO DE TRABAJO

	Movimientos de trabajo	Esfuerzo visual
Gama I	Movimientos frecuentes, implican que se emplea mucho tiempo	Gran esfuerzo visual
Gama II	Movimientos menos frecuentes	Esfuerzo visual frecuente
Gama III	Implican poco tiempo	La información visual no es importante
Gama IV	Aún menos frecuentes, poco tiempo	No requiere un esfuerzo visual en particular
Gama V	Deben evitarse	Debe evitarse

Ilustración 38. Distribución de las zonas visuales en el puesto de trabajo

⁷² Organización Internacional del Trabajo, O.I.T., 3era edición, 2001



3.2 NIVELES DE ILUMINACIÓN DE OFICINAS

El nivel de iluminación siempre ha sido utilizado como parámetro de diseño, y ha estado presente en las recomendaciones y normativas de diversas organizaciones nacionales e internacionales dedicadas a la Luminotecnia, esto debido a que se ha demostrado ser un parámetro cuantificable y da gran influencia en el ambiente lumínico; sin embargo como hemos contemplado en el desarrollo de esta investigación, es solo una variable a considerar puesto que hay otros puntos igual o más relevantes que se deben contemplar, pero a diferencia de otros parámetros el nivel de iluminación siempre se considera.⁷³

Desde el siglo XIX con la creciente industrialización, el ámbito de la iluminación para puestos de trabajo se estudió intensamente la influencia de la iluminancia y del tipo de iluminación en la eficiencia de la producción. De este modo aparecieron reglamentos exhaustivos que establecían iluminancias mínimas, así como calidades para la reproducción cromática y la limitación del deslumbramiento.

Este catálogo normativo sirvió, trascendiendo ampliamente en el ámbito de los espacios laborales, como directriz para la iluminación y determina hasta el presente la práctica de los proyectos de iluminación. Sin embargo este planteamiento no tenía en cuenta la psicología de la percepción ni la influencia a nivel biológico en el ser humano. Las reglas de la iluminación cuantitativa no contemplaban la forma en que el ser humano percibe claramente las estructuras ni el hecho de que la iluminación también transmite una impresión estética y emociones.

Tras la segunda guerra mundial, surgió en los Estados Unidos una nueva filosofía de iluminación que ya no tenía en cuenta exclusivamente aspectos cuantitativos. Al incorporar la psicología de la percepción a la fisiología del aparato visual, se consideraron todos los factores de la interacción entre la persona, el objeto observado y la luz como elemento mediador. Esta planificación de la iluminación orientada a la percepción comenzó a interesarse primordialmente en factores cualitativos.

En las décadas de los 50's y 60's Richard Kelly uno de los pioneros de los proyectos de iluminación cualitativos, integró en un concepto unitario las ideas procedentes de la psicología de la percepción y de la iluminación de escenarios. Kelly se distanció de la estipulación de una iluminancia unitaria como criterio central del proyecto de iluminación y sustituyó la cuestión e idea de la cantidad de luz por la cuestión de las diferentes calidades de la luz, conforme a una serie de funciones de la iluminación orientadas al observador como perceptor. En este sentido en los años 50 estableció una distinción entre tres funciones básicas: "luz para ver" (ambient luminescence), "luz para mirar" (focal glow), "luz para contemplar" (play of brilliants).

Ya en los años 70, William M.C. Lam, elaboró un catálogo de criterios, un vocabulario sistemático para la descripción contextualizada de los requisitos planteados a una instalación de iluminación. Lam distingue entre dos grupos principales de criterios; las "necesidades por actividad" (activity needs), que son los requisitos derivados de la participación activa en un entorno visual y las "necesidades biológicas" (biological needs), las cuales agrupan en cada contexto los requisitos psicológicos vigentes planteados a un entorno visual.

⁷³ Borg, N.Y. Mills, E., 1998 "Rethinking Light Levels, IAEEEL



3.2.1 NORMAS INTERNACIONALES

Los niveles de iluminación indicados en las recomendaciones varían dependiendo según las actividades, y además fluctúan entre diferentes países. Por otra parte, según el país a que se refiera, estas cambian en los niveles de iluminación recomendados desde 1930. En general, las recomendaciones de los niveles adecuados son efectuadas con el fin de mejorar la seguridad de los trabajadores en la industria, productividad, el aprendizaje en las escuelas, y la recuperación de los pacientes en los hospitales. Muchos son los grupos que tienen interés en influir en la selección de niveles de iluminación recomendados.

3.2.1.1 CIE

La guía de iluminación interior de la CIE⁷⁴ (Comisión Internacional de Iluminación), es en la cual se basan para determinar las condiciones de ambiente lumínico en Europa, en estas se hace referencia a los niveles de iluminación recomendados en función a la actividad visual a desarrollar y se establecen recomendaciones generales de iluminación, basándose en conceptos como satisfacción visual, visibilidad, ejecución de tareas, rendimiento visual, nivel de adaptación, direccionalidad y factor de luminancia. (Ver Tabla XII). La escala utilizada por la CIE es: 20-30-50-75-100-150-200-300-500-750-1000-1500-2000-3000-5000 lux.

RANGO DE ILUMINANCIA RECOMENDADA (lux)	TIPO DE AREA O ACTIVIDAD
20-30-50	Pasillos y áreas de circulación y áreas de trabajo
50-10-150	Áreas de circulación, orientación sencilla o visitas de corto tiempo
100-150-200	Habitaciones de trabajo que no se utilizan de forma continua
200-300-500	Tareas con exigencia visual simple
300-500-750	Tareas con exigencia visual media
500-750-1000	Tareas con exigencia visual alta
750-1000-1500	Tareas con exigencia visual difícil
1000-1500-2000	Tareas con exigencia visual especial
Por encima de 2000	Realización de una tarea visual muy exacta

TABLA XII. Rangos de Iluminancia recomendados según CIE por tipo de actividad

También cabe mencionar que en diversas publicaciones de la CIE, TC 6-11⁷⁵, coinciden y mencionan las consecuencias de la modificación de los hábitos humanos del trabajo y el descanso por el uso extendido de la iluminación artificial y las alteraciones que ello produce en sus sistema endócrino, incidiendo directamente en el ánimo, la salud y el comportamiento de las personas.

3.2.1.2 IESNA

La última edición de la IESNA (Illuminating Engineering Society of North America), especifica valores para aproximadamente 250 actividades visuales que se realizan en interiores de edificios no residenciales y cerca de 300 específicas aplicaciones industriales, la IESNA especifica sus categorías de acuerdo al grado de las tareas visuales y de acuerdo al local. (Ver tabla XIII). Para el caso de oficinas recomiendan un rango de 300 a 500 luxes promedio.

⁷⁴ CIE, 1986 Informe Técnico "Guía de Iluminación Interior" 2ª edición. Publicación 29

⁷⁵ CIE, 2003 "Ocular Lighting Effects on Human Physiology, mood and behavior"



Orientación y tareas visuales simples	
A Espacios públicos	30 lx
B Orientación simple para visitas cortas	50 lx
C Espacios de trabajo donde se realizan tareas visuales simples	100 lx
Tareas visuales comunes	
D Tareas visuales de alto contraste y gran tamaño	300 lx
E Tareas visuales de alto contraste y tamaño pequeño, o tareas visuales de bajo contraste y gran tamaño	500 lx
F Tareas visuales de bajo contraste y tamaño pequeño	1000 lx
Tareas visuales especiales	
G Realización de tareas visuales cercanas al umbral	3000 a 10000 lx

Tabla XIII Categorías de Iluminación (Lighting Handbook 9ª Ed. IESNA)

3.2.1.3 NORMA EUROPEA EN 12464-1

El alumbrado debe garantizar que las personas en su sitio de trabajo pueden realizar sus tareas incluso en circunstancias difíciles y durante largos períodos de tiempo. Asimismo, debe ayudarles a sentirse a gusto, lo que indirectamente ayudará a aumentar su eficiencia y productividad. Por último, debe ayudar a promocionar la seguridad en el lugar de trabajo.

Entre varias cosas la norma de alumbrado interior EN 12464-1 establece un nivel de 500 lux para casi todas las tareas, cuando la mayoría de la población mundial vive en zonas en las que fácilmente se alcanzan los 1.500 lux al aire libre, incluso los días nublados. Es decir, la exposición a la luz natural que normalmente se experimenta en exteriores es bastante más alta que la exposición típica en interiores.

3.2.2 NORMAS NACIONALES

En México las recomendaciones en cuanto a nivel de iluminación se basan en las dadas por la Sociedad Mexicana de Ingenieros en Iluminación (SMII), las cuales están basadas principalmente en las de la IESNA. También se tiene como parámetros la NOM-025-STPS-2008 y la NOM-007 ENER-2004

3.2.2.1 NOM-025-STPS-2008

Esta es la Norma Oficial Mexicana, expedida por la Secretaría del Trabajo y Previsión Social, la cual da los lineamientos para las condiciones de iluminación de los centros de Trabajo (Ver tabla XIV), esta acaba de tener su última modificación el 30 de diciembre de 2008, misma que entró en vigor el 2 de marzo de 2009.

Destaca en la nueva norma oficial mexicana la incorporación de la disposición en la cual se determina que el Reporte del Estudio que cumpla con los niveles de iluminación estará vigente mientras se conserven las condiciones de iluminación bajo las cuales se llevó a cabo el reconocimiento y evaluación.

El estudio le permite al patrón identificar los puestos y las áreas visuales, para proveer una eficiente y confortable visión en las actividades que realiza el trabajador para que el ambiente de trabajo sea seguro.



La norma incorpora el seguimiento anual para la salud del trabajador, a través de exámenes visuales de agudeza visual, campimetría y percepción de colores, que forman parte de las medidas preventivas, a fin de evitar riesgos de trabajo en aquellas áreas que requieren una iluminación especial. Lo que significa un gran reto, para que efectivamente se lleve este control periódico y se puedan mejorar las condiciones lumínicas de los trabajadores.

Niveles de Iluminación

Tarea Visual del Puesto de Trabajo	Area de Trabajo	Niveles Mínimos de Iluminación (luxes)
En exteriores: distinguir el área de tránsito, desplazarse caminando, vigilancia, movimiento de vehículos.	Exteriores generales: patios y estacionamientos.	20
En interiores: distinguir el área de tránsito, desplazarse caminando, vigilancia, movimiento de vehículos.	Interiores generales: almacenes de poco movimiento, pasillos, escaleras, estacionamientos cubiertos, labores en minas subterráneas, iluminación de emergencia.	50
En interiores.	Areas de circulación y pasillos; salas de espera; salas de descanso; cuartos de almacén; plataformas; cuartos de calderas.	100
Requerimiento visual simple: inspección visual, recuento de piezas, trabajo en banco y máquina.	Servicios al personal: almacenaje rudo, recepción y despacho, casetas de vigilancia, cuartos de compresores y pailería.	200
Distinción moderada de detalles: ensamble simple, trabajo medio en banco y máquina, inspección simple, empaque y trabajos de oficina.	Talleres: áreas de empaque y ensamble, aulas y oficinas.	300
Distinción clara de detalles: maquinado y acabados delicados, ensamble de inspección moderadamente difícil, captura y procesamiento de información, manejo de instrumentos y equipo de laboratorio.	Talleres de precisión: salas de cómputo, áreas de dibujo, laboratorios.	500
Distinción fina de detalles: maquinado de precisión, ensamble e inspección de trabajos delicados, manejo de instrumentos y equipo de precisión, manejo de piezas pequeñas.	Talleres de alta precisión: de pintura y acabado de superficies y laboratorios de control de calidad.	750
Alta exactitud en la distinción de detalles: ensamble, proceso e inspección de piezas pequeñas y complejas, acabado con pulidos finos.	Proceso: ensamble e inspección de piezas complejas y acabados con pulidos finos.	1,000
Alto grado de especialización en la distinción de detalles.	Proceso de gran exactitud. Ejecución de tareas visuales: <ul style="list-style-type: none"> de bajo contraste y tamaño muy pequeño por periodos prolongados; exactas y muy prolongadas, y muy especiales de extremadamente bajo contraste y pequeño tamaño. 	2,000

Tabla XIV. Niveles de iluminación según NOM-025-STPS-2008, México



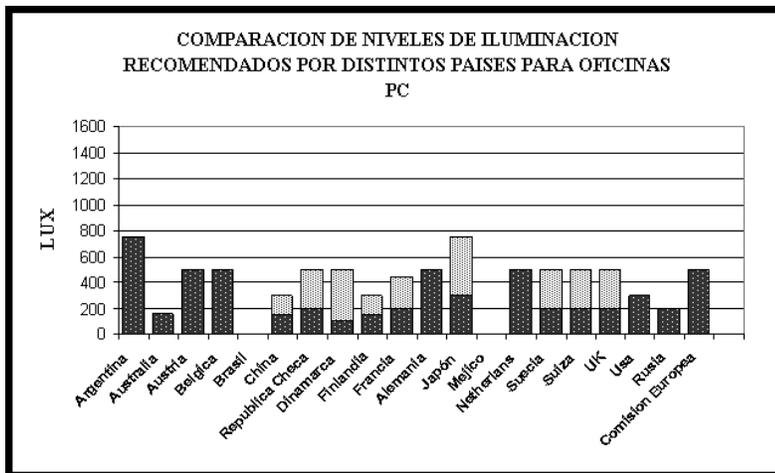
3.2.2.2 NOM-007 ENER-2004

Esta es la Norma Oficial Mexicana, expedida por la Secretaría de Energía, la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía, el Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Preservación y Uso Racional de los Recursos Energéticos (CCNNPURRE), la cual tiene como finalidad establecer niveles de eficiencia energética en términos de Densidad de Potencia Eléctrica para Alumbrado, con que deben cumplir los sistemas de alumbrado para uso general de edificios no residenciales nuevos, ampliaciones y modificaciones de los ya existentes; con el fin de disminuir el consumo de energía eléctrica y contribuir a la preservación de recursos energéticos y la ecología de la Nación. Teniendo su última modificación el 15 de abril del 2005

3.2.3 COMPARATIVA DE NORMAS DE ILUMINACIÓN EN DIFERENTES PAISES

Las recomendaciones de niveles de iluminación tienden a ser más específicas con el tiempo. Algunos países registran valores muy detallados para algunas aplicaciones y generales para otras, en un análisis llevado a cabo recientemente⁷⁶, se muestran los niveles de iluminación recomendados en varios países incluyendo México, en donde se revela que los niveles de iluminación han estado cambiando rápidamente desde los años 30.

Los países varían considerablemente en la frecuencia con que ellos revisan sus recomendaciones. Por un período de más que cuatro décadas (1948-1990), Suecia no cambio sus niveles de iluminación recomendados, para la iluminación general en oficinas, mientras que Alemania la cambió seis veces. Bélgica no cambió sus recomendaciones entre 1964 y 1992. En Finlandia, la primera recomendación no fue publicada hasta 1971, y en Argentina hasta 1972.



Recientemente se han incorporado a las recomendaciones los puestos de trabajo en oficina con Computadoras y pantallas de video (PC).

En este caso los niveles se presentan con más uniformidad que las recomendaciones para aulas. Correspondiéndole los valores más altos a Argentina (750) y Japón (300-750) (Ver ilustración 39). La mayoría se encuentra en los 500 lux y los mínimos en Australia con 160lux.

Ilustración 39. Comparativa de niveles de recomendados en diversos países para oficinas

La Tabla XV muestra los valores indicados según diferentes países para los valores recomendados de iluminación, en todos los casos se refiere a iluminación sobre plano horizontal. En algunos casos los valores son recomendados en un rango y en el caso de oficinas, puesto de trabajo con computadoras (PC) el rango indica "recomendado-máximo".

⁷⁶ Pattini Andrea, 2004



OFICINAS	Argentina	Australia	Austria	Bélgica	Brasil	China	República Checa	Dinamarca	Finlandia	Francia	Alemania	Japón	México	Holanda	Suecia	Suiza	UK	USA	RUSIA
General	200	160	500	300-750	750-1000	100-150-200	200-500	50-100	150-300	425	500	300-750	200	100-200	100	500	500	200-300-500	300
PC	750	160	160	500		150-200-300	300-500	200-500	150-300	250-425	500	300-750		500	300-500	300-500	300-500	300	200
Plano de trabajo	300-750	320	320	500-1000		150	300-500		500-1000	425	500	300-750	600	400-500	300	300	500	200-300-500	300
Lectura		320	320	500-1000	200-500	75-100-150	500	500	500-1000	425		300-750	900	400	500	500	300	200-300-500	300
Dibujo	1000	600	600	1000	3000	200-300-500	750	100-0	1000-2000	850	750	750-1000	1100	1600	1500	1000	750	1000-1500-2000	500

Tabla XV. Niveles recomendados de iluminancia horizontal (lux) para oficinas, en diferentes países. Fuente Pattini A, 2004

En el caso de las áreas de oficinas, las variaciones más significativas se dan entre tareas de lectura (75 a 1000lux), dibujo a detalle (200 a 3000 lux)

3.3 CARACTERÍSTICAS DE ILUMINACIÓN NATURAL EN MÉXICO

El recurso solar en la Ciudad de México es muy amplio. Es posible contar con iluminación natural en exteriores la mayor parte del día, prácticamente todo el año. Sin embargo es común encontrar edificaciones, donde la iluminación natural es deficiente para realizar actividades en un área de trabajo, siendo necesario utilizar iluminación artificial durante el día. Esta situación implica un gasto energético en la operación del edificio que puede ser innecesario, si en el proceso del proyecto se diseñan ventanas adecuadas al recurso lumínico existente, para que se pueda utilizar la iluminación natural conjuntamente con la artificial.

Una de las variables de mayor disponibilidad y, por lo tanto, de las de mayor potencial en la República Mexicana y en el centro del país es la iluminación natural; entonces, la disposición de instrumentos, técnicas y métodos de análisis adquiere gran relevancia. Las técnicas para la evaluación y empleo de la iluminación natural han tenido poco desarrollo en nuestro país, caso contrario al desarrollo en los Estados Unidos y en Inglaterra, destacándose los del Building Research Establishment (BRE), institución que ha desarrollado normas y métodos de utilización en el diseño de espacios arquitectónicos y campos afines.

En la República Mexicana se han desarrollado diversos atlas de radiación solar. Algunos trabajos están basados en mediciones realizadas; otros en cambio se fundamentan en datos obtenidos numéricamente por medio de ecuaciones⁷⁷. Por otra parte, la Illuminating Engineering Society (IES) también desarrolla métodos para el análisis de la iluminación natural.

⁷⁷ Almanza y López, 1978





Para tener una correcta reproducción de la iluminación natural en nuestra latitud, se deben considerar los siguientes aspectos, siempre tomando en cuenta la cantidad, el espectro, duración, intensidad y temperatura de color; los cuales son los aspectos que nos importan desde el punto de vista circadiano:

- ✓ Posición y trayectoria Solar
- ✓ Hora del día
- ✓ Día del año
- ✓ Latitud y Longitud
- ✓ Tipo de Cielo

3.3.1 POSICION Y TRAYECTORIA SOLAR

La posición de la Tierra con respecto al Sol varía con las horas y las diferentes épocas del año lo que produce modificaciones en el horario y cantidad de irradiación recibida. Existen varias formas para determinar la trayectoria del sol respecto a un sitio específico y en consecuencia definir los distintos ángulos de incidencia a lo largo del día y en los distintos periodos del año. Hoy en día predominan básicamente dos técnicas: una, la experimentación en laboratorio a base de máquinas solares o Heliodones; otra, la utilización de sistemas numéricos ya sean de aplicación matemática, gráfica (2D) o tridimensional (3D).

3.3.2 HORA DEL DÍA

La hora del día determina la temperatura de color de la luz natural, debido a la curvatura de la Tierra la luz del sol atraviesa la atmosfera con más o menos ángulo, según la hora del día. Esto hace que la temperatura de color cambie. Al amanecer y al atardecer la temperatura de color es más cálida, en torno a los 3500 grados kelvin, la temperatura de color aumenta conforme avanza el día y es máxima cuando el sol está en su cenit; lo que corresponde a una temperatura de aproximadamente 5600 k. Pasando este punto vuelve a descender la puesta del Sol. (Ver Ilustración 40)

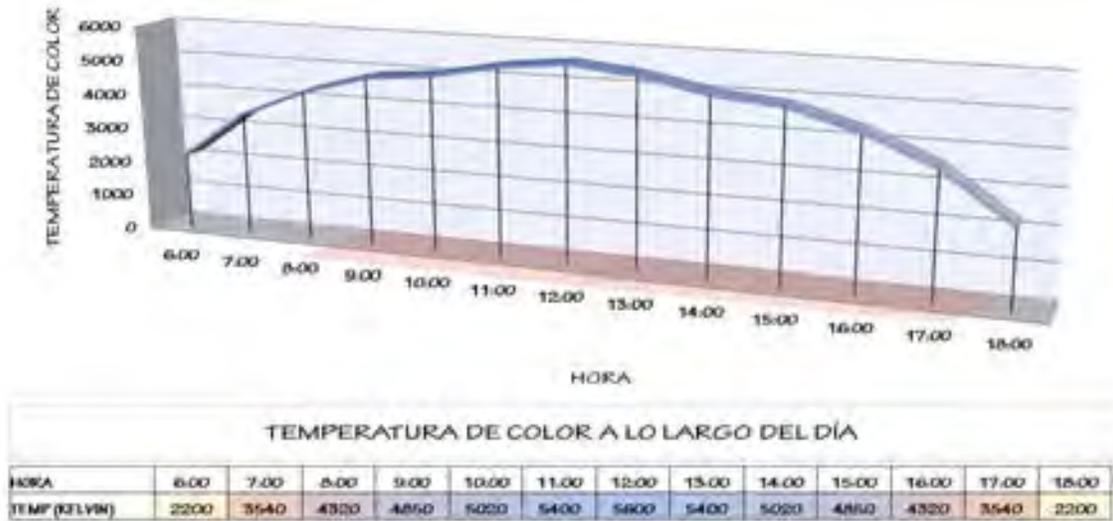


Ilustración 40. Temperatura de color según la hora del día



Es importante considerar que la mayoría de las estimaciones que se presentan se hacen en tiempo oficial; el cambio es conveniente para evitar confusiones, ya que normalmente se acostumbra considerar el tiempo oficial (tiempo del reloj) y no el tiempo solar verdadero; este último puede estimarse fácilmente mediante la diferencia de longitud y la ecuación del tiempo. En las tablas propuestas en el modelo de diseño de esta tesis, se considera tanto el tiempo solar verdadero como el tiempo oficial.

3.3.3 DIA DEL AÑO

El día del año es otro factor a considerar, la inclinación del eje de la tierra provoca la variación de la duración del día a lo largo del año. La duración del día no afecta a las temperaturas de color en sí mismas, si no que las dilata en el tiempo. Así la salida y la puesta del sol tienen la misma temperatura de color tanto en verano, como en primavera o invierno. Sucede lo mismo con el cenit, únicamente la variación de temperaturas de color es más lenta cuanto más largo es el día.

También hay que resaltar que para efectos de esta investigación se están considerando también los días julianos, es decir la fecha juliana (JD), la cual es una cuenta continua de días y fracciones de estos contados desde el mismo período inicial.

3.3.4 LATITUD, LONGITUD y ALTITUD SOLAR

La latitud se mide por su elevación en grados respecto al ecuador, considerando el polo norte como el ángulo=90°N. La Longitud es el ángulo que forma el meridiano del lugar con el meridiano 0° de referencia que pasa por Greenwich. La Altitud Solar, es la altura que tiene el sol en un día y hora determinados. Se determina con el ángulo que forma la visual hacia el sol con el plano del horizonte.

Los datos geográficos de la ciudad Universitaria en la Ciudad de México, en donde se hicieron la mayoría de las mediciones expuestas son: LATITUD 19° 20' 01", LONGITUD 99° 10' 54", ALTITUD 2268 msnm

3.4 PROPUESTA DE DISEÑO

Aunque, esta investigación está basada principalmente en la necesidad de proporcionar a los usuarios de oficinas ambientes adecuados para su correcto desempeño y productividad, tomando como base las investigaciones principalmente de carácter médico en donde se ha comprobado la fuerte influencia que tiene la luz en el ser humano; y está enfocada principalmente a la difusión y al seguimiento del desarrollo de las nuevas tecnologías en el sector de la iluminación arquitectónica, también se pretende como uno de los objetivos planteados inicialmente hacer una propuesta de diseño, la cual contemple los parámetros de iluminación natural específicos de México.

Si bien el desarrollo del concepto de la iluminación bio-dinámica ya se está implementando en otros países como Europa y Estados Unidos, en nuestro país actualmente no existen desarrollos verdaderos implementando estas técnicas. Es por esto que pretendo contribuir con esta investigación prospectiva, para tener mayor conocimiento de las condiciones en particular que se deben tener en México, así como sentar los criterios base del diseño de iluminación biodinámica y que se cree una cultura de la importancia de la iluminación en estos espacios y las influencias que tiene; para con esto poder contribuir con el estudio de la iluminación artificial desde el enfoque de la salud del ser humano para una posible mejora de la Legislación actual.



3.4.1 METODOLOGÍA DE EXPERIMENTACIÓN

Como parte del desarrollo de esta investigación, se planteó en los primeros capítulos la problemática actual y el estado del arte sobre el tema, para posteriormente concluir con este capítulo que estará compuesto por cuatro partes, mismas que se rigen por consideraciones que contemplan los puntos más importantes y relevantes obtenidos de resultados y conclusiones de trabajos previos, incorporando nuevos elementos, siendo esto la aportación fundamental de este trabajo, ya que se analizarán las horas de luz disponibles en nuestra latitud (México, D.F.), para con ello plantear variaciones en la iluminación artificial mediante tecnologías de punta como son los leds.

Las cuatro partes de las cuales se conforma esta propuesta son las siguientes:

1. Obtención y análisis datos de los parámetros de iluminancia de la radiación solar global en nuestra latitud
2. Obtención de espectro electromagnético y temperatura de color correlacionada de la fuente de luz de iluminación natural y fuente artificial.
3. Elaboración de tablas de temperatura de color correlacionada de fuente artificial
4. Elaboración de tablas de reproducción de iluminación, con intervalos propuestos de temperatura de color



delo

3.4.1.1 EQUIPO UTILIZADO

FOTÓMETRO:

El fotómetro es un instrumento para medir la iluminancia, el cual se basa en circuitos electrónicos que comprenden células fotoeléctricas (que transforman un impulso luminoso en una variación de corriente eléctrica) y en tubos fotoamplificadores (que amplifican muchísimo la señal que reciben)

El fotómetro utilizado para medir la iluminancia, es un fotómetro marca LI-COR PH 7049 (Ver ilustración 41), este aparato sirve para medir el nivel lumínico que capta el ojo humano, para poder hacer las mediciones respectivas se necesita nivelarlo con respecto a su plano horizontal.



data

Los fotómetros se conectan a una tarjeta de canales insertada en un adquisidor de datos que monitorea según sea programado en este caso se programó para recibir la información cada 4 minutos. La adquisición de datos se obtuvo mediante un aparato que almacena las mediciones de los fotómetros llamado Data Acquisition Switch Unit marca Hewlett Packard. (Ver ilustración 42)

De ésta forma, la información se descarga al sistema de una computadora para ser analizada e interpretada, mediante el programa Datalogger, para posteriormente trabajarlos en el programa Excel y hacer la conversión de unidades en este caso de volts (VCD) a kiloluxes (klx).





Ilustración 43.
CONSOLA DMX 512



Ilustración 44.
COLOR METER II DE MINOLTA



Ilustración 45.
ESPECTÓMETRO, FIELD SPEC PRO, ASD INC



Ilustración 46.
ESPECTÓMETRO, FIELD SPEC PRO, ASD INC



3.4.2 LUMINARIA Y TECNOLOGÍA DE ANÁLISIS:

Para la propuesta de diseño se propone la utilización de la tecnología de LEDs, la cual consiste en la emisión de luminiscencia a través de un medio sólido. Este es el caso de LED⁷⁸ o diodo emisor de luz. Los diodos emisores de luz son semiconductores que convierten la corriente eléctrica directamente en luz. Un LED, es un dispositivo semiconductor (diodo) que emite luz cuasi-monocromática, es decir, con un espectro muy angosto, cuando se polariza de forma directa y es atravesado por una corriente eléctrica. El color, (longitud de onda), depende del material semiconductor empleado en la construcción del diodo, pudiendo variar desde el ultravioleta, pasando por el espectro de luz visible, hasta el infrarrojo. El funcionamiento físico consiste en que, un electrón pasa de la banda de conducción a la de valencia, perdiendo energía. Esta energía se manifiesta en forma de un fotón desprendido, con una amplitud, una dirección y una fase aleatoria.

Es decir, en términos comunes, un LED es una lámpara en estado sólido que, a diferencia de las lámparas incandescentes tradicionales, no tiene un filamento, ni están llenas de gas, ni tampoco está encapsulada en vidrio. Este diodo está compuesto por un material semiconductor unido a dos terminales eléctricas (ánodo y cátodo o positivo y negativo) y está recubierto de una retina especial. Además a diferencia de las lámparas incandescentes en la que la luz proviene solamente del filamento, los diodos en su totalidad producen luz.

La aparición del LED data de los años 60, gracias a la inventiva del ingeniero Nick Holnyak Jr, investigador de los laboratorios de General Electric. El cual desarrolló el primer LED práctico de luz visible en 1962, por lo cual es considerado como el padre de los LEDs. Holnyack predijo en 1963, en la edición de febrero de Reader's Digest que sus LEDs gradualmente reemplazarían la bombilla incandescente de Edison, lo que es ahora una realidad en nuestro mundo moderno.

Los primeros LEDs eran de color rojo y se emplearon como indicadores de encendido y apagado, principalmente en electrodomésticos; esto permitió el desarrollo tecnológico posterior, con la construcción de diodos para longitudes de onda cada vez menores. Los LEDs de color verde llegaron a mediados de los 70 y las aplicaciones se multiplicaron gracias a la nueva variedad de color; al aparecer los relojes digitales y las calculadoras, inmediatamente comienzan a utilizarlos para iluminar sus pantallas. El avance en la eficiencia de los diodos al producir hasta diez veces más luz con menor consumo de energía permitió que éstos fueran atractivos para utilizarlos en pizarrones electrónicos y señalización exterior a principios de los años 80.



Ilustración 4.7. Tecnología RGB
(LEDs Red, Green, Blue)

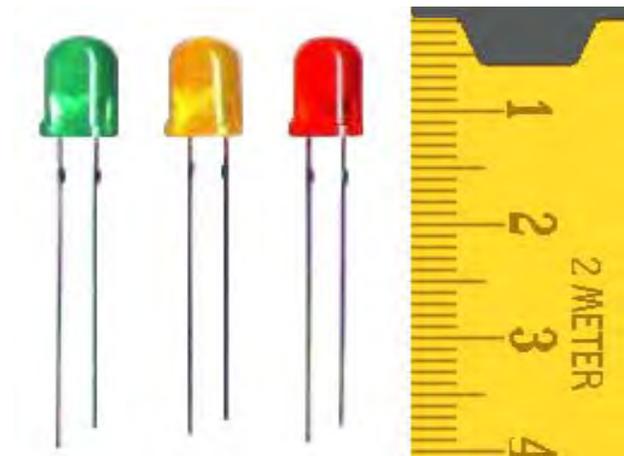


Ilustración 4.8. Medida de referencia de un LED

⁷⁸ Siglas en inglés de Light-Emitting Diode (diodo emisor de luz).



Los diodos azules fueron desarrollados a finales de los 90 por el Dr. Shuji Nakamura en los laboratorios Nichia en Japón, añadiéndose a los rojos y verdes desarrollados con anterioridad, lo que permitió completar la gama de colores primarios y que por primera vez se pudieran obtener rangos de color casi infinitos con la tecnología RGB. (Ver ilustración 4-7)

Gracias a éste invento, se puede emitir luz blanca por primera vez, con la combinación de los colores rojo, verde y azul. El diodo de seleniuro de zinc puede emitir también luz blanca si se mezcla la luz azul que emite, con la roja y verde creada por fotoluminiscencia. La más reciente innovación en el ámbito de la tecnología LED son los diodos ultravioletas, que se han empleado con éxito en la producción de luz blanca al emplearse para iluminar materiales fluorescentes.

La medida de un LED por lo general es de 3 a 5 mm de alto con un diámetro similar (Ver ilustración 4-8), lo cual a simple vista no nos dice mucho, pero entre más características conocemos de él, más asombroso resulta que una pieza tan pequeña pueda hacer cosas tan notables.

Una de las características principales es que al no tener infrarrojos, se consigue transformar más energía en luz real, a diferencia de una lámpara normal incandescente que transforma más del 90% en calor (radiación infrarroja).

Es importante resaltar que en el caso de los LEDs, a pesar de su reducido tamaño, es más brillante que un foco incandescente común, ya que la luz no se concentra en el filamento, sino que todo el diodo brilla por igual. Es de notar también, que muy difícilmente se quema, por el contrario puede ocurrir que se ponga en cortocircuito o que se abra como un fusible e incluso que explote si se le hace circular una elevada corriente, pero en condiciones normales de uso un LED se degrada, es decir, que puede perder luminosidad aproximadamente en un 5% anual.

Un diodo puede permanecer encendido de manera continua hasta seis años conservando su brillo inicial, cuando el LED ha perdido el 50% de su brillo inicial, se dice que ha llegado al fin de su vida útil. En un año hay 8,760 horas por lo que podemos considerar que un LED tiene una vida útil de poco más de 10 años en promedio.

El LED tiene grandes ventajas respecto a las lámparas convencionales: muy bajo consumo de energía, casi nula emisión de calor, mantenimiento nulo, emisión de luz instantánea, tamaño muy reducido, no le afecta el uso continuo o intermitente, alta eficiencia lumínica, resistente a golpes e inclemencias ambientales, y larga vida útil como ya lo comentamos. Existen cálculos de que en el futuro será posible producir dispositivos que, gracias a materiales y diseños avanzados, requerirán tan sólo 3 watts para generar luz equivalente a una lámpara incandescente de 60 watts.

Por ello se propone como la tecnología a utilizar para la iluminación Biodinámica, ya que esta permitirá beneficiar la salud humana modulando la temperatura de la luz, para lograr iluminaciones equivalentes a un medio día de cielo claro con un rango espectral azul al cual como hemos mencionado, las células ganglionares del ojo humano son más receptivas y que están directamente vinculadas con el ritmo circadiano, mejorando el rendimiento, humor y productividad de las personas.⁷⁹ A pesar de que es una tecnología que apenas está teniendo sus comienzos en aplicaciones como son las áreas para oficinas, es muy probable que en unos años se encuentren desarrollos con los cuales se pueda alcanzar el flujo luminoso para la aplicación en estos espacios; por lo cual se toma de referencia para que esta investigación sea lo más vigente posible y pueda ser utilizada como parámetro para futuros desarrollos.

⁷⁹ Rea MS, Figueiro MG, (2002), New research in the light and health field is expanding the possibilities for LED lighting in healthcare environments, Lighting Research Center of Polytechnic Institute de Troy. E.U.A



Inicialmente la intención fue obtener el rango del espectro de los leds, al ser una luz monocromática, la luminaria propuesta para el análisis de este experimento es un proyector tipo Flood Light de leds, con tecnología AWB (Ambar, White, Blue)⁸⁰, lo que nos permite obtener individualmente cada color, y a su vez poder realizar combinaciones de los tres. (Ver ilustración 49)

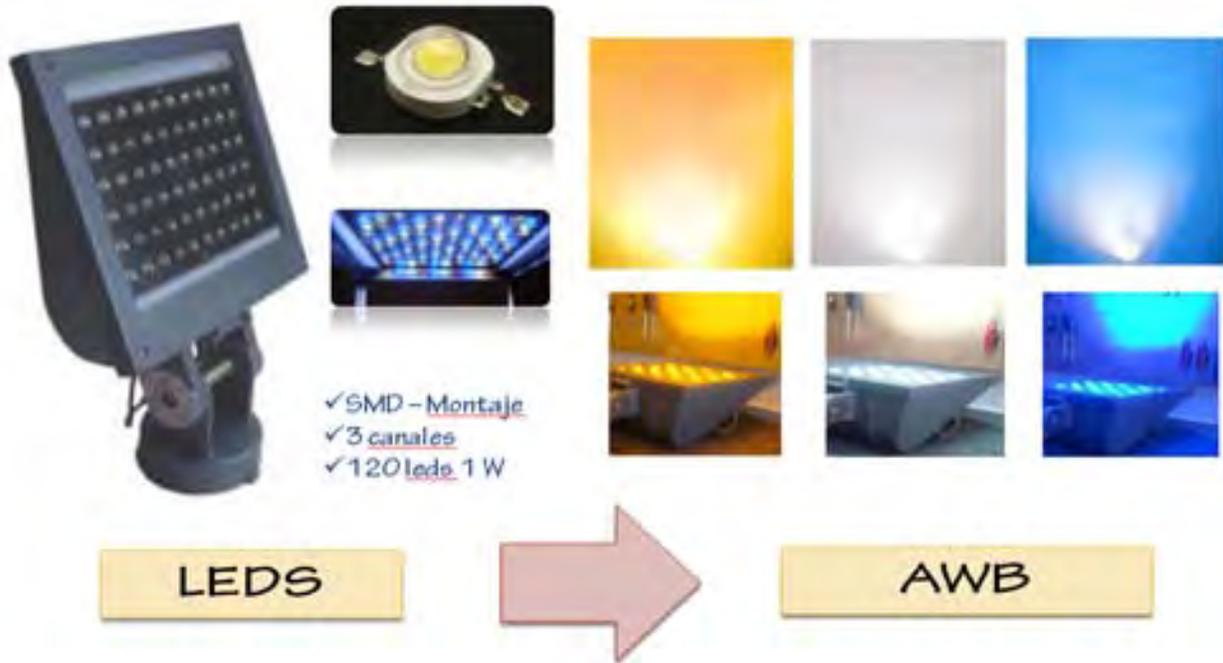


Ilustración 49. Luminaria de análisis, AWB

Tiene siguientes dimensiones L=480 mm, A=480mm y H= 684mm, de 21.20 kg de peso; la cual funciona a voltaje de línea (120v), teniendo un consumo de potencia total de 44w, ya que está conformada de 120 leds de alta potencia de 1 W, cada uno. Y se puede controlar con una consola DMX512 con 192 canales; una de las principales ventajas de este proyector es que presenta la opción a ser programado con un controlador o memoria con protocolo DMX 512, lo cual nos permite hacer las diferentes combinaciones y mediciones de la cantidad de intensidad que se requiere de cada color, para producir las diferentes temperaturas de color y lograr con esto la reproducción del espectro solar a lo largo del día.

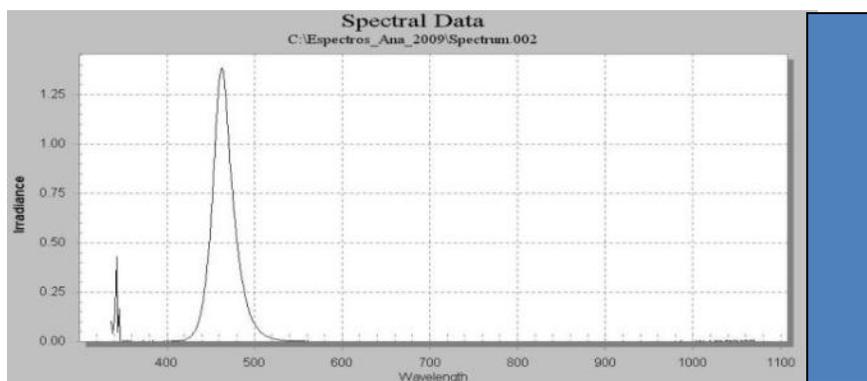
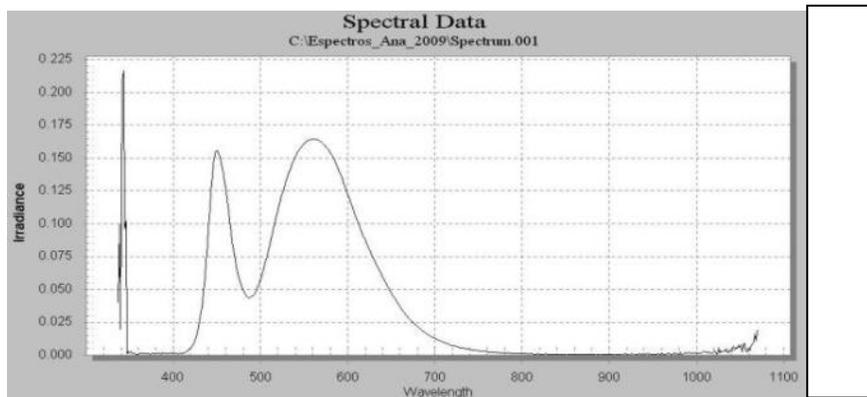
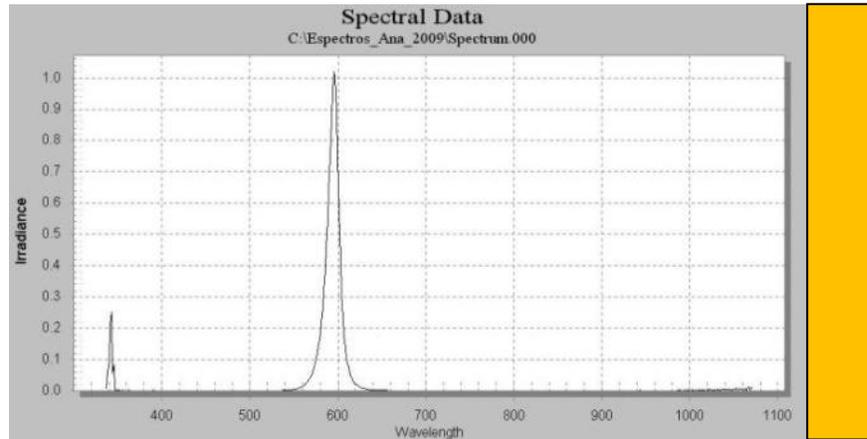
⁸⁰ Esta tecnología es como la RGB, que en base a la combinación de estos 3 colores (Ambar, Blanco y Azul) se puede controlar la luz blanca haciendo variaciones de la temperatura de color.



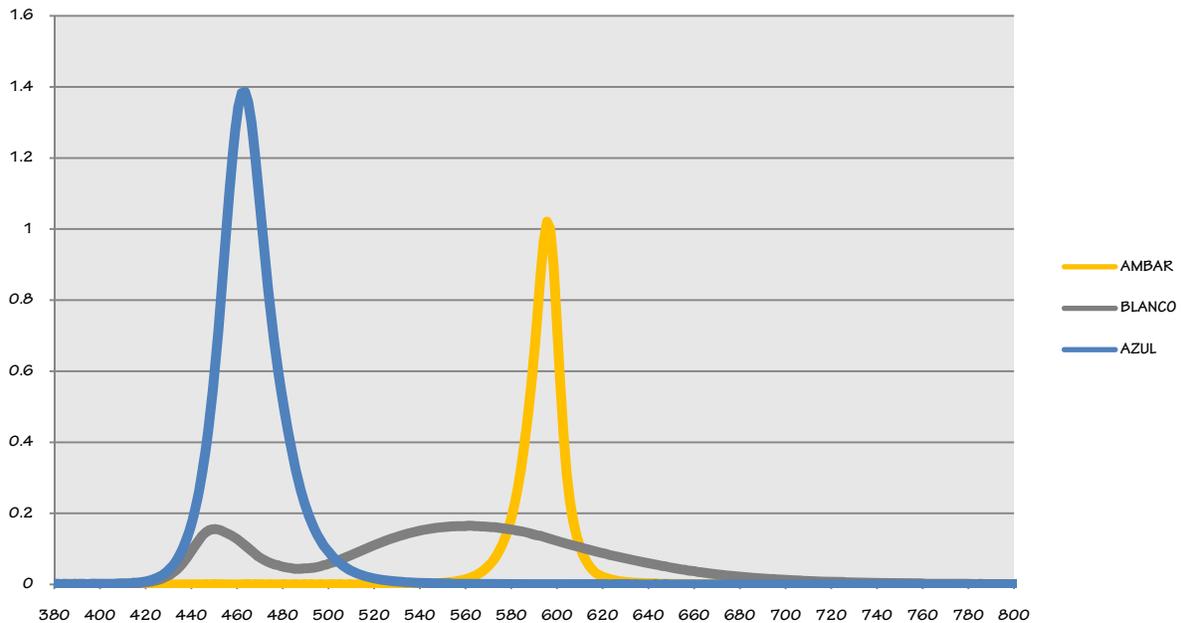
3.5 ANÁLISIS Y DESCRIPCIÓN DE DATOS

3.5.1 REGISTRO DE ESPECTROS

Para el análisis que se hizo del espectro de los leds ambar, leds blancos y leds azules, inicialmente se obtuvieron los espectros por cada color, obteniendo las siguientes gráficas, donde se pueden observar los picos de color, debido a la naturaleza monocromática del LED.



En la siguiente gráfica podemos ver la comparativa de los tres rangos de espectro, de cada color:



Posteriormente se consiguieron 16 espectros con diferentes combinaciones de intensidad, con el objeto de poder reproducir la temperatura de color del transcurso del día, para hacer esta medición se utilizó el color meter, y la intensidad se graduó mediante la consola DMX, utilizando el rango de los 512 canales, como se muestra en la siguiente Tabla XVII.

NO. de espectro	NIVEL INTENSIDAD AMBAR (A)	NIVEL INTENSIDAD BLANCO (W)	NIVEL INTENSIDAD AZUL (B)	T (Kelvin) Color Meter
INTENSIDAD	(1-255)	(1-255)	(1-255)	(K)
ESPECTRO 00	255	0	0	1600
ESPECTRO 01	0	255	0	7150
ESPECTRO 02	0	0	255	40000
ESPECTRO 03	255	255	0	5900
ESPECTRO 04	255	0	255	40000
ESPECTRO 05	0	255	255	40000
ESPECTRO 06	255	255	255	40000
ESPECTRO 07	128	128	0	7150
ESPECTRO 08	128	0	128	40000
ESPECTRO 09	0	128	128	40000
ESPECTRO 10	128	128	128	40000
ESPECTRO 11	128	128	255	40000
ESPECTRO 12	255	128	128	40000
ESPECTRO 13	128	255	128	40000
ESPECTRO 14	192	255	192	40000
ESPECTRO 15	255	192	192	40000
ESPECTRO 16	192	255	192	40000

Tabla XVII. Gráfica de niveles de intensidad, combinando leds ambar, blanco y azules en relación a su temperatura de color



Al conocer estos resultados, se observó que al incluir en las combinaciones el led Azul, aunque sea en mínimas intensidades, el rango de temperatura de color supero los 40000 K, ya que el pico en el espectro en el rango de los 480 nm es muy elevado. Por lo que se descartó la hipótesis experimental inicial, porque se pretendía lograr la reproducción de la temperatura de color en base a la combinación de los tres colores Ámbar, Blanco y Azul, sin embargo se evidenció que esto no es posible por lo que solo se utilizarán únicamente al Ámbar y el Blanco, lo que puede verse en la Tabla XVIII, donde se muestran 13 espectros con estas últimas características y en donde ya se pudo obtener el rango completo de temperatura de color del día.

NO. de espectro	NIVEL INTENSIDAD AMBAR (A)	NIVEL INTENSIDAD BLANCO (W)	NIVEL INTENSIDAD AZUL (B)	T (Kelvin) Color Meter
INTENSIDAD	(1-255)	(1-255)	(1-255)	(K)
ESPECTRO 01	255	39	0	2350
ESPECTRO 02	152	25	0	2750
ESPECTRO 03	152	39	0	2800
ESPECTRO 04	255	76	0	4450
ESPECTRO 05	255	152	0	5250
ESPECTRO 06	255	204	0	5800
ESPECTRO 07	255	230	0	5950
ESPECTRO 08	230	255	0	5950
ESPECTRO 09	204	255	0	6050
ESPECTRO 10	152	255	0	6350
ESPECTRO 11	76	255	0	6850
ESPECTRO 12	39	255	0	7100
ESPECTRO 13	76	76	0	8000

Tabla XVIII. Grafica de niveles de intensidad, combinando leds ambar y blanco en relación a su temperatura de color

3.5.2 REGISTRO DE TEMPERATURA DE COLOR

Como mencionamos con anterioridad, la duración del día no afecta a las temperaturas de color en sí mismas, si no que las retarda en el tiempo. Así la salida y la puesta del sol tienen la misma temperatura de color tanto en verano, como en primavera o invierno. Sucede lo mismo con el cenit, únicamente la variación de temperaturas de color es más lenta cuanto más largo es el día.

En la tabla XIX se muestra una comparativa de Temperatura de color suponiendo un día de 12 hrs expresadas en tiempo universal y la propuesta con el sistema de leds ambar y blanco. En donde se observa que el componente de azul del led blanco es suficiente para lograr las temperaturas de color de la iluminación natural.



HORA DEL DIA	TEMPERATURA DE COLOR OBSERVATORIO	TEMPERATURA DE COLOR LÁMPARA PROPUESTA	NIVEL INTENSIDAD AMBAR (A)	NIVEL INTENSIDAD BLANCO (W)	NIVEL INTENSIDAD AZUL (B)
	(K)	(K)	(1-255)	(1-255)	(1-255)
6:00	2200	2350	255	39	0
7:00	3540	2800	152	39	0
8:00	4320	4450	255	76	0
9:00	4850	4450	255	76	0
10:00	5020	5250	255	152	0
11:00	5400	5800	255	204	0
12:00	5600	5950	255	230	0
13:00	5400	5800	255	204	0
14:00	5020	5250	255	152	0
15:00	4850	4450	255	76	0
16:00	4320	4450	255	76	0
17:00	3540	2800	152	39	0
18:00	2200	2350	255	39	0

Tabla XIX. Comparativa de temperatura de color propuesta.

3.5.3 DETERMINACION DE DIAS TIPO E INTERVALOS DE TEMPERATURA DE COLOR

Mediante ecuaciones de corrección del tiempo utilizando el meridiano de referencia 90, y la longitud local, se obtuvo el ajuste de minutos de la hora local. (Ver Ilustración 50), además se obtuvieron las horas del amanecer y atardecer en tiempo solar verdadero, para los días representativos de cada mes; esto con el objeto de establecer duraciones medias de los días para cada mes, y establecer duraciones medias mensuales simplificadas para poder establecer intervalos de temperatura de color, de acuerdo a la época del año. Cabe mencionar que para el estudio en cuestión se analizaran únicamente las horas luz, comprendidas en el horario habitual en las oficinas de la Cd. de México.

AJUSTE EN MINUTOS DE LA HORA LOCAL

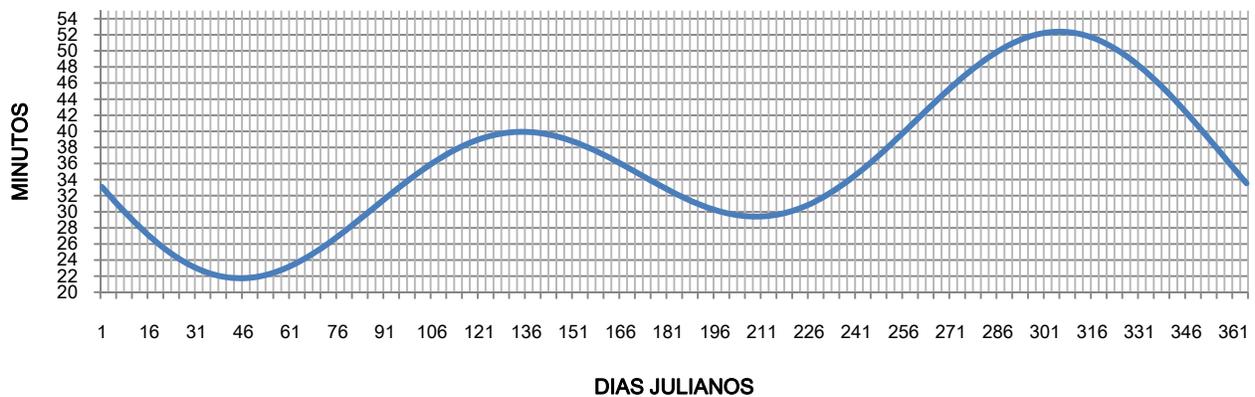


Ilustración 50. Gráfica de ajuste en minutos de la hora local



En la Tabla XX, se puede observar como se obtuvieron mediante fórmulas matemáticas, los datos de la hora del amanecer y la hora del atardecer, por medio de los datos de la localidad (latitud, longitud), la declinación solar, la altitud solar y el azimut solar. En la Ilustración 51, se tiene la relación de los ángulos solares del día representativo mensual, en este caso para el 15 de enero.

LOCALIDAD			MEXICO D.F.			
LATITUD:	19.2	GRADOS	FECHA	15-Jan-09		
LONGITUD:	99.1	GRADOS	DIA JULIANO	15		
MERIDIANO DE REFERENCIA	90.0	GRADOS				
DECLINACION	-21.27		TIEMPO SOLAR VERDADERO	12.0000	12:00:00	
ECUACION DEL TIEMPO	-8.96		AJUSTE EN MINUTOS	27		
DISTANCIA MEDIA	1.03		HORA LOCAL	12:27 PM		
PLANO VERTICAL						
AZIMUT	180.0		AMANECER	06:27:21	TSV	
VERTICAL	90.0		ATARDECER	17:32:39	TSV	
			ANGULO SOMBRA			
hora	altitud	azimut	HORIZONTAL	VERTICAL	cosi	
5:30:00	5.50	-13.6	108.1	71.9	0.0	72.4
6:00:00	6.00	-6.9	110.2	69.8	0.0	70.0
6:30:00	6.50	-0.3	112.5	67.5	0.0	67.5
7:00:00	7.00	6.2	115.1	64.9	14.4	65.1
7:30:00	7.50	12.5	118.1	61.9	25.3	62.6
8:00:00	8.00	18.7	121.6	58.4	32.9	60.3
8:30:00	8.50	24.6	125.6	54.4	38.2	58.1
9:00:00	9.00	30.2	130.3	49.7	42.0	56.0
9:30:00	9.50	35.4	135.9	44.1	44.7	54.2
10:00:00	10.00	40.0	142.5	37.5	46.6	52.6
10:30:00	10.50	43.9	150.3	29.7	48.0	51.3
11:00:00	11.00	46.9	159.3	20.7	48.9	50.3
11:30:00	11.50	48.9	169.3	10.7	49.4	49.7
12:00:00	12.00	49.5	180.0	0.0	49.5	49.5

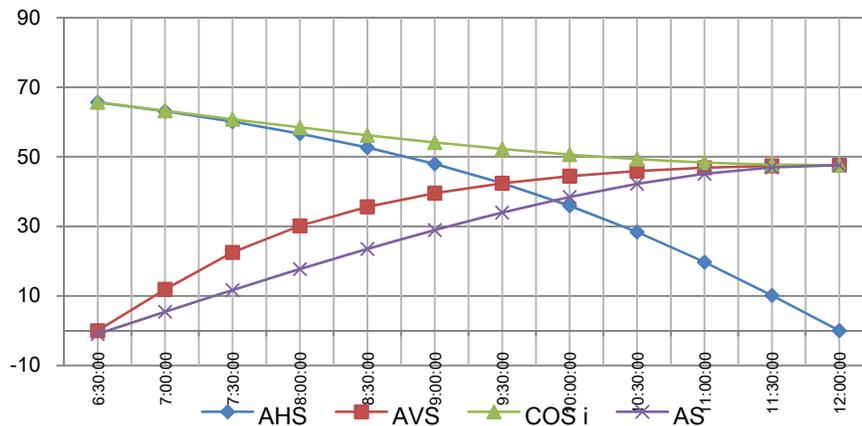


Ilustración 51. Relación de ángulos solares 15/ene/09



ALTITUD SOLAR					
	sen dec	sen lat	cos dec	cos lat	cos hora
	-0.363	0.329	0.932	0.944	1.000
	-0.119		0.880		
sin h	0.761				
asin h	0.865				
altitud	49.53				
cos h	0.649				

AZIMUT SOLAR					
	sen dec	cos lat	cos dec	sen lat	cos hora
	-0.363	0.944	0.932	0.329	1.000
	-0.343		0.306		
	-0.649				
cos a*	-1.000				
acos a*	3.141				
azimut	179.98				

AMANECER ATARDECER					
	sen - 50	sen dec	sen lat	cos dec	cos lat
t	-0.015	-0.363	0.329	0.932	0.944
			-0.119		0.880
	0.105				
	0.119				
acos	1.451				
	83.165				
acos /15	5.544302				
LAT			h:mm:ss		
12	6.455698		06:27:21	AMANECER	
24	17.544302		17:32:39	ATARDECER	

DECLINACION SOLAR			
i	ai	bi	w = 2π / 366
1	-22.984	3.7872	0.017167173
2	-0.3499	0.03205	
3	-0.1398	0.07187	
	-22.2262	0.9645	-21.2617
	-0.3045	0.0158	-0.2887
	-0.1001	0.0502	-0.0500
			-21.6004
			D
			-21.27

ECUACION DEL TIEMPO			
i	ai	bi	
1	0.43177	-7.37640	
2	-3.16500	-9.38930	
3	0.07272	-0.24498	
	0.4175	-1.8786	-1.4610
	-2.7545	-4.6247	-7.3791
	0.0521	-0.1710	-0.1189
			-8.9591
			ET
			-8.96

DISTANCIA MEDIA TIERRA SOL			
i	ai	bi	
1	45.32600	1.80370	
2	0.88018	0.09746	
3	-0.00461	0.18412	
	43.8315	0.4594	44.2908
	0.7660	0.0480	0.8140
	-0.0033	0.1285	0.1252
			45.2301
			c
			1.03

Tabla XX. Obtención de hora del amanecer y atardecer en TSV

MES	DIA JULIANO	HORA AMANECER	HORA ATARDECER
		h:mm:ss	h:mm:ss
ENERO	15	6:27:21	17:32:39
FEBRERO	46	6:14:47	17:45:13
MARZO	74	5:59:55	18:00:05
ABRIL	105	5:43:07	18:06:53
MAYO	135	5:29:14	18:30:46
JUNIO	166	5:21:39	18:38:21
JULIO	196	5:24:21	18:35:39
AGOSTO	227	5:35:55	18:24:05
SEPTIEMBRE	258	5:51:45	18:08:15
OCTUBRE	288	6:07:55	17:52:05
NOVIEMBRE	319	6:22:39	17:37:21
DICIEMBRE	349	6:30:30	17:29:30

Tabla XXI. Resumen mensual horario de amanecer y atardecer

En la siguiente tabla se muestra el resumen de las horas de amanecer y atardecer para los días representativos de cada mes. (Ver tabla XXI), a continuación se muestra también una tabla con la duración media diaria, y la duración media diaria ajustada; misma que se propone para hacer una simplificación y poder tener los intervalos de duración de la temperatura de color, esto dividido en 12 horas, para que coincida con los intervalos obtenidos en el registro de grados kelvin. (Ver Tabla XXII)

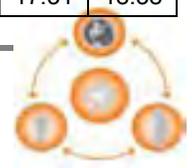


MES	DURACIÓN MEDIA DEL DÍA	DURACIÓN MEDIA AJUSTADA	DURACION DEL INTERVALO DE TEMPERATURA DE COLOR
	h:mm:ss	h:mm	h:mm
ENERO	11:05:18	11:05	0:55
FEBRERO	11:30:26	11:30	0:57
MARZO	12:00:10	12:00	1:00
ABRIL	12:23:46	12:23	1:01
MAYO	13:01:32	13:01	1:05
JUNIO	13:16:42	13:16	1:06
JULIO	13:11:18	13:11	1:05
AGOSTO	12:48:10	12:48	1:04
SEPTIEMBRE	12:16:30	12:16	1:01
OCTUBRE	11:44:10	11:44	0:58
NOVIEMBRE	11:14:42	11:14	0:56
DICIEMBRE	10:59:00	10:59	0:54

Tabla XXII. Tabla de duración media mensual e intervalos de temperatura de color.

Ya con estos datos fue posible elaborar las siguientes tablas, mostrando las horas de comienzo y término, los cuales serán los lapsos en la que la temperatura de color se mantendrá constante, para poder hacer la reproducción del espectro de la iluminación natural a lo largo del día.

NO. INTERVALO	TEMPERATURA DE COLOR	ENERO		FEBRERO		MARZO		ABRIL		MAYO		JUNIO	
	(K)	HORA COMIENZO	HORA TERMINO										
1	2350	6:27	7:22	6:14	7:12	5:59	6:59	5:43	6:45	5:29	6:34	5:21	6:28
2	2800	7:22	8:18	7:12	8:09	6:59	7:59	6:45	7:47	6:34	7:39	6:28	7:34
3	4450	8:18	9:13	8:09	9:07	7:59	8:59	7:47	8:49	7:39	8:44	7:34	8:40
4	4450	9:13	10:09	9:07	10:04	8:59	9:59	8:49	9:51	8:44	9:49	8:40	9:47
5	5250	10:09	11:04	10:04	11:02	9:59	10:59	9:51	10:53	9:49	10:54	9:47	10:53
6	5800	11:04	12:00	11:02	12:00	10:59	12:00	10:53	11:55	10:54	12:00	10:53	12:00
7	5950	12:00	12:55	12:00	12:57	12:00	13:00	11:55	12:56	12:00	13:05	12:00	13:06
8	5800	12:55	13:50	12:57	13:55	13:00	14:00	12:56	13:58	13:05	14:10	13:06	14:12
9	5250	13:50	14:46	13:55	14:52	14:00	15:00	13:58	15:00	14:10	15:15	14:12	15:19
10	4450	14:46	15:41	14:52	15:50	15:00	16:00	15:00	16:02	15:15	16:20	15:19	16:25
11	4450	15:41	16:37	15:50	16:47	16:00	17:00	16:02	17:04	16:20	17:25	16:25	17:31
12	2800	16:37	17:32	16:47	17:45	17:00	18:00	17:04	18:06	17:25	18:30	17:31	18:38



NO. INTERVALO	TEMPERATURA DE COLOR	JULIO		AGOSTO		SEPTIEMBRE		OCTUBRE		NOVIEMBRE		DICIEMBRE	
	(K)	HORA COMIENZO	HORA TERMINO										
1	2350	5:24	6:30	5:35	6:39	5:51	6:53	6:07	7:06	6:22	7:18	6:30	7:25
2	2800	6:30	7:36	6:39	7:43	6:53	7:54	7:06	8:05	7:18	8:15	7:25	8:20
3	4450	7:36	8:42	7:43	8:47	7:54	8:55	8:05	9:03	8:15	9:11	8:20	9:15
4	4450	8:42	9:48	8:47	9:51	8:55	9:57	9:03	10:02	9:11	10:07	9:15	10:10
5	5250	9:48	10:54	9:51	10:55	9:57	10:58	10:02	11:01	10:07	11:03	10:10	11:05
6	5800	10:54	12:00	10:55	12:00	10:58	12:00	11:01	12:00	11:03	12:00	11:05	12:00
7	5950	12:00	13:05	12:00	13:04	12:00	13:01	12:00	12:58	12:00	12:56	12:00	12:54
8	5800	13:05	14:11	13:04	14:08	13:01	14:02	12:58	13:57	12:56	13:52	12:54	13:49
9	5250	14:11	15:17	14:08	15:12	14:02	15:04	13:57	14:56	13:52	14:48	13:49	14:44
10	4450	15:17	16:23	15:12	16:16	15:04	16:05	14:56	15:54	14:48	15:44	14:44	15:39
11	4450	16:23	17:29	16:16	17:20	16:05	17:06	15:54	16:53	15:44	16:41	15:39	16:34
12	2800	17:29	18:35	17:20	18:24	17:06	18:08	16:53	17:52	16:41	17:37	16:34	17:29

Tabla XXIII. Tabla de Hora de comienzo y término en que la Temperatura de color es constante, registro mensual.

3.5.4 REGISTRO DE INTENSIDADES DE ILUMINANCIA GLOBAL

Se utilizaron los datos obtenidos del observatorio de radiación solar ubicado en las instalaciones Ciudad universitaria en la Facultad de Ciencias, México, D.F. (19° 20' latitud norte); mediciones de radiación solar obtenidas mediante un fotómetro, que mide iluminación global horizontal.

La obtención de datos presentados, son de diversos periodos de mediciones, recabados a lo largo de varios semestres en el Laboratorio de Interacción con el Medio del Posgrado de Arquitectura de la Universidad Nacional Autónoma de México, apoyados por el Observatorio de Radiación Solar del Instituto de Geofísica de esta misma universidad. Cabe mencionar que de algunos meses (Junio, Julio y Agosto) no se obtuvieron datos, ya que fue el periodo vacacional y por el momento no se tienen mediciones en ese periodo.

El parámetro es el de la iluminancia global horizontal, se expresa en kiloluxes; se presenta también un día "representativo" de cada mes, se debe considerar que en algunos días se presentaron factores como nubes, sombras de arboles por lo cual se ven alterados un poco los datos.

Es importante resaltar que los datos expuestos son experimentales, sería deseable y recomendable en un futuro poder contar con una estación que este midiendo los parámetros de iluminancia global, con un mayor control en las mediciones y calibraciones de los equipos; para poder tener datos más certeros y continuos y poder reproducir las intensidades de iluminancia con mayor precisión. Las tablas XXIV muestran los datos arrojados, así como la ilustración 52 muestra la gráfica de la iluminancia global (klux) a lo largo del día de algunos meses, la hora expuesta es la hora local, ya que es la registrada en el adquisidor de datos.



MES HORA	ENE	FEB	MAR	ABRIL	MAYO	SEPT	OCT	NOV	DIC
6:28	0.00797	0.16500	0.09598	0.01182	-0.03130	-0.00328	0.04192	-0.03734	0.14476
6:32	-0.00246	-0.17175	0.20101	0.04382	0.10224	0.07075	-0.00590	0.27447	0.17237
6:36	0.02515	-0.17482	0.38255	0.03756	-0.05703	0.16246	-0.00720	0.29412	0.08956
6:40	0.02270	-0.02392	0.61485	-0.05355	0.07512	-0.00131	0.23451	0.54370	-0.06257
6:44	0.02086	0.00613	0.89933	-0.06399	-0.03687	-0.00917	-0.01506	1.05465	-0.00552
6:48	0.01411	0.00736	1.25892	0.00626	-0.02852	-0.01703	-0.17293	1.32585	0.05582
6:52	-0.00613	-0.15826	1.76458	0.04591	-0.02921	-0.00851	0.00524	1.53350	0.32510
6:56	-0.01472	0.22267	2.33213	0.04660	0.14884	0.00196	-0.01376	2.09161	0.53673
7:00	0.04662	0.21837	2.90455	0.00069	0.29004	0.00065	-0.00655	2.66544	0.79314
7:04	0.10428	0.29566	3.36083	0.18780	0.48409	-0.01179	-0.09236	2.77288	1.11333
7:08	0.29627	0.53918	3.76771	0.22535	0.68928	-0.00786	-0.01769	3.46462	1.57461
7:12	0.49808	1.02255	4.49594	0.38950	1.21162	-0.00328	0.03537	3.77316	2.20274
7:16	0.75142	1.29183	5.55315	0.74214	1.63520	0.01965	0.00459	3.84194	2.46773
7:20	1.16302	1.78624	6.60272	1.10173	2.18537	0.15591	-0.01572	5.09049	2.85356
7:24	1.47034	2.42356	7.43736	1.60182	2.77310	0.24368	0.18473	9.02479	3.37189
7:28	1.78685	2.54318	9.56013	2.02470	3.44568	0.26727	0.25744	4.82911	3.78226
7:32	2.31438	3.00201	9.56639	2.59156	3.98889	0.52077	0.81555	9.88619	4.26133
7:36	2.93699	3.46513	12.66083	3.05618	4.70668	0.61314	1.29244	9.60517	6.48125
7:40	3.27314	4.25458	15.37899	4.44795	5.25407	1.10050	1.40118	17.53733	6.87505
7:44	3.76631	6.79777	17.11504	5.61714	5.93431	1.36056	1.93309	18.26838	6.95848
7:48	4.55883	4.98393	24.33888	6.67714	6.66183	1.82697	2.44338	11.13606	8.99805
7:52	6.00279	4.31531	21.82868	8.02300	7.22939	2.41980	2.98970	7.79065	8.14971
7:56	5.74025	4.93485	19.22808	9.21097	8.16836	2.96547	3.28317	8.28457	7.75652
8:00	7.05294	5.19555	21.21592	10.64656	9.26453	3.60153	3.68669	18.41838	13.87464
8:04	10.80577	5.27407	21.29173	12.05155	9.97536	3.78102	4.31358	17.52750	17.66119
8:08	7.50380	5.54948	21.37241	13.59007	10.90947	4.94768	4.82256	8.59703	11.99700
8:12	7.08729	8.26626	24.11213	15.07156	12.63023	5.44357	5.26670	25.95619	12.95146
8:16	16.23748	9.71144	24.63449	16.56279	14.50609	5.47435	5.68135	20.38291	21.40359
8:20	17.06681	6.30581	35.99814	18.14652	15.54939	6.14121	6.13007	13.40192	22.65555
8:24	10.51256	14.50461	35.79922	19.71495	17.01558	6.71373	6.54079	35.95179	20.38350
8:28	13.31092	21.66981	27.45766	21.28130	18.50750	7.41333	6.51721	37.70670	14.51810
8:32	21.25392	13.04041	22.58057	22.70089	19.67392	8.48305	7.15459	39.58935	24.24918
8:36	23.11745	10.01570	23.89791	24.32080	20.60802	9.71391	7.51094	41.23683	29.66005
8:40	14.84873	8.05770	32.24989	26.16883	22.56318	12.03415	7.41923	43.68546	19.37873
8:44	19.78665	10.03410	30.09652	28.16989	24.02241	13.31676	7.59020	45.80262	9.58508
8:48	19.06037	12.00436	43.92099	30.56531	25.50182	13.90173	15.84530	46.95029	22.86657
8:52	29.53307	8.52328	44.92396	32.21164	27.05286	14.32097	12.44553	48.72748	21.70846
8:56	17.31094	20.01607	49.79688	33.95744	28.81743	15.59441	9.58945	50.54920	14.41076
9:00	10.02981	10.50704	51.74229	35.22402	30.39560	15.74704	13.75696	51.99230	11.16768



9:04	15.79153	25.54592	53.39906	36.60604	31.54393	17.10368	30.02282	54.02431	11.84488
9:08	28.25411	41.14670	54.59955	38.29272	32.84666	17.63035	26.63156	55.46152	19.32168
9:12	15.56028	42.86853	56.75572	40.09972	34.47214	21.73301	29.40836	57.50597	16.11357
9:16	12.05773	43.90212	58.83815	42.44575	35.43059	22.99073	26.24966	58.79185	32.56330
9:20	11.49769	45.68161	60.15619	43.42576	37.73976	24.00345	16.61434	59.75217	47.27156
9:24	18.02740	46.40113	61.74827	45.23000	39.10232	32.41445	26.00270	61.62959	49.41051
9:28	13.57713	48.66092	62.85000	46.03473	41.32038	29.99858	17.40500	62.71109	51.42923
9:32	20.74111	49.38414	64.10335	47.51622	42.71910	36.96255	17.19604	64.28980	51.43598
9:36	47.09674	51.45193	66.16700	48.79253	43.95924	38.35718	31.32180	65.03329	54.43063
9:40	48.18676	53.13328	68.08600	50.90696	46.06881	32.17077	49.55547	66.46919	55.15629
9:44	50.11287	55.21702	69.77267	52.18813	47.10516	33.41473	50.35334	69.01608	57.19034
9:48	51.09861	55.63413	70.44943	53.61050	47.45641	26.56147	53.07186	70.13754	57.86938
9:52	53.09647	57.42344	71.62766	55.24223	48.00657	24.11088	55.13072	70.38123	58.34907
9:56	54.09878	58.67969	73.37138	56.87605	50.27124	23.28550	57.01402	71.94486	60.10526
10:00	55.59794	60.38436	74.88347	58.09949	52.66944	27.53817	59.38207	73.34277	61.30017
10:04	56.92535	61.68539	76.24255	59.54482	54.47018	56.75527	61.03020	75.85362	59.43542
10:08	58.21780	64.62116	77.15092	61.29339	56.19651	54.81432	62.86635	76.01739	63.41090
10:12	59.17779	65.48545	80.45819	61.94650	56.98038	58.01430	62.91221	77.48145	62.89196
10:16	60.69535	64.90701	81.58635	64.11170	59.01134	62.35277	64.97565	78.86233	63.03734
10:20	62.18470	67.96116	81.03479	66.02651	60.25356	61.87589	67.45703	79.23375	62.37731
10:24	63.49432	68.68314	82.67973	67.18250	60.92963	63.49586	70.36420	80.84651	63.11524
10:28	64.87879	68.97758	76.19595	67.91420	64.40730	63.08121	69.90041	80.64475	59.57711
10:32	66.20988	71.15455	54.85412	71.33902	66.16700	65.92549	70.77492	82.45600	62.13563
10:36	67.77836	71.01408	77.86732	70.85075	67.40368	67.76032	73.13970	83.49624	73.75602
10:40	68.42857	72.70586	52.84263	73.63081	59.31738	70.62164	75.18742	84.74086	72.82608
10:44	68.74939	72.46049	47.29226	0.00556	66.62120	74.23169	77.16440	86.36475	72.87454
10:48	69.93510	74.90063	70.94117	0.01043	74.89599	73.95329	74.91099	86.89928	74.14308
10:52	71.95014	75.33492	97.02934	77.00555	74.36808	75.61780	77.99240	86.25274	76.74453
10:56	73.12542	78.26087	98.06639	77.48686	73.32965	78.17909	81.65093	87.07943	78.01551
11:00	73.77013	78.82704	95.45674	77.80890	41.84551	74.97584	82.70230	90.25518	78.51298
11:04	75.15826	78.72522	95.44004	79.76961	45.22583	71.96321	81.73936	90.75172	77.43645
11:08	75.47539	79.03744	103.09857	82.59209	39.17535	78.28587	84.62425	89.63811	77.72720
11:12	75.70174	78.50930	85.03413	82.94125	81.68233	80.01982	86.36541	89.44356	78.98408
11:16	78.27375	79.04174	47.38685	84.23148	90.91488	82.18677	86.28942	90.20212	81.76219
11:20	77.45056	81.16044	93.29709	83.50117	93.37707	84.09824	83.40649	90.43598	82.14619
11:24	79.94222	81.99835	102.22081	84.44918	94.53028	87.80393	87.52683	91.02357	81.49106
11:28	79.25275	81.53891	95.54576	87.00945	88.39704	90.47659	91.82274	90.99343	82.41547
11:32	79.98884	80.98623	95.68905	88.55979	76.55554	90.25322	94.38666	90.87552	81.04757
11:36	80.25260	81.48493	110.54777	90.07049	92.53061	88.20613	92.80468	92.28653	80.81325
11:40	81.74133	82.48540	110.99917	89.94948	99.19733	90.23225	91.55286	91.29411	81.63092
11:44	82.70070	83.94900	114.31548	90.63388	49.29540	89.28831	93.46760	91.87974	82.23022



11:48	81.50579	82.96999	54.67675	90.69926	38.84427	91.20175	88.96406	91.74479	82.24310
11:52	82.48049	84.22442	46.58142	92.51808	36.21515	95.80618	92.38151	92.06839	83.32026
11:56	85.72603	84.08456	43.05922	91.52625	33.23199	93.64381	93.46826	92.39658	84.79857
12:00	83.96495	85.49662	83.77799	95.74260	28.29508	97.51916	92.32190	92.23740	84.91818
12:04	85.02430	87.10742	76.43034	93.48071	24.40705	97.49034	96.76846	92.86429	84.28453
12:08	85.25187	87.25893	47.22271	95.66400	21.80295	98.77950	95.78128	92.06053	83.12947
12:12	85.74198	86.96021	46.62177	94.65131	21.71879	98.49455	99.84792	92.06119	81.54137
12:16	86.28853	86.19652	49.70020	97.28669	22.56179	95.61359	101.01654	92.62388	82.74732
12:20	85.47945	87.31537	43.06826	95.25086	22.75028	99.35793	101.92839	92.34155	84.22442
12:24	85.22979	87.73494	37.05327	97.01751	20.74713	99.92521	104.62135	90.76613	84.19129
12:28	85.23838	86.99088	34.40746	98.13941	19.15644	101.46002	104.06716	91.91511	83.40736
12:32	85.74321	89.22735	31.36378	100.79983	20.81807	100.43288	104.50409	90.27745	82.18544
12:36	85.25187	89.97510	30.45681	101.05718	26.76699	99.29635	105.17553	88.65944	82.62771
12:40	84.95928	91.20559	30.82683	100.78244	26.85324	107.63463	107.35493	88.61293	82.39952
12:44	85.28193	87.47424	33.84129	91.25847	20.70053	104.72158	97.95871	88.90510	82.35351
12:48	85.69352	88.29314	39.85906	95.30372	18.45743	103.52019	94.52094	86.77089	80.76418
12:52	85.47883	90.00147	95.70852	99.69533	15.49306	103.80317	95.33781	85.45225	78.93316
12:56	85.29420	89.49235	106.59713	96.00760	14.07138	104.86766	99.09786	85.66777	79.30182
13:00	84.73539	89.06358	41.36281	94.55950	15.55704	105.80898	94.59955	84.11134	79.65146
13:04	84.24098	88.68756	94.31117	89.39791	16.08078	106.10572	99.85054	84.03077	81.11321
13:08	83.33620	88.50599	68.81422	93.32838	16.69703	106.04480	105.25742	82.98398	80.60960
13:12	82.96078	90.50692	34.47701	97.10654	16.33257	106.26425	106.31469	84.32489	79.68642
13:16	82.74793	87.98091	39.68796	105.53435	16.64904	104.69537	105.19387	83.55192	79.25643
13:20	81.02856	85.49417	57.10280	106.20693	17.91421	105.75592	106.02318	81.97191	78.45777
13:24	78.73258	86.23577	112.05569	100.91738	20.02794	106.40312	111.97313	81.91557	77.19171
13:28	79.72446	86.78968	111.02421	99.77045	23.96051	105.97864	107.64315	83.02525	72.17158
13:32	76.96535	86.44249	77.57032	97.81182	27.18988	104.66000	105.51551	82.45272	77.16410
13:36	74.92762	87.05099	105.29577	90.61440	27.01947	101.98079	105.28689	80.90678	74.82150
13:40	75.69806	87.57116	56.24103	92.36715	34.74688	102.21596	106.51383	80.31395	74.39886
13:44	71.98940	85.75486	37.57771	94.02392	47.98154	102.47405	107.83640	77.39629	74.18601
13:48	73.30025	81.49291	36.42660	104.63849	49.56527	101.48163	105.82208	75.25359	72.99661
13:52	72.94999	84.71698	37.79471	96.17731	38.07432	100.91828	102.59786	75.21035	72.97514
13:56	70.94231	85.46595	36.74306	90.66518	34.25027	100.43092	104.69210	74.73870	70.67855
14:00	77.72230	85.16415	36.58170	100.80053	32.67348	100.93400	97.78970	75.49268	69.24318
14:04	77.48368	84.75072	97.93980	100.64542	27.38880	101.11938	95.33060	74.95946	68.43409
14:08	77.23955	82.28297	98.48579	97.64489	23.74837	100.41127	95.08757	75.23131	68.43409
14:12	73.95230	82.88105	95.12149	99.20637	19.15366	97.52702	29.15748	74.43017	68.25375
14:16	72.94999	79.93240	45.09367	95.14166	17.29171	98.25087	97.68817	73.61069	66.66932
14:20	70.70677	81.27453	41.30438	83.73695	19.55776	96.74422	92.31011	69.62529	66.67975
14:24	69.23275	80.18574	36.50867	80.02974	22.31626	96.11274	97.66655	68.55623	66.23810
14:28	67.74708	76.39489	38.65300	85.91189	21.47257	96.07475	96.93485	67.96602	64.48744



14:32	66.41905	72.76045	37.60344	91.53807	19.78659	95.81862	98.06614	66.69977	62.67727
14:36	63.19069	76.77704	34.91659	89.81176	19.84780	96.38852	32.94178	65.12239	62.64844
14:40	61.93628	78.98162	43.09191	87.67786	22.37678	97.54471	36.71166	63.73562	60.69106
14:44	60.91250	75.79498	40.48435	83.74809	24.95095	92.12997	87.27987	63.44084	58.91648
14:48	59.90651	72.52122	38.46869	88.98825	24.99477	93.75256	97.22111	62.35081	57.90251
14:52	58.36563	72.44086	36.14769	93.94880	27.39854	91.77886	106.01729	60.76556	56.15123
14:56	56.96400	72.05933	31.85414	100.56543	28.84247	89.45732	102.33518	57.83022	54.92503
15:00	55.47465	69.47689	26.03459	100.46945	32.09062	88.87169	105.92492	55.16347	54.51221
15:04	55.38448	65.48913	21.61724	102.52824	33.48796	88.03778	103.26275	52.98932	53.35349
15:08	54.14110	65.65230	19.24825	100.84296	28.59347	84.62884	91.21681	52.19668	52.17820
15:12	52.58428	64.41138	20.74643	97.92797	26.08050	79.73487	50.53807	49.26266	50.99556
15:16	51.47892	65.64923	22.07073	92.95488	25.31332	83.48248	28.69631	49.25939	48.63761
15:20	49.80678	61.46211	25.18117	91.94427	23.91738	83.26435	24.87730	48.17722	46.73728
15:24	49.17129	63.71148	26.54025	87.88513	22.32044	81.43476	58.04574	47.41146	45.92943
15:28	48.17388	60.37516	28.06973	81.44655	23.81028	78.41492	22.94487	45.27661	42.32873
15:32	47.69297	57.56452	27.70527	63.82584	26.43522	79.79710	19.78681	45.28316	40.60138
15:36	46.12020	56.88978	22.31696	55.17963	27.98140	81.94833	16.64251	43.58197	37.27977
15:40	45.37368	55.39245	23.43608	89.98981	26.28777	75.77894	15.03826	40.15794	37.09821
15:44	43.69172	50.36068	22.74541	83.17217	24.53015	73.91595	14.09956	39.84155	32.88349
15:48	42.11772	47.31940	22.50476	78.81117	25.54563	74.69023	12.94338	38.56352	15.86882
15:52	40.71425	48.13585	22.36495	71.70209	27.80543	73.12332	14.98652	35.86205	14.80272
15:56	38.78385	50.66493	23.88261	60.51856	31.02923	72.32676	16.60190	33.47500	16.04916
16:00	36.40997	49.64422	25.32515	58.92579	24.40287	68.25425	19.74882	31.59694	12.15710
16:04	14.44511	52.04019	26.91027	26.98956	23.78384	69.86176	25.96602	30.24488	15.71302
16:08	13.66976	51.38016	25.48025	21.39189	23.19194	67.21400	70.62229	28.95769	11.54922
16:12	15.43637	49.16331	22.64525	22.45885	19.42352	63.71531	35.40678	28.33276	13.00422
16:16	13.91144	46.27355	20.24217	23.92782	15.05348	66.14952	59.38796	26.99709	12.25954
16:20	24.82333	42.94521	19.67739	25.22777	12.74986	61.82676	57.83874	25.42231	12.06509
16:24	12.55397	42.75750	18.52350	26.26760	12.91053	63.67797	28.91969	23.27306	11.88475
16:28	14.94933	41.66135	17.52958	25.97199	11.48330	59.74235	25.10592	21.65637	12.53189
16:32	12.24114	39.45186	18.65635	24.45434	10.15690	58.08963	18.81011	20.56044	10.97936
16:36	12.69751	37.75946	18.72173	23.59535	10.14508	57.03105	13.11435	18.48062	10.72234
16:40	13.79428	36.86450	18.51377	23.72264	11.31428	56.69566	10.18883	17.92250	9.85008
16:44	13.04225	38.36857	18.04011	23.98068	12.10510	54.06624	9.30384	17.11350	9.31518
16:48	12.02767	36.94670	16.97524	23.21351	12.79785	54.60536	9.01627	15.56821	15.21984
16:52	12.30739	32.20139	16.97455	21.71670	13.06494	54.09506	8.03106	14.16638	15.36522
16:56	10.54323	28.47555	20.77564	20.82781	13.16858	49.55482	6.63971	10.66180	13.78508
17:00	9.78382	25.03802	28.80978	19.91109	13.15397	46.87234	6.63578	9.31695	10.62420
17:04	11.79090	22.05626	35.86808	18.30441	12.98356	44.91567	7.07139	8.58524	6.74746
17:08	11.37010	19.04136	30.63765	16.34091	13.29238	45.31526	8.04481	7.72318	6.12670
17:12	10.00282	17.46122	28.42237	15.22666	13.93853	43.17517	8.88329	7.17817	5.07778



17:16	8.40734	16.01420	26.30307	13.60607	12.87854	41.29644	11.27690	6.21785	4.90725
17:20	6.99835	14.67023	22.63273	10.38851	10.58326	41.25124	12.79271	5.83005	4.40487
17:24	6.30213	13.56426	23.92921	9.14003	10.20559	39.42362	14.01506	5.06887	3.81416
17:28	5.76233	12.66807	21.54421	9.13794	10.40381	38.57859	14.72842	4.26969	3.14371
17:32	5.02257	11.25417	15.64816	9.68950	10.80305	36.90818	15.59638	3.94544	3.04004
17:36	4.59196	9.61759	16.85700	10.13951	9.59978	33.97547	16.58749	3.12268	2.49717
17:40	4.20367	8.72508	12.22126	10.57074	8.27687	31.05454	16.91764	2.40015	2.03774
17:44	3.68657	8.52328	12.08911	10.82948	7.64115	30.46302	17.10826	1.90754	1.73349
17:48	3.04986	7.76265	11.60432	10.83852	7.59246	28.65701	15.87347	1.38938	1.25257
17:52	2.50147	7.23328	10.68412	11.03188	7.21617	27.29907	14.17162	0.85092	1.00476
17:56	2.01381	6.03775	10.84548	11.40748	6.60759	26.47893	11.81536	0.74874	0.50606
18:00	1.52247	5.21088	11.18561	11.86445	6.38362	24.11416	10.68538	0.38452	0.41527
18:04	1.00476	4.45210	8.91885	12.35898	6.22712	22.26754	11.97912	0.27513	0.03987
18:08	0.65941	3.78472	6.26955	12.78742	6.24869	18.94440	13.31676	0.06616	0.19568
18:12	0.28584	3.13389	5.32223	13.00930	6.44065	18.17536	10.30478	-0.01900	0.01902
18:16	0.25456	2.52049	4.42082	12.98843	6.71817	16.59928	5.94403	0.07992	-0.05153
18:20	0.10428	1.94143	4.01532	12.99469	7.42136	14.88760	3.22356	0.00851	0.00307
18:24	0.16746	1.39427	3.22519	13.14980	7.81086	13.32462	4.61163	-0.00590	-0.01166
18:28	0.02024	0.92747	1.91481	13.68814	8.18297	12.29290	7.01833	0.16507	-0.07299
18:32	0.01043	0.54532	1.28326	14.24665	8.62464	10.99981	8.53873	-0.00065	0.19997
18:36	-0.00552	0.38399	0.95705	14.21814	8.57317	9.61238	7.52404	0.25023	-0.02270
18:40	-0.01717	0.31345	0.56617	13.53930	8.55787	9.12435	6.44581	-0.16377	0.00797
18:44	0.00123	0.11410	0.31508	-0.00069	8.53074	6.97313	7.13166	0.26137	0.00613
18:48	0.00368	0.04110	0.16484	11.27811	8.13567	5.67807	6.64167	0.02227	-0.19445
18:52	-0.00613	0.08465	0.09807	10.36626	7.28295	5.57195	5.24639	-0.01245	-0.00982
18:56	0.00123	-0.00061	0.05147	9.37790	6.08176	4.25594	4.49503	-0.00590	0.02576

Tabla XXIV. Niveles de iluminancia global horizontal en kiloluxes de día representativo mensual.

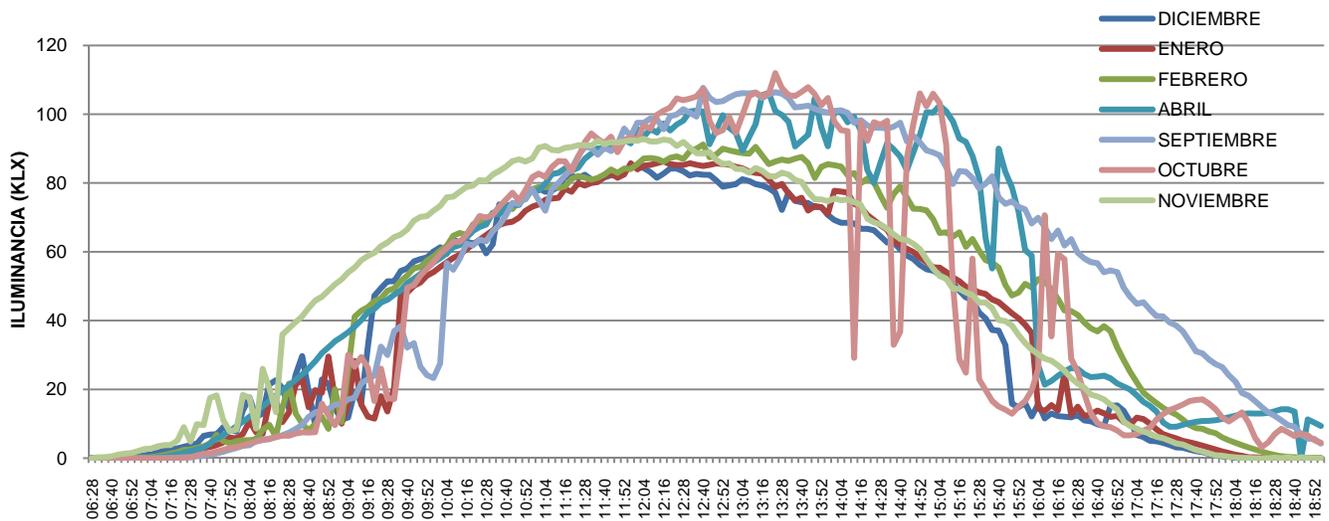


Ilustración 52. Iluminancia Global día representativo mensual



CONCLUSIONES

En la actualidad se cuenta con un marco de investigación bastante extenso, que demuestra la influencia positiva de la luz sobre el bienestar y salud del ser humano, y que las condiciones estáticas y los niveles de iluminación, tienen un papel fundamental en la desincronización de los procesos biológicos. Es por esto que el estudio de los efectos psicobiológicos de la luz es un campo imprescindible dentro del ámbito de la iluminación arquitectónica, por lo que se deben revisar los requerimientos lumínicos actuales, para que los estándares de iluminación futuros se basen tanto en las necesidades visuales como en las biológicas del ser humano.

Lo ideal en un diseño de iluminación, sería siempre considerar la iluminación natural como única herramienta para dotar de iluminación los espacios que proyectamos, sin embargo hoy en día, debido a la dinámica social y cultural actual; no es posible que podamos contar con esta únicamente, ya que muchos espacios en los cuales nos desarrollamos no tienen aportación del sol o bien tienen que funcionar en horarios nocturnos; y es ahí cuando podemos utilizar la iluminación biodinámica, como una alternativa eficaz de diseño.

Si bien el desarrollo del concepto de la iluminación bio-dinámica ya se está implementando en otros países como Europa y Estados Unidos, en nuestro país actualmente no existen desarrollos verdaderos implementando estas técnicas y para poder implementar este tipo de sistemas en México, es importante conocer las características de la iluminación natural con las que contamos de acuerdo a nuestra latitud y ubicación geográfica, esto con el objetivo de poder reproducir la “iluminación adecuada” a nuestros procesos biológicos, y no simplemente importar tecnologías de otros países, si no que estos desarrollos cumplan con las necesidades reales de nuestra sociedad.

Todo esto nos indica que actualmente es necesario crear un compromiso de consolidar, desarrollar y, sobre todo, llevar a la práctica nuevas tecnologías que contemplen la influencia e impacto incuestionable que tiene la luz en el ser humano, debido a que desempeña una importante función biológica, que contribuye a la salud y el bienestar; lo cual se puede traducir en beneficios tales como incremento de la productividad y mejora de la calidad de vida de los empleados, ahorro de energía, y reducción de gastos de operación y mantenimiento, entre otros.

A lo largo del desarrollo de la tesis, se comprobó la hipótesis inicial, fundamentada con el marco teórico y estado del arte expuestos, en donde diversas investigaciones sobre todo del área médica; sostienen que con condiciones dinámicas de las variaciones de nivel de iluminación y temperatura de color se obtienen incrementos en la productividad.

Una de las conclusiones principales, es que se debe replantear la normativa vigente y el procedimiento de diseño de iluminación de oficinas, y se deberán considerar los requerimientos no ópticos del ser humano y la eficiencia energética como aspectos fundamentales; debido a que en la actualidad no se consideran habitualmente, y es deseable que la iluminación biodinámica interactúe con la iluminación natural como un sistema integral, además de que se debe invertir más en el conocimiento de tecnologías como son los LEDs, y sus implicaciones al ser fuentes monocromáticas y estar expuestos a ellos, para así poderlos incorporar de lleno en aplicaciones como son las oficinas.



Es por esto que esta tesis sienta los criterios base del diseño de iluminación biodinámica, aportando una investigación prospectiva y es una línea de investigación futura, para tener mayor conocimiento de las condiciones en particular que se deben tener en México, porque aún falta mucha investigación al respecto, sobre todo a nivel experimental, para que se pueda crear una verdadera cultura de la importancia de la iluminación en estos espacios y las influencias y repercusiones que tiene en el ser humano y que se pueda ampliar el estudio de la variabilidad en los niveles de iluminación en áreas de oficinas. Por ello el desarrollo de esta investigación deja aún varias interrogantes por resolver; ¿Cómo influye concretamente la incidencia de la luz con temperaturas de color altas y espectros en los rangos de los azules en la salud?, ¿Es verdad que estar expuestos en prolongados lapsos de tiempo a determinados rangos de luz puede causar cáncer?

Pienso que esta investigación contribuye en buena parte con el concepto que actualmente se tiene de iluminación de oficinas; ya que tanto arquitectos, ingenieros y diseñadores de iluminación, deben tener los conocimientos necesarios, las bases y fundamentos, para crear espacios saludables, en los cuales el ser humano se pueda desarrollar bajo las mejores condiciones. Y nosotros como creadores de espacios, tenemos la responsabilidad de preguntarnos si ¿Estamos diseñando y proporcionando de iluminación saludable los espacios que proyectamos? Oficinas, escuelas, hospitales, industrias son lugares en los que muchas veces no podemos contar con iluminación natural y en los cuales se debe considerar una iluminación biodinámica o circadiana, que se base en una valoración correcta de los parámetros fundamentales de cantidad, espectro, distribución, duración y tiempo del ciclo noche-día, para asegurar la adaptación de los relojes biológicos a los esquemas actuales requeridos por las exigencias sociales de hoy.



BIBLIOGRAFÍA

- Ander, Gregg D, “*Daylighting Performance and Design*”, John Wiley & Sons, U.S.A., 2003
- Aschoff J, “*Circadian Rhythms in Man, Science*”, 1965
- Aschoff J, Wever R. “*Freerunning and entrained circadian rhythms*”. Handbook of behavioural neurobiology: Biological rhythms. Ed. Plenum Press, New York, EUA, 1981.
- Berson D M, Dunn F A, Takao M. “*Phototransduction by retinal ganglion cells that set the circadian clock.*” Science 295, 2002.
- Boyce, P. R., J. W. Beckstead, N. H. Eklund, R. W. Strobel, and M. S. Rea. “*Lighting the graveyard shift: The influence of a daylight-simulating skylight on the task performance and mood of night-shift workers*”. In CIBSE National Lighting Conference. London: The Chartered Institution of Building Services Engineers. 1996
- Brainard G P, Hanifin J P, Greeson J M, Burme B, Glickman G, Gerner E, Rollag M D. “*Action Spectrum for melatonin regulation in humans: evidence for a novel circadian photoreceptor*”. Journal of Neuroscience. 21, 2001.
- Cardinali, D.P., Jordá C, J.J, Sanchez B.E, “*Introducción a la Cronobiología fisiológica de los ritmos biológicos*”, 1994
- Cegarra Sanchez José, “*Metodología de la investigación científica y tecnológica*”. Ed. Díaz Santos, España 2004.
- Ceregioli P., Piperno R., Franceschini A., Trevisani L. “*The relationship between lighting and setting in coma patients*”. CIE, Italia, 2005.
- Comission International de l’Eclairage. CIE. “*Light as a true visual quantity: Principles of measurement*”. Paris, Francia , 1978
- Figueiro M G, Rea M S, Bullough J D. “*Circadian effectiveness of two polychromatic lights in suppressing human nocturnal melatonin*”. Neuroscience Letters 406, 2006.
- Figueiro Mariana, “*Lighting to human performance and well-being*”, Lighting Research Center.Revista LD+A. lesna Org., 2003
- Franco Martin, “*Manual práctico de iluminación*”. AMV Ediciones. Madrid, España, 2005.
- Glickman G, Hanifin Jp, Rollag MD, Wang J, Cooper H, Brainard GC. “*Inferior retinal light exposure is more effective than superior retinal exposure in suppressing melatonin in humans*”. Journal Biol Rhythms, 2003
- Guasch F, Ramos F, Hernández A, Smith A, “*Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo*”, Organización Internacional del Trabajo, O.I.T, 3era Edición, 2001
- Hernández Sampieri Roberto, Fernández Collado Carlos, Baptista Lucio Pilar, “*Metodología de la Investigación*”. Ed. Mc Graw Hill Interamericana. México, 2006
- Ibáñez Plana Manuel, Plana M., Rosell Urrutia Josep Ignasi, Rosell Polo Joan Ramon, “*Tecnología solar*”. Ed. Mundi-Prensa Libros, 2005
- IEA, International Energy Agency. “*Daylight in Buildings. A Source Book on Daylighting Systems and Components. A report of IEA SHC Task 21/ ECBCS ANNEX 29*”. California, USA: Lawrence Berkley National Laboratory; 2000.
- IESNA “*Lighting Design Guide*”. Engineering Society of North America , 2000



- IESNA. *"The lighting hand Book. Reference and Application"*. Illuminating Engineering Society of North America, 2000
- Kronauer Re, Forger Db, Jewett Me. *"Quantifying human circadian pacemaker response to brief, extended and repeated light stimuli over the photopic range."* J Biol Rhythms, 1999.
- Lara García Baudelio, *"El protocolo de investigación-Guía para su elaboración"*. Universidad de Guadalajara, México, 1997.
- Lira A. *"Light Spectrum and Internal Variation by Changing a Wall Texture"*, Harvard University, USA. 5th International Radiance Scientific Workshop, 2006.
- McGuiness, Stein & Reynolds, *"Mechanical and Electrical Equipment for Buildings"*. John Wiley & Sons, U.S.A., 2003
- Milena Simenova, *"Healthy Lighting for the Visual, Circadian and Perceptual Systems"*. Lighting Design & Application Illuminating Engineering Society of North America (IESNA), E.U.A 2003.
- Mills P.R., Tomkins S. C., Schlangen L. JM. *"The effect of high correlated color temperature office lighting on employee wellbeing and work performance"*. Journal of Circadian Rhythms, 2007
- Moore M.C., Sulzman F.M., Fuller CH.A. *"The clocks that time"*. Universidad de Harvard, 1982.
- Moore, Fuller. *"Concepts and practice on Architectural daylighting"*.
- Muhlia, Agustín V. *"Notas del curso: Solarimetría"*, 30 Semana Nacional de Energía solar, ANES, Veracruz, 2006.
- Murguía, L y San Martin, R., *"Efectos no ópticos de la luz sobre el ser humano"*. LUCES Revista Semestral del Comité Español de Iluminación. No. 19: 31-39
- Murguía, Laura, *"La luz en la Arquitectura, su influencia sobre la salud de las personas"*. UPC, Departamento de Construcciones Arquitectónicas, Barcelona 2002
- Olgyay Victor, *"Arquitectura y clima. Manual de diseño bioclimático par arquitectos y urbanistas"*. Editorial Gustavo Gili, S.A. Barcelona. 2002
- Peirano Patricio, *"Estilo de Vida y Trastornos del Sueño"*. Universidad de Chile, Instituto de Nutrición y Tecnología de los Alimentos. Chile, 2003.
- Rea MS, Figueiro MG, Bullough JD, Bierman A. *"A model of phototransduction by the human circadian system"*. Brain Res Rev, 2005
- Rea MS, Montagna P, Chiarini V, Piperno R. *"More than vision"*. Ed. Domus, Milan, Italia, 2007
- Rea MS., *"Light-Much More Than Vision"*. Lighting Research Center, Rensselaer Polytechnic Institute, Troy, N.Y. 2008
- Refinetti Roberto, *"Circadian Physiology"*. Ed. CRC Press Taylor & Francis, E.U.A, 2005
- Rodriguez Torres J. Manuel, *"Arquitectura bioclimática o, ¿simplemente arquitectura?"*. Revista Solar ANES No: 58 Fecha de Publicación:2006-06-01
- Sanchez Yara. *"Fototerapia, Luz para la Salud"*. Revista Luxes. Año 2 NO. 8, México, 2007
- Sanvisens Herreros. *"Ritmos y Relojes Biológicos. Introducción a la Cronobiología"*. Vol. 1 . Promociones y Publicaciones Universitarias,S.A., Barcelona, 1985.
- Scuri P., Bedini. D. y Skene D., *"Sistema de Iluminación Variable con Regulación Automática. SIVRA. para espacios carentes de ventanas"*. IGuzzini illuminazione. Lighting Research Center of Polytechnic Institute de Troy. E.U.A, 1998.



- Szokolay, S.V., "Environmental Science Handbook for Architects and Builders, the Construction Press Ltd". E.U.A, 1980.
- Yañez Guillermo, "Arquitectura solar, aspectos pasivos, bioclimatismo e iluminación natural". Monografías de la dirección general para la vivienda y arquitectura. MOPU. Madrid, España, 1988.

SITIOS WEB

- Asociación de empresas para el ahorro de energía en la Edificación, A.C.
<http://www.anes.org>
Consulta Octubre del 2009
- Asociación Nacional de Energía Solar, A.C.
<http://www.ahorroenergia.org.mx>
Consulta Agosto del 2007
- CIE, Commission Internationale de l'Eclairage
<http://www.cie.co>
Consulta Noviembre del 2008
- Circadian rhythms
<http://www.circadian.org>
Consulta Septiembre del 2007
- Comisión Nacional para el Ahorro de Energía
<http://www.conae.gob.mx>
Consulta Septiembre del 2007
- Controles de iluminación
<http://www.aboutlightingcontrols.com>
Consulta Agosto del 2007
- DALI Digital Addressable Lighting Interface
<http://www.dali-ag.org> ,
Consulta Agosto del 2007
- Fideicomiso para el ahorro de energía eléctrica
<http://www.fide.org.mx/>
Consulta Octubre del 2007
- IGuzzini illuminazione
<http://www.iguzzini.com>
Consulta Febrero del 2008
- IMEI - Instituto Mexicano del Edificio Inteligente, A.C.
<http://www.imei.org.mx/>
Consulta Agosto del 2007
- Instrumentos de medición
<http://www.gigahertz-optik.de/?/4-1-download.htm> .
Consulta 3 de mayo de 2009
- Journal of circadian Rhythms
<http://www.jcircadianrhythms.com>
Consulta Octubre del 2007



- Lutron Electronics, Inc
<http://www.lutron.com>
Consulta Noviembre del 2007
- Osram México
<http://www.osram.com.mx>
Consulta Marzo del 2008
- Philips Ibérica
<http://www.philips.es>
Consulta Marzo del 2008
- Philips México
<http://www.luz.philips.com.mx>
Consulta Marzo del 2008
- PHILIPS ACTIVIVA
http://www.lighting.philips.com/es_es/activiva_club
Consulta Enero del 2009
- Real Académica Española
<http://www.rae.es>
Consulta Marzo del 2008
- Revista Hábitat Mundo Ejecutivo
<http://habitat.mundoejecutivo.com.mx>
Consulta Noviembre del 2007
- Secretaría de Energía. México gobierno de la república
<http://www.sener.gob.mx/>
Consulta Noviembre del 2007
- Science Direct
<http://www.sciencedirect.com>
Consulta Febrero del 2008
- The Chartered Institution of Building Services Engineers
<http://www.cibse.org>
Consulta octubre del 2008
- <http://www.solarpedia.es>
Consulta 27 de Abril de 2009
- MEDICIONES DE LEDS DE ALTA INTENSIDAD
http://www.cenam.mx/simposio2008/sm_2008/memorias/S4/SM2008-S4B1-1015.pdf
Consulta 27 de abril de 2009
- NATURE REVISTA DIGITAL DE CIENCIA Y MEDICINA
<http://www.nature.com/nature/journal/v379/n6560/abs/379049a0.htm>
Consulta 03 de octubre de 2009



GLOSARIO

CONCEPTOS DE LUMINOTECNIA

CORRIENTE: Representa la intensidad de electrones en movimiento cuya unidad es el Amperio ó Amperes (A) siendo muy usual el miliamper (mA).

EFICACIA LUMINOSA: Relación entre el flujo luminoso emitido por una fuente y la potencia empleada para obtener el flujo, es decir la eficiencia con la cual la energía eléctrica consumida es convertida en luz. Unidad de medida: Lúmenes por watt (lm/W). Fórmula: $h = \text{Flujo luminoso generado (lm)} / \text{energía consumida (W)}$.

ENERGÍA: Es la capacidad de un sistema físico para generar trabajo, que en sentido práctico, representa el consumo eléctrico que nos cobrará la Compañía de Luz. La unidad más usual es el KW•Hr, es decir, el consumo realizado durante una hora.

FLUJO LUMINOSO: Cantidad de energía radiante emitida en el espacio por una fuente luminosa en la unidad de tiempo, percibida y evaluada en términos de respuesta visual según el valor fijado internacionalmente para la sensibilidad del ojo humano. Unidad de medida: Lúmen (lm). Fórmula: flujo luminoso= I intensidad luminosa en candelas (cd) por ω ángulo sólido en estereorradianes (sr).

ILUMINANCIA O ILUMINACIÓN: Cantidad de luz que emitida desde una fuente de luz, está presente sobre una superficie. Relación entre el flujo luminoso y el área que deberá ser iluminada. Una iluminancia de 1 lx ocurre cuando un flujo luminoso de 1 lm ilumina 1 metro cuadrado. Unidad de medida: lux (lx). Fórmula: $E = \text{Flujo luminoso emitido sobre un área} / \text{área iluminada (m}^2\text{)}$

INTENSIDAD LUMINOSA: Cantidad de luz emitida por una fuente puntiforme que se propaga en una determinada dirección. Tal intensidad se define como el cociente del flujo emitido en una cierta dirección en un cono de ángulo sólido. Unidad de medida: Candela (cd). Fórmula: $I = \text{flujo luminoso en ángulo sólido (lm)} / \text{ángulo sólido en estereorradianes (sr)}$.

LUMINANCIA: Densidad luminosa L de una fuente de luz o de un área iluminada, es una medida para indicar qué tan grande es la impresión de luminosidad creada en el cerebro. Evalúa la cantidad de energía luminosa emitida por una superficie, ya sea de una fuente propia o de una superficie reflejada. Unidad de medida: Candelas por metro cuadrado (cd/m²). Fórmula: $L = \text{Intensidad luminosa (cd)} / \text{área luminosa percibida (m}^2\text{)}$

POTENCIA: es el consumo o generación de energía por unidad de tiempo cuya unidad es el Watt o Vatio (W), siendo muy usual la unidad KW (Kilowatt o Kilovatio).

RENDIMIENTO ENERGÉTICO: Cociente entre la energía luminosa necesaria para la realización de una actividad determinada y el consumo de energía eléctrica correspondiente. Unidad de medida: Lúmenes por watt (lm/W).

REPRODUCCIÓN CROMÁTICA: Propiedad de reproducción cromática con la que cuenta una fuente de luz, se representa por medio del Índice general de Reproducción Cromática ó Índice de Rendimiento del Color (IRC o Ra), medida de la correspondencia que hay entre el color que posee un objeto en sí mismo y su apariencia bajo una fuente de luz de referencia. Unidad de medida: IRC (Ra).

TEMPERATURA DE COLOR: Se determina en base a la comparación de un “radiador (cuerpo negro)” y se grafica en la Curva de Plank. Unidad de medida: Kelvin (k).

VOLTAJE: Es la diferencia de potencial entre dos puntos cuya unidad es el Voltio o Volts (V), es usual la unidad Kilovoltio (KV).



ANEXOS

NOM-007 ENER-2004

<http://www.conae.gob.mx/work/sites/CONAE/resources/LocalContent/4579/7/PECNOM007dof.pdf>

NOM-025-STPS-2008

<http://www.stps.gob.mx/DGSSST/normatividad/noms/Nom-025.pdf>

