



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN

**“ESTUDIO Y SELECCIÓN DE LA ILUMINACIÓN
PARA MEJORAR EL DESEMPEÑO LABORAL EN EL
AREA DE MANUFACTURA”**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO INDUSTRIAL

P R E S E N T A N:

**FLORES JUÁREZ SUZEL LIBERTAD
Y
RUBIO SANDOVAL JESÚS ADRIÁN**



**ASESOR:
ING. MARIO LEÓN LÓPEZ
SAN JUAN DE ARAGÓN, EDO. DE MÉX., 2017**



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.

Agradecimientos.....	iv
Introducción.....	vi
Objetivo General.....	x
Objetivos Específicos	x
Justificación	x
Capítulo 1 Antecedentes Históricos	- 1 -
1.1. La iluminación a través del tiempo.....	- 1 -
1.2. El turno de trabajo nocturno.....	- 2 -
1.3. Los efectos negativos de la luz.....	- 4 -
1.4. El ojo humano.....	- 5 -
1.4.1. Receptores lumínicos.....	- 7 -
1.4.2. Sensibilidad del ojo.....	- 9 -
1.5. Importancia de la luz.....	- 11 -
1.5.1. La corriente eléctrica.....	- 11 -
1.5.2. Corriente directa.....	- 15 -
1.5.2.1. Usos.....	- 15 -
1.5.3. Corriente alterna.....	- 16 -
1.6. Producción de energía eléctrica.....	- 17 -
1.7. Energía eléctrica convencional y no convencional.....	- 18 -
Capítulo 2 Clasificación y Tipos de Luminarias	- 20 -
2.1. Que son las luminarias	- 20 -
2.2. Clasificación de las luminarias.....	- 20 -
2.2.1. Distribución luminosa.....	- 21 -
2.2.2. Aplicación.....	- 22 -
2.2.2.1. Iluminación industrial.....	- 22 -

2.2.2.2. Iluminación comercial, de oficinas y de residencias.	23 -
2.2.3. Grado de protección.	24 -
2.2.4. Grado de seguridad eléctrica.	26 -
2.3. Criterios para la selección de luminarias según factores de eficiencia.	26 -
2.3.1. Análisis de factores para la especificación del diseño de iluminación en el área de producción.	27 -
2.3.1.1. Nivel lumínico.	28 -
2.3.1.2. Uniformidad.	30 -
2.3.1.3. Ausencia de deslumbramiento.	30 -
2.4. Métodos de diseño.	31 -
2.4.1. Punto por punto.	31 -
2.4.2. Curvas isolux.	32 -
2.4.3. Cavidad zonal.	32 -
2.5. Evaluación de los niveles de iluminación.	32 -
2.6. Ubicación de los puntos de medición.	33 -
2.7. Determinación del sistema de iluminación.	34 -
2.8. Diseño de un sistema de iluminación interior.	36 -
Capítulo 3 Visión y Efecto de la Iluminación.	46 -
3.1. La visión.	46 -
3.2. El sistema visual.	46 -
3.2.1. El sistema visual en las áreas de trabajo.	48 -
3.3. Radiometría y Fotometría.	49 -
3.4. La psicología del color.	50 -
3.4.1. Sinestesia cromática.	53 -
3.4.2. Colores fríos, cálidos e IRC.	55 -

3.4.2.2. Índice de reproducción cromática	- 57 -
3.5. Condiciones del entorno en el puesto de trabajo	- 58 -
Capítulo 4 Aplicación del Estudio para la Selección de la Iluminación en el Área de Manufactura	- 61 -
4.1. Ejemplo de aplicación	- 61 -
4.1.1. Condiciones del área de estudio	- 64 -
4.1.2. Sistema de iluminación a implementar.	- 70 -
Conclusiones.....	- 71 -
Glosario	- 71 -
Bibliografía	- 71 -
Índice de Esquemas, Ilustraciones y Tablas	- 71 -

A Dios, quien me brindo sabiduría y fortaleza para enfrentarme a las dificultades que se presentaron durante esta etapa tan importante en mi vida y que junto con mis esfuerzos me da la dicha de alcanzar mis metas.

A mi Padre, por su invaluable apoyo, ternura y cariño, quien es mi ejemplo a seguir y mi impulso para ser mejor cada día, porque a pesar de los tropiezos me enseñó a levantarme, mirar al frente y seguir luchando por mis metas.

A mi Madre, porque a pesar de nuestras diferencias y peculiar relación, siempre estuvo en el momento preciso para apoyarme, porque con sus sacrificios, eh logrado llegar hasta donde estoy.

A mis Hermanas y Hermano, quienes confiaron plenamente en mis habilidades para cumplir mis objetivos y metas al iniciar esta etapa de mi vida, por las discusiones, risas y la toma de buenas y malas decisiones que avivan la unidad entre nosotros.

A Mi Hija, quien fue mi motivación más grande para lograr mis metas, porque adquirió conmigo la ilusión de ver realizados mis objetivos y con su sola presencia me dio aliento para esforzarme y hacerlos realidad.

A mi compañero de tesis, quien es mi confidente, amigo y pareja, por todas las discusiones y diferencias en la construcción de este trabajo, por el apoyo, alegrías, enojos y estrés a lo largo de nuestra formación profesional.

A mis Profesores, por su dedicación a la enseñanza docente, en especial al Ing. Mario León López y al Ing. Francisco Raúl Ortiz González por su apoyo y constancia en la realización de este trabajo, por sus consejos, comentarios y regaños. Así mismo, al M. en Ing. Noé Ávila Esquivel por las facilidades y apoyo recibido a lo largo de la trayectoria escolar.

Gracias a ustedes hoy veo forjadas mis metas, ustedes son parte de ellas y con ustedes la comparto.

Suzel Libertad Flores Juárez

Le agradezco a Dios por haberme dado la salud para poder llegar hasta donde ahora me encuentro, por haberme permitido cumplir mis objetivos y sobre todo guiarme en este camino.

A mi madre, que me ha dado su apoyo incondicional, por el esfuerzo que tuvo que hacer para darme una excelente educación, por los valores con los que me crio haciéndome una persona de bien, por el tiempo que le dedico a escucharme en mis momentos de tristezas y alegrías, por ser mi confidente y mi mejor ejemplo, pero sobre todo por el amor recibido.

A mi padre, por todos los consejos que me dio, por el gran ejemplo de ser una persona trabajadora y responsable, por el apoyo incondicional y sus palabras de aliento cuando las necesitaba.

A mis hermanos, que son un gran pilar en mi vida, por las risas, las peleas y todos aquellos momentos de la infancia que siempre recordaremos, por la ayuda que me ofrecieron en los momentos más difíciles de mi vida.

A mi compañera de tesis, que estuvo en todo momento apoyando a lo largo de la carrera, convirtiéndose en una persona esencial en mi vida, por todos los altibajos que nos hicieron más unidos y sobre todo por el amor incondicional.

A mis maestros, por su gran dedicación a la enseñanza ya que gracias a esto hoy me veo como un profesional, al Ing. Mario León López por su paciencia y constancia en la elaboración de este trabajo de tesis, al Ing. Francisco Raúl Ortiz González por sus consejos y guía que han sido de gran ayuda, al Mtro. Noé Ávila Esquivel que a lo largo de la carrera fue un gran apoyo para nosotros.

A mis amigos, que en las buenas y en las malas siempre estuvieron apoyando dándome palabras de aliento, por todas las experiencias obtenidas, los momentos de risa, de angustia y de felicidad.

Hoy puedo decirles que este logro no solamente es mío sino también de ustedes pues cada uno ha aportado algo a este sueño que veo culminado.

Jesús Adrián Rubio Sandoval

Para que el ser humano pueda tener un buen desempeño en el desarrollo de sus actividades, además de otros factores, es importante que este bien iluminado con el fin de poder tener una visión clara, con la que pueda interpretar la información del entorno y así realizar sus tareas correctamente, según indican los libros especializados en ergonomía.

Actualmente contamos con sistemas de iluminación que nos permiten realizar labores que requieren de la luz durante la noche, e incluso también se tienen métodos de iluminación que nos asisten para saber qué tipo de alumbrado es requerido, así como la distribución del mismo según las actividades que se realizan.

Data el año 1879 cuando comenzó la era moderna del alumbrado eléctrico en Nueva York con el único objetivo de mantener iluminadas las calles y desde aquel entonces, el mundo entero ha iluminado las noches con el fin de poder realizar las actividades que requerían iluminación natural.

No obstante, en un artículo publicado por el Sistema de Información Científica Redalyc, Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal en enero del 2009, describe un fenómeno denominado contaminación lumínica, el cual está presente en muy diversas formas como es el halo luminoso nocturno, el brillo deslumbrante y la iluminación excesiva.

Este artículo afirma que, el uso excesivo de la iluminación artificial por las noches provoca perturbaciones en los seres humanos, la flora y la fauna que lo rodea ya que trastornan su comportamiento como son: desajustes en las variaciones estacionales en el caso de los árboles, alteraciones en el comportamiento alimentario y reproductivo en algunas especies de animales así como problemas de salud en el caso del ser humano.

Si bien, se busca recuperar la **nocturnidad** del ecosistema para protegerlo pero sin desatender las necesidades del hombre, lo que nos lleva directamente a pensar en el trabajo nocturno y los efectos de la luz artificial en el trabajador, como afecta y la manera de disminuir los riesgos del mismo en el entorno y su actividad diaria.

El impulso de este trabajo, se basa específicamente en los estudios e investigaciones relacionados en la contaminación lumínica, el trabajo nocturno, métodos de iluminación y factores involucrados como son ergonomía, la visión, normas de iluminación, psicología del color, radiometría y fotometría, así como luminarias, de los cuales se citan las bibliografías al final de este trabajo.

Así mismo la determinación de las formulas usadas en el proceso de este trabajo están basadas en los manuales de luminotecnia como es el escrito por Carlos Lazlo o el de OSRAM, así como citas de páginas de internet de cursos especializados en iluminación, tal es el caso de la Universidad Peruana de Ciencia Aplicada.

La luz artificial, es un fenómeno que data desde tiempos prehispanicos y que en la actualidad se ha vuelto fundamental tanto para la iluminación doméstica así como para la iluminación industrial, esto debido a que es esencial para comprender el entorno que nos rodea, pues la mayor parte de la información que recibimos la obtenemos principalmente de la vista.

La iluminación artificial nocturna, lleva consigo determinados factores negativos que alteran nuestros ecosistemas y directamente el comportamiento del cuerpo humano, sin embargo, esta no puede eliminarse ya que actualmente por la calidad de vida adoptada, se exigen servicios y productos las 24 horas del día.

El presente trabajo es una investigación la cual tiene como objetivo, la determinación de un sistema de iluminación en la industria manufacturera, con este se pretende reducir los riesgos de salud y accidentes laborales principalmente de los trabajadores nocturnos, así como optimizar su rendimiento y desempeño laboral. Este estudio, se realizó con base en los problemas actuales referentes a la **contaminación lumínica** causada por el uso inadecuado de la luz artificial, así como los trastornos generados en el cuerpo humano, originados por la exposición recurrente a ésta durante la noche.

El trabajo presenta los capítulos que se describen brevemente a continuación:

CAPITULO 1: En este capítulo se mencionan principalmente, los factores trascendentales que fueron detonantes de la iluminación nocturna masiva en la

industria y la generación de los turnos nocturnos, dando el panorama negativo de estos, describiendo las afectaciones y daños ocasionados en las personas.

Posteriormente, se da una breve explicación sobre el funcionamiento del ojo humano pues es quien recibe información a través de la luz y es el encargado de transmitir las imágenes al cerebro el cual después se comunica con los demás sistemas internos.

Por último, nos introducimos a los orígenes, usos y producción de la corriente eléctrica, la cual es importante conocer, pues es el elemento que hace que las luminarias que actualmente usamos puedan funcionar.

CAPITULO 2: Para obtener una correcta iluminación, es importante elegir el tipo de luminaria y lámpara que más se adapte a los requerimientos y necesidades del lugar a iluminar, es por ello que en este capítulo, partimos desde el concepto de luminarias, clasificación, distribución luminosa y aplicación, así como conceptos técnicos como son grado de protección y grado de seguridad eléctrica.

Se mencionan también, los criterios de selección de luminarias más importantes para una correcta iluminación, así como los métodos de distribución de luminarias más efectivos para la industria y el diseño de interiores.

CAPITULO 3: La visión es ciertamente la primera en tener contacto con la luz y a su vez la más importante, pues ella es quien transmite la primera impresión del ambiente que nos rodea y es por esta razón, que este capítulo describe el sistema visual así como todas las sensaciones que nos genera psicológicamente según el color percibido y la luz que nos ilumina.

Se explica a su vez, la susceptibilidad de la visión para transmitir mensajes internamente, con los cuales se pueden generar estados de ánimo o incluso estados de salud, basados en el confort visual que se obtiene con la correcta combinación de colores que conforma el área de trabajo, así como la importancia de la capacidad que tiene la lámpara que alumbramos para reproducir los colores fielmente según las condiciones del entorno en el puesto de trabajo.

CAPITULO 4: En el último capítulo, se plantea el caso práctico una vez que se han analizado todos los factores que influyen en la determinación de un correcto sistema de iluminación que cumpla con los objetivos de este trabajo. Aquí se exponen las condiciones de trabajo que actualmente el área de estudio tiene y posteriormente, se propone un sistema nuevo de iluminación que puede disminuir las causas principales que indican los índices de accidentes y enfermedades laborales además del ahorro energético. Se realiza la comparación del modelo de iluminación actual con el propuesto y se buscó reducir los costos de instalación utilizando el método de las cavidades zonales y tomando en cuenta la distribución actual de las luminarias, lo cual reducirá también los costos de inversión.

Objetivo General

Determinar un sistema de iluminación correcto en las áreas de trabajo dentro de la industria, dando como resultado un mejor desempeño laboral y físico en los trabajadores sin afectar o poner en riesgo su salud.

Objetivos Específicos

- Determinar la situación ambiental y laboral actual de los colaboradores que se encuentran en el turno nocturno de una empresa.
- Describir los efectos dañinos que se tienen al poseer una iluminación deficiente en el área de trabajo.
- Implementar un sistema de iluminación eficiente, que mejore la calidad del área de trabajo así como el rendimiento del colaborador.

Justificación

La luz artificial es un fenómeno que en la actualidad se ha vuelto indispensable para el ser humano en sociedad y que hemos convertido en una necesidad, derivado de esta, se han obtenido beneficios, como es: el incremento de los turnos de trabajo, nos permite realizar actividades nocturnas.

No obstante el abuso en el uso de la luz artificial así como la calidad de esta, provoca en las ciudades más pobladas del mundo lo que se conoce como contaminación lumínica, que es la dispersión del halo luminoso de las lámparas en direcciones opuestas a la deseada.

Esto genera en los seres vivos cambios en su estilo de vida, por ejemplo, las personas que están expuestas a ambientes con luz excesiva, pueden desarrollar enfermedades tales como son el estrés, cáncer, entre otras. La estructura de las jornadas laborales y especialmente hablando, del turno de trabajo nocturno, es un aspecto que genera una repercusión en el trabajador, debido a la exposición constante de la luz.

La Organización Internacional del Trabajo (OIT), declara que existen riesgos físicos y psicosociales asociados al ambiente laboral, equipamiento, presión y horarios, que producen en el colaborador niveles elevados de estrés, los cuales contribuyen

a la aparición de problemas de salud mental (cansancio, ansiedad, depresión, etc.) y físicas (trastornos cardiovasculares y musculoesqueléticos).

Así mismo, la OIT vincula los problemas de salud con los hábitos de conducta, demostrando una relación directa con el consumo de drogas, tabaco, alcohol, una dieta insana, así como la reducción de las horas de sueño, que pueden generar un impacto directo en la economía y productividad de la organización.

El trabajo nocturno exige al colaborador mantener al organismo activo, aun cuando este necesita descansar obligando a inducir un **desfase** y alteración en sus ritmos biológicos, debido a la falta de adaptación del trabajador, ya que la actividad laboral debería desarrollarse durante el día para así armonizar la actividad laboral con las actividades fisiológicas.

Sin embargo, el turno nocturno es un fenómeno cada vez más frecuente, que en la actualidad se ha convertido en un estilo de vida atribuible a las exigencias y necesidades de recibir y/o proporcionar servicios de 24 horas. No obstante, estudios realizados por el Centro Nacional de Condiciones de Trabajo de Madrid en España, señalan que, la actividad del organismo durante la noche disminuye, por lo que la acumulación de fatiga en los trabajadores nocturnos por un sueño escaso, provoca una serie de deficiencias sobre la realización del trabajo, como pueden ser:

- **Acumulación de errores.** Esto se observa cuando el operador no logra realizar correctamente la tarea a la que está asignado y comete equivocaciones que causan pérdidas económicas a la empresa.
- **Dificultad de mantener la atención.** Si la iluminación es deficiente, provoca que el operador no se concentre adecuadamente en la tarea que realiza.
- **Dificultad de percibir correctamente la información.** Malinterpretar información sobre un estado de resultados o como se debe fabricar un producto.

Dificultad para actuar con rapidez. La mala calidad de iluminación, repercute en la velocidad de reacción del operador lo cual conlleva a que ocurra algún siniestro y quede incapacitado.

Es importante mencionar que dichas repercusiones en un periodo corto generan grandes costos y pérdidas en la producción así como en la salud de los trabajadores, esto; debido a la alteración en sus actividades en el ciclo de 24 horas del día y la noche conocido como reloj circadiano y que a su vez tienen conexión intuitiva con la luz artificial.

Dicho lo anterior, se considera que para obtener un eficiente desempeño del trabajador, es importante mantener en armonía el sistema visual, perceptual y circadiano, es decir que para lograr resultados favorables y colaboradores del turno nocturno sanos y conformes, es necesario armonizar los factores luminiscentes que afectan la salud como es, erradicar la fatiga causada por la escasez del sueño dando como resultado una mejor eficiencia con trabajadores competentes

1.1. La iluminación a través del tiempo.

Desde el comienzo de los tiempos el hombre ha dedicado gran parte de su vida al ámbito laboral para poder satisfacer sus necesidades, sin embargo el llevar a cabo esta actividad requiere que la iluminación (característica ambiental) y la visión (característica personal) se complementen para que se pueda llegar a crear un ambiente de trabajo ergonómico que cuente con los siguientes aspectos.

- **Seguridad.** Mientras mayor sea el nivel de iluminación hasta cierto límite máximo (deslumbramiento) mejor será el rendimiento visual generando así mayor productividad del operador.
- **Confort.** El tipo de iluminación influye directamente en el estado físico del colaborador ya que si este es deficiente afecta principalmente el rendimiento cognitivo y produce fatiga ocular.
- **Productividad.** Se aumenta la productividad de un área por eliminar deslumbramientos, se mejora la distribución de la luz y mayor concentración.

El fuego, fue la primera fuente de iluminación artificial para el hombre, y al pasar los años junto con el hombre esta fue evolucionando. Surgen los candiles elaborados con diferentes materiales, lámparas de aceite, antorchas, velas, lámparas de gas y querosén que dieron origen a las lámparas de sodio de baja presión y mercurio de alta presión, seguidas de las lámparas eléctricas.

Sin embargo, fue en el año 1879 cuando por primera vez Tomas Alva Edison, ilumina el estado de Nueva York con lámparas incandescentes eléctricas durante dos días continuos. Posteriormente surgen las lámparas de vapor de mercurio, filamento de tungsteno y wolframio, neón y fluorescentes, descarga eléctrica y LED.

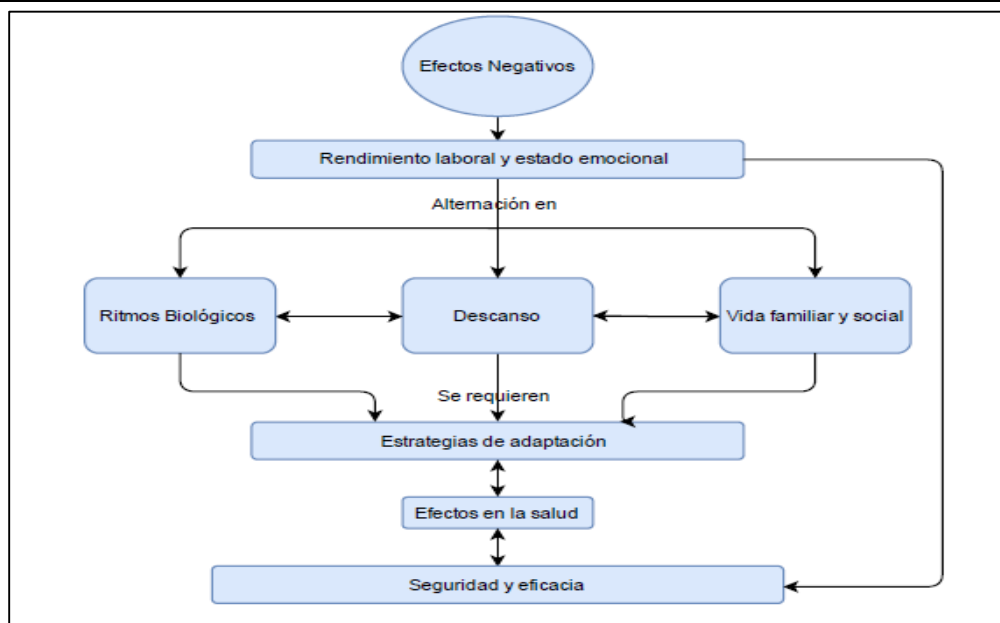
La iluminación, trajo consigo beneficios como lo es la extensión de los días, que permitió al hombre continuar con sus actividades más tiempo, no obstante el uso incorrecto y excesivo de la iluminación nocturna, es un problema que en la actualidad es un tema de preocupación, debido a la alteración del ecosistema.

1.2. El turno de trabajo nocturno.

El turno de trabajo nocturno, implica para las industrias mantener siempre la actividad laboral continua las 24 horas, el cual se ha ido incrementado drásticamente con el paso del tiempo para poder satisfacer las demandas de producción que a su vez, según el Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales de España así como la Sociedad de Ergonomistas de México involucran diversos factores importantes algunos de los cuales se mencionan a continuación:

- **Factores económicos.** Surge la necesidad de la creación de un turno nocturno para poder competir en un mercado cambiante, adaptándose a las necesidades del mismo. Provocando así un aumento en las ganancias de la industria.
- **Factores técnicos.** Es casi imposible detener la maquinaria industrial y volver a ponerla en marcha, salvo asumir altos costos. En la actualidad la maquinaria industrial puede permanecer operando las 24 horas del día durante años.
- **Factores productivos.** La creciente demanda de los bienes y servicios conllevó a la implementación del trabajo nocturno para poder aprovechar los recursos técnicos y de capital humano, ya que para poder solventarlos se necesita que no se detenga la producción de estos.
- **Factores sociales.** Las actividades humanas se realizan durante las 24 horas del día, en donde se requiere sistemas de prevención, asistencia y protección en áreas sociales y comunitarias en general.

Sin embargo, existen efectos negativos para el trabajador del turno nocturno generados por la alteración del reloj circadiano y que es de primordial importancia reducir, ya que perjudican directamente la salud del colaborador al alterarse el equilibrio biológico pues, se produce un *desfase* de los ritmos circadianos, que causan un desgaste mayor en los trabajadores sumados a los cambios forzados de los hábitos alimenticios y las afectaciones directas en las convivencias de la vida familiar y social como se observa en el esquema 1.1. Efectos negativos en el trabajo a turnos.



Fuente: (Nogareda Cuixart & Nogareda Cuixart)

Esquema 1.1 Efectos negativos en el trabajo a turnos. Elaboración: Propia

El turno nocturno, hace que el sistema nervioso del trabajador se obligue a invertir su ciclo de actividad por la deficiencia en la iluminación artificial, lo que causa cambios en las funciones físicas.

La influencia de los ritmos circadianos en la fase de activación (vigilia) y desactivación (sueño) sobre el sistema **SARA** (Sistema Activador Reticular Ascendente) y el **hipotálamo**, hace que coincida la fase de activación con las horas diurnas, y la de inhibición con las horas nocturnas.

La “*Alteración relevante del funcionamiento del **sistema circadiano**; es decir, del orden temporal interno de los ritmos circadianos bioquímicos, fisiológicos y de comportamiento*”¹ llegando a la ruptura de la relación de la fase normal entre los ritmos circadianos y los dos ciclos (día y noche) dio origen a la aparición del fenómeno denominado **Cronodisrupción** que puede conducir a un envejecimiento prematuro del trabajador.

¹ Elisabeth Ortiz-Tudela, María de los Ángeles Bonmatí-Carrióna, Mónica De la Fuente y Pilar Mendiola. (Diciembre 2011). La Cronodisrupción como causa de envejecimiento. Revista Española de Geriatría y Gerontología, vol. 47, pág. 168-173

1.3. Los efectos negativos de la luz.

El cuerpo humano ha desarrollado mecanismos para poder medir el paso del tiempo, como lo es la alternancia entre el día y la noche y así regular las funciones internas correctamente. Existe un sistema interno que se encarga de regular estas funciones rítmicas las cuales se presentan por las señales periódicas ambientales, se le conoce como sistema circadiano.

En la actualidad el abuso de la luz artificial está alterando el ciclo natural luz-oscuridad debido al uso excesivo de iluminación que se denomina como **contaminación lumínica**.

El mantener contacto con la luz artificial por la noche provoca graves consecuencias en el cuerpo humano una de las más importantes es la supresión de la hormona **melatonina** la cual se encarga de regular el reloj biológico.

Las características de la luz que influyen directamente en la supresión de melatonina son la intensidad, duración y longitud de onda. De ahí, que es importante para la salud del cuerpo humano que el sistema circadiano funcione correctamente siendo indispensable respetar la alternancia de luz-oscuridad para que este sistema se sincronice.

George Briand, profesor de Neurología del Colegio Médico Superior Jefferson, de la Universidad Thomas Jefferson de Filadelfia de los Estados Unidos de América (E.U.A.) dice: *“existen evidencias epidemiológicas sobre los efectos de la contaminación lumínica sobre la salud que apuntan hacia una asociación constante entre la exposición de la luz artificial nocturna interior y problemas de salud tales como el cáncer de mama.”*²

Por lo que se puede decir que la exposición a la luz brillante durante horas nocturnas es la responsable en la mayoría de los casos de enfermedades patológicas dentro de las cuales se pueden mencionar las respiratorias, digestivas, circulatorias y

² Instituto Nacional de Salud Pública. (Enero 2009). Extrañando la Oscuridad. Los Efectos de la Contaminación Lumínica. Redalyc.org, vol. 117, A20-A27.

genitourinarias. Está comprobado que el espectro azul de la luz brillante, produce un efecto inmediato en el funcionamiento del reloj biológico y la supresión de la melatonina que sólo se libera durante la noche.

1.4. El ojo humano.

El ojo humano se compone por diversos elementos externos e internos. Dentro de los primeros podemos mencionar la ceja y pestañas las cuales, tienen la función de proteger al ojo de los agentes externos como son polvo, sudor o excesos de iluminación entre otros factores, también cuenta con mecanismo de limpieza (lagrimas) que se produce en las glándulas lacrimales y que gracias al parpadeo, se distribuyen por toda la superficie del globo ocular. En la tabla 1.1 Elementos, características y función del ojo humano, se describen algunos componentes.

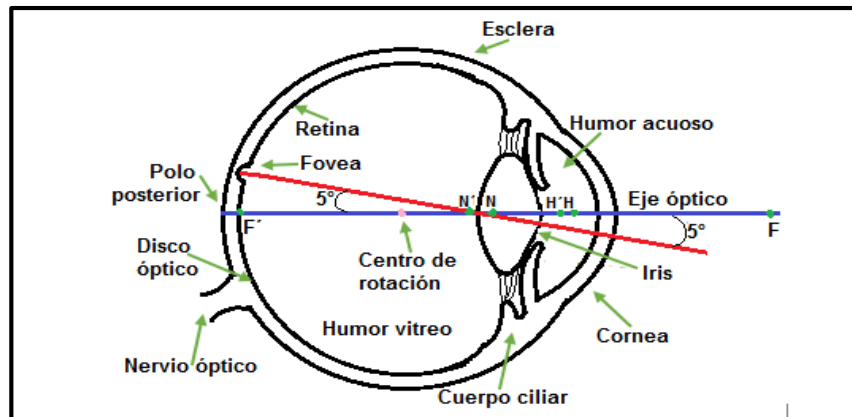
Elemento	Característica y función
Córnea	Membrana dura y transparente, situada en la parte anterior del globo del ojo engastada en la abertura anterior de la esclerótica. A través de ella se ve el iris y permite el paso de la luz
Coroides	Membrana delgada, de color pardo más o menos oscuro, situada entre la esclerótica y la retina del ojo. Mantiene la temperatura constante y nutre el globo ocular.
Cristalino	Lente biconvexa elástica, incolora y transparente ubicada detrás del iris, es el encargado de enfocar los objetos a distintas distancias. En función de la distancia a la que se hallan los objetos varía su curvatura para enfocar
Esclerótica	Membrana dura, opaca, de color blanquecino, que cubre casi por completo el ojo, da forma al ojo y protege a los elementos internos del mismo
Fóvea	Porción pequeña de la retina, que no contiene bastones pero si una gran cantidad de conos , que constituye el punto de máxima agudeza visual. Es aquí en donde se enfocan los rayos del sol por lo que es la responsable de la visión del color.
Humor acuoso	Líquido transparente, formado mayormente por agua ubicado entre la córnea y el iris, encargado de nutrir y mantener la forma de la presión que ejerce entre los dos.
Humor vítreo	Masa transparente y gelatinosa, compuesta mayormente por agua, que rellena la cavidad que hay entre el cristalino y la retina. Nutre y oxigena el globo ocular
Iris	Membrana circular pigmentada situada detrás de la córnea, encargada de controlar el flujo lumínico.
Músculo ciliar	Músculo encargado de modificar la curvatura de la lente para ajustar la visión.
Nervio óptico	Nervio encargado de conducir las imágenes desde la retina al cerebro.
Punto ciego	Punto de unión entre la retina y el nervio óptico. Es un punto insensible a la luz ya que no posee ninguna célula fotorreceptora .
Pupila	Abertura situada en el centro del iris, por la que entra la luz en el ojo. Está controlada por el iris, que dependiendo del flujo luminoso del entorno, puede contraerse (miosis) o dilatarse (midriasis)
Retina	Membrana interior del ojo, constituida por varias capas de células, que recibe imágenes y las envía al cerebro a través del nervio óptico.

Fuente: (Puell Marín)

Tabla 1.1 Elementos, características y función del ojo humano. Elaboración propia

El interior del ojo se divide en tres cámaras: interior, posterior y vítrea, de las cuales la primera se encuentra entre la córnea y el iris que contiene el humor acuoso, la segunda se encuentra entre el iris, el cuerpo ciliar y el cristalino y también contiene humor acuoso y la última, está ubicada en entre el cristalino y la retina que contiene una masa gelatinosa transparente e incolora llamada humor vítreo.

Se definen tres paredes de puntos cardinales situados sobre el eje óptico conocidos como puntos focales (F y F'), principales (H y H') y nodales (N y N'), la posición de estos puntos cardinales dependen de la estructura y del nivel de acomodación del ojo, en la imagen 1.1 El sistema óptico del ojo, podemos apreciar estos puntos suponiendo que el ojo está enfocado al infinito. Estos puntos cardinales están definidos por la zona paraxial y a continuación se detalla cada uno en la tabla 1.2 puntos cardinales.



Fuente: (Puell Marín)

Imagen 1.1 El sistema óptico del ojo. Elaboración propia

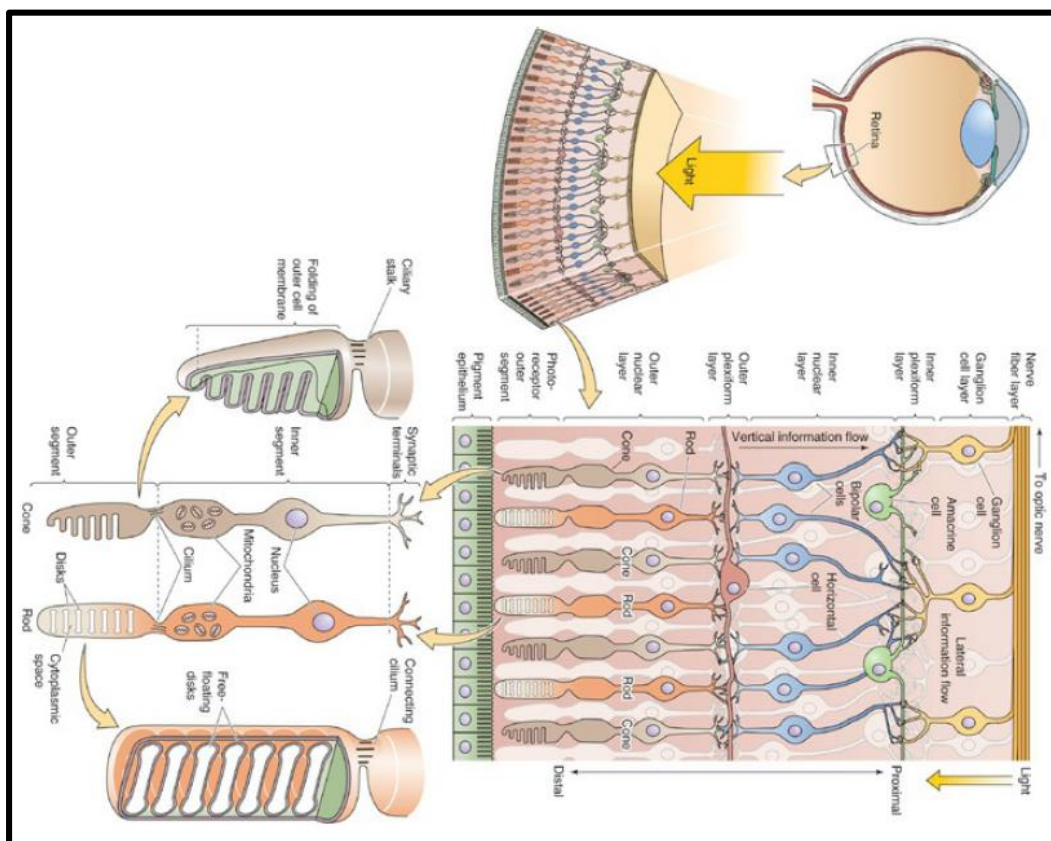
Definición de los puntos cardinales	
Puntos Cardinales	Descripción
Focales F y F'	Cuando la luz procedente emerge, después de la refracción en el ojo, paralela al eje óptico. Los rayos procedentes de una distancia infinita que inciden en el ojo paralelo al eje óptico en la refracción en el ojo pasan por el punto focal F'.
Principales H y H'	Estos son puntos conjugados cuyo aumento lateral es de +1 por lo que si se sitúa un objeto en uno de estos puntos, se forma una imagen derecha del mismo tamaño en el otro punto.
Nodales N y N'	Son puntos conjugados sobre el eje y tiene la propiedad de que los rayos de luz que entren por el punto nodal objeto, formando con el eje un ángulo u, salen del sistema pasando por el punto nodal imagen n' formando con él un nuevo ángulo u' igual a u. Este rayo se conoce como rayo nodal y cuando el punto fuera del eje es el punto de fijación, el rayo se puede llamar eje visual.

Fuente: (Puell Marín)

Tabla 1.2 Puntos Cardinales. Elaboración propia

1.4.1. Receptores lumínicos.

“La túnica interna es una capa sensible a la luz que recibe el nombre de retina y se extiende por el cuerpo ciliar del iris, si bien en esta región no hay elementos nerviosos y por ello no es funcional. La retina tiene un espesor de 0.5 mm en la parte posterior y de 0.1 mm en la anterior; sin embargo, el disco óptico como la fovea central son áreas muy finas. Consta de dos partes: una capa epitelial pigmentada externa y una capa transparente interna que contiene receptores lumínicos (conos y bastones)”.³ En la imagen 1.2 la retina, se aprecian los conos y bastones.



Fuente: (Bron & Boulpaep, 2009)

Imagen 1.2 La retina

³ Anatomía y movimiento humano. Estructura y funcionamiento, 3ra edición, Nigel Palastanga, Derek Field, Roger Soames, Editorial Paidotribo Barcelona. Pp. 48

- Existen más de 100 millones de bastones, estas células son muy sensibles a la luz y al movimiento, pero todo lo contrario al color.
- Así también, existen alrededor de 4 millones de conos. Los cuales son muy sensibles al color pero para ello requieren un gran flujo lumínico ya que estas células se encargan durante la visión diurna, también conocida como visión fotópica, que se distinguen los objetos con mayor precisión y detalle, además de percibir los colores.

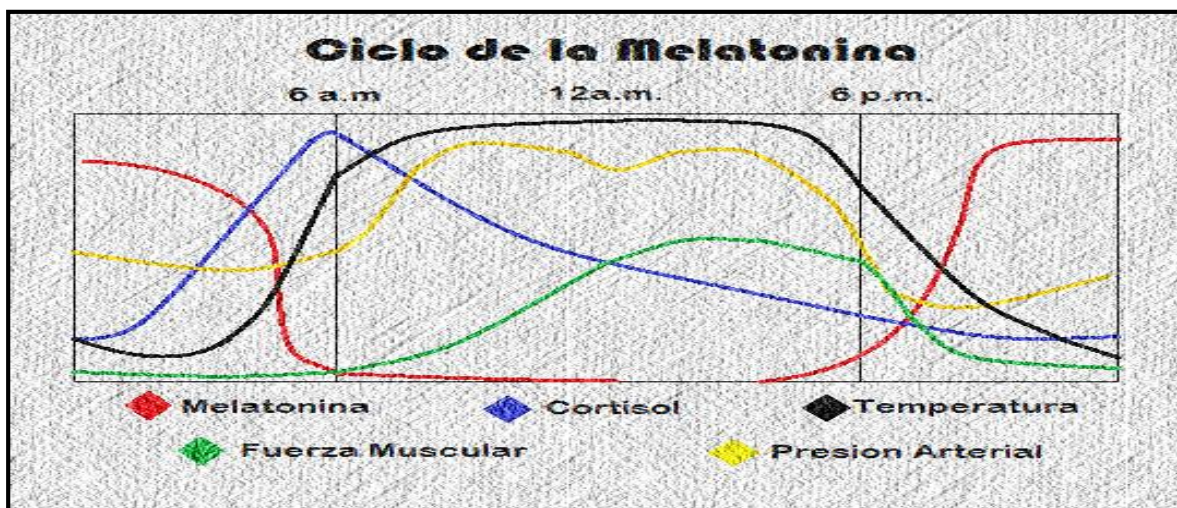
La luz es el factor más importante para la sincronización del medio ambiente (día/noche) con los **ritmos endógenos**, ya que la percepción visual inicia en la retina en donde, los conos y bastones captan y convierten al estímulo luminoso en señal eléctrica equivalente y liberan **fotopigmentos** denominados conopsina (conos) y rodopsina (bastones) mediante una serie de eventos conocida como **fototransducción**.

Inmerso en este proceso podemos encontrar también, un tercer fotopigmento llamado melanopsina que es liberado por una subpoblación de **células ganglionares** que envían información sobre los ciclos noche/día al reloj biológico central canalizando la información sobre dichos ciclos que los conos y bastones envían al cerebro.

Las células ganglionares retínales de melanopsina fotosensibles (pRGC, por sus siglas en inglés); detectan la intensidad y longitud de onda de la luz. La información llega a la retina y se transmite directamente a la zona del cerebro responsable del ritmo circadiano, es decir, el reloj biológico favoreciendo o disminuyendo la segregación de melatonina, hormona responsable de informar a los órganos humanos cuando es de día y cuando es de noche y de este modo regular el ciclo biológico interno.

En la imagen 1.3 Ciclo de la melatonina, muestra durante las horas de noche, la curva de la melatonina es elevada porque existe una segregación constante de dicha hormona. En cambio, por la mañana cuando empieza a salir el Sol, disminuye

la segregación y se reduce la sensación de sueño. Es importante que los ritmos corporales no se alteren demasiado para prevenir enfermedades o trastornos.



Fuente: (Universidad Peruana de Ciencia Aplicada, s.f.)

Imagen 1.3 Ciclo de melatonina. Elaboración propia.

1.4.2. Sensibilidad del ojo.

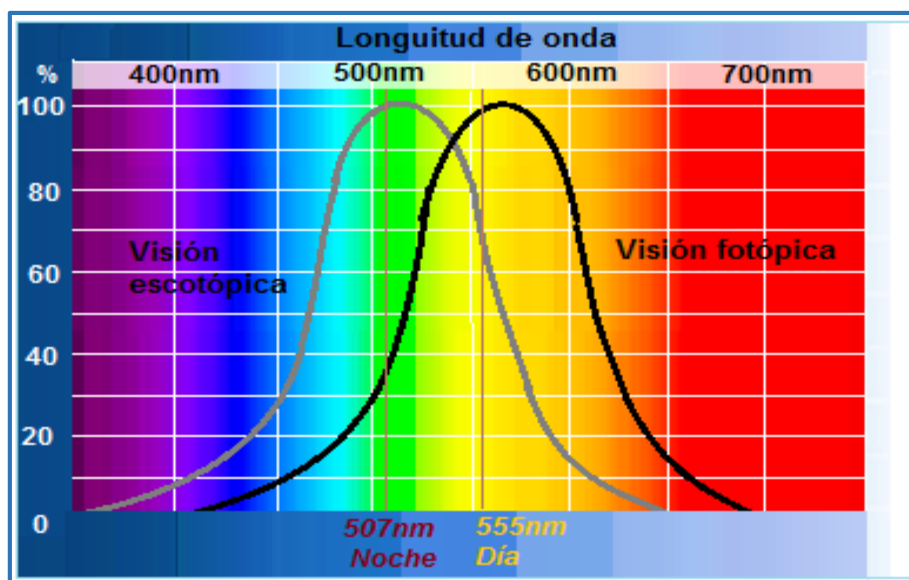
El ojo humano no responde de la misma manera a las radiaciones luminosas de cada una de las longitudes de onda del espectro electromagnético visible. La **CIE** (Comisión Internacional de Iluminación, por su siglas en francés *Commission internationale de l'éclairage*), evaluó cómo afecta cada una de las longitudes de onda de manera independiente, pero con la misma energía, sobre el ojo humano. La máxima sensibilidad del ojo corresponde a longitudes de onda cercanas a los 555 nanómetros (nm) y la mínima sensibilidad se encuentra para los colores rojo y violeta.

La visión de día es conocida como visión fotópica, en este tipo de visión los conos son los responsables de la visión ofreciendo una distinción de colores muy alta. Por otra parte, cuando los niveles de iluminación son bajos actúan los bastones que, como se ha dicho anteriormente, tienen una mayor sensibilidad pero no son capaces de distinguir los colores; esta visión es conocida como visión escotópica. Cuando los niveles de iluminación son intermedios, la visión se denomina visión mesópica.

En la imagen 1.4 se muestra como la sensibilidad del ojo para la visión escotópica está desplazada hacia la izquierda. La máxima sensibilidad corresponde a las longitudes de onda de 510nm aproximadamente.

La “visión fotópica”, se logra cuando se está expuesto a la luz del día o con buena iluminación y en ella actúan ambos sensores de la retina: los conos, fundamentalmente sensibles al color y los bastones, sensibles a la luz).

Durante el oscurecer y hasta la noche, se produce un fenómeno conocido como efecto Purkinje, el cual se muestra en la imagen 1.4 Efecto Purkinje donde se aprecia y explica que, para fuentes débiles el ojo es más sensible al color azul, mientras que para fuentes brillantes lo es más al color rojo, quedando la sensibilidad máxima en la longitud de onda de 507nm.



Fuente: (Carlos, s.f.)

Imagen 1.4 Efecto Purkinje. Elaboración propia.

Lo anterior quiere decir que, aunque los conos no realizan su función correspondiente por lo que hay ausencia de color, al situarnos en el espectro visible, el ojo se vuelve más sensible al color azul mientras que en el otro extremo (rojo) es más débil la percepción; en palabras más simples, se puede decir entonces que durante este efecto, la luz azul es claramente mejor apreciada que la roja.

1.5. Importancia de la luz.

La luz es un elemento importante desde tiempos antiguos, ya que es esencial para que el ser humano pueda comprender gran parte de su entorno, pues la mayoría de la información es recibida a través de la visión, es por ello que el hombre se dio a la tarea de estudiar la naturaleza de la luz y a su vez realizar numerosos experimentos para encontrar la manera de producirla.

El ser humano posee una extraordinaria capacidad de adaptación al entorno, con la luz se puede idear, resaltar o crear un espacio para el trabajador, ya que la iluminación influye directamente sobre sus reacciones, por lo que, es necesario conseguir una correcta iluminación.

La luz es un fenómeno electromagnético el cual emite radiaciones que son sensibles al ojo humano. Actualmente podemos crear luz de muchas formas, ya que los avances tecnológicos han permitido que se creen diferentes tipos de luminarias.

1.5.1. La corriente eléctrica.

La corriente eléctrica es la cantidad de carga por la unidad de tiempo que atraviesa la superficie de un material. La cual se describe de la siguiente manera.

$$I = \frac{Q}{t}$$

Donde:

- **I**, es la corriente eléctrica (**Amperio**)
- **Q**, es la carga eléctrica (**Coulomb**)
- **t**, es el tiempo (Segundos)

En el sistema internacional la unidad con la que se mide la corriente eléctrica es el amperio (A), que se define como la corriente que atraviesa un área de un metro cuadrado a razón de un Coulomb por segundo. Si un material es colocado dentro de un campo eléctrico, las cargas presentes en el material comenzaran a moverse produciendo una corriente eléctrica.

La magnitud con la que esta corriente actué, dependerá de la magnitud del campo eléctrico presente. Sin embargo, el movimiento de las cargas en el material no solo dependen de una dirección del campo eléctrico, si no de la estructura interna del material. Existe, una reacción simple sugerida en el siglo pasado por el físico alemán George Simón Ohm (1789 -1854).

Dicha reacción se le conoce como la ley de Ohm, la cual, en su forma más simple asegura que para un tipo especial de materiales “la corriente que se produce en esta, en presencia de un campo eléctrico, tiene la misma dirección del campo aplicado y su magnitud es proporcional al mismo”.

Existen materiales como el aluminio, el oro, el cobre, entre otros, que presentan una buena conductividad eléctrica y se les conoce como materiales óhmicos o lineales, esto por el hecho de que, al graficar la corriente eléctrica producida en función del campo eléctrico se obtiene una línea en el plano como la que se muestra en la imagen 1.5 Grafica de la corriente por el campo eléctrico.

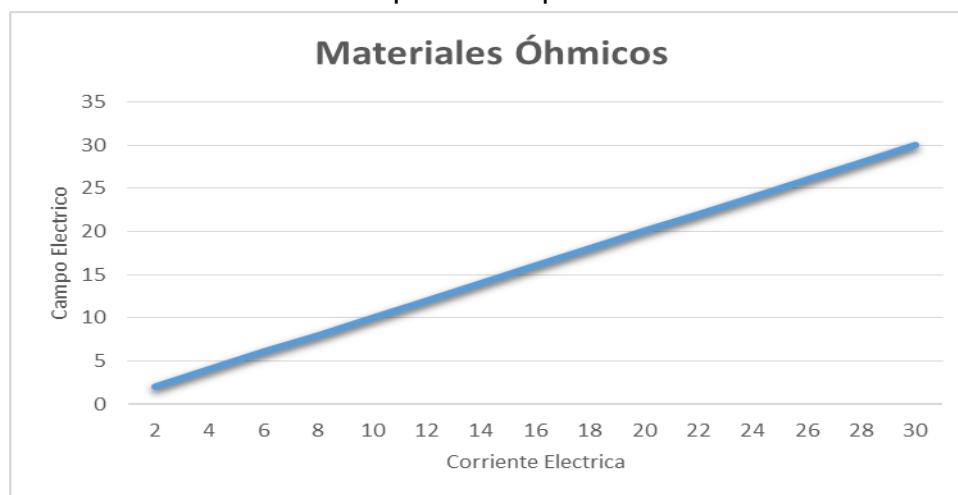


Imagen 1.5 Grafica de la corriente por el campo eléctrico. Elaboración propia.

La mayoría de los materiales son óhmicos, sin embargo esta propiedad depende de los valores que el campo eléctrico presente, de hecho, para casi todos los materiales existe un límite en el valor del campo eléctrico para el cual el material deja de ser óhmico. Incluso los semiconductores son materiales que no son Óhmicos para cualquier valor del campo eléctrico.

Actualmente la mayoría de los materiales que se ocupan pueden considerarse óhmicos, en cuyo caso para los alambres formados por estos materiales la ley de Ohm puede ser representada de la siguiente forma:

$$I = \frac{V}{R}$$

Donde:

- **I**, es la intensidad eléctrica que circula por el alambre.
- **V**, la diferencia del potencial entre los extremos del alambre.
- **R**, es la oposición que hace el alambre al paso de la corriente.

Las unidades de esta nueva magnitud se denominan Ohmios simbolizado Ω . Esta forma de la ley de Ohm es la más usual ya que su entendimiento es muy sencillo para las propiedades de los circuitos.

Con la llegada de la revolución industrial a partir del año 1780 se impulsaron las investigaciones y el conocimiento científico. Fue en esta época donde Benjamín Franklin postuló que la electricidad era un fluido único, definiendo a las sustancias como eléctricamente positivas y negativas de acuerdo con el exceso o deficiencia de este fluido. También confirmó que el rayo era efecto de la conducción eléctrica a través de su más celebre experimento, el cual consistía en hacer bajar la chispa del rayo desde una cometa elevada a gran altura, hasta una llave que él tenía a la mano. Posteriormente se estableció la distinción entre los materiales aislantes y conductores.

En 1785, el francés Charles-Augustin de Coulomb confirmó que la fuerza entre cargas eléctricas era proporcional al producto de las cargas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que separaba las cargas. Esto se conoció como la **Ley de Coulomb**.

Para 1786 el italiano Luigi Galvani hizo un descubrimiento muy importante, en el cual observó como el musculo de una rana se contraía cuando a este se le

conectaba un alambre de hierro o latón, del mismo modo que cuando se le hacía pasar una descarga eléctrica.

Galvani llegó a la conclusión que los músculos de la rana estaban cargados de electricidad positiva en el interior y negativa en el exterior de cada músculo. Pensaba que de alguna forma las patas habían producido su propia electricidad.

Alejandro Volta, profesor de la Universidad de Pavía, Italia, refutó la conclusión de Galvani, demostrando que la contracción de las patas de la rana en el experimento de Galvani, era producida por los alambres de hierro y latón que generaban electricidad al tener contacto con la humedad salina y no por la rana en sí, como se había pensado. Volta también fabricó una pila con placas de cobre y zinc superpuestas y en contacto con una solución salina esto dio como resultado una corriente eléctrica que fluía por el hilo de unión.

André-Marie Ampère dedujo las leyes de atracción y repulsión entre cables conductores realizando diversos experimentos los cuales llevaron a la invención del electroimán. Cuanto mayor era la corriente que se hacía pasar por los cables mayor era la fuerza que estos ejercían, con esto se podrían realizar mediciones eléctricas. Por los experimentos realizados y en su honor se definió la unidad de medida de la electricidad, el **Amperio**.

A inicios del 1800, Humphry Davy realizó un experimento en el cual conectó las terminales de una batería muy potente a dos varillas de carbón ligeramente separadas entre sí, obteniendo así una luz muy brillante, con esto observó que la electricidad podía usarse para producir luz; había inventado la lámpara de arco.

Fue en 1827 cuando George-Simón Ohm expuso la ley que lleva su nombre la cual constituye la relación que existe entre la corriente, el voltaje y la resistencia en un circuito eléctrico.

En estos momentos ya se utilizaban los conceptos de electricidad y magnetismo, sin embargo surgió una nueva interrogante que dio pie a un cuestionamiento muy importante, se sabía que de la corriente eléctrica se obtiene un campo magnético, pero ¿podría obtenerse corriente eléctrica a través del magnetismo?.

Esta interrogante la respondió Michael Faraday en 1831, cuando realizó un experimento en el que suponía que una corriente que circulara cerca de un circuito eléctrico induciría otra corriente en él sin embargo esto no resultó y decidió sustituir la corriente por un imán y observo que al alejarlo o acercarlo al circuito inducía en este una corriente. Concluyo que el esfuerzo generado para mover un imán podía ser aprovechado para transformarlo en corriente eléctrica, a esto se le conoce como *inducción magnética*.

Este descubrimiento llevo a la invención de la dínamo, o principio del generador, el cual se enuncia a continuación: *cuando una bobina gira dentro de un campo magnético en el cable se genera una corriente eléctrica*.

En el año 1841, el inglés James Prescott Joule enunció las leyes del desprendimiento del calor producido por el paso de una corriente eléctrica sobre un material conductor. En estas leyes se explica que pasa en un cable cuando conduce una corriente eléctrica: *éste se calienta por que la resistencia del cable, convierte parte de la energía eléctrica en calor*.

En el año 1879, Edison fabrico una lámpara eléctrica haciendo pasar una corriente por un fino filamento de carbón encerrado en una ampolla de vidrio, en el cual había hecho el vacío. El filamento se volvió incandescente e iluminó durante 44 horas

1.5.2. Corriente directa.

Corriente directa. Se refiere a corriente directa (DC por sus siglas en ingles de *Direct Current* y CD en español) a aquella que es producida por generadores, que en sus terminales mantienen el mismo tipo de electricidad sea positiva o negativa y, que al conectarlos en un circuito la corriente circula en una misma dirección.

1.5.2.1. Usos.

El 4 de septiembre de 1882 a las 3 de la tarde, Thomas Alva Edison inauguro la primera central eléctrica de la historia en Nueva York, diversas edificaciones se iluminaron de manera instantánea con 400 **bombillas** incandescentes. Para agosto de 1883, más de 430 edificios de la ciudad tenían iluminación eléctrica, alimentando aproximadamente unos 10,000 focos.

La corriente continua se utiliza en la mayoría de los aparatos de bajo voltaje y son alimentados con baterías. Existen diversas maneras de obtener corriente continua por medio de la obtención de energía eléctrica mediante celdas solares ya que el impacto al medio ambiente es nulo comparado con las soluciones convencionales.

En el siglo XX el uso de la corriente continua se fue reduciendo y aumento el uso de la corriente alterna ya que a largas distancias ofrecía menores pérdidas.

1.5.3. Corriente alterna.

La electricidad fue ganando simpatizantes a lo largo de todo el mundo sin embargo existía un problema muy evidente.

Los edificios cercanos a la central eléctrica tenían luces brillantes y constantes, no así para aquellos que se encontraban a 3 kilómetros de distancia, que se debilitaban y oscilaban.

Los primeros generadores de electricidad tenían una capacidad de producción de 500 voltios, los cuales no podían ser enviados a grandes distancias sin asumir grandes pérdidas, esto debido a que si se sobrepasaban los 500 voltios en los generadores, la energía se desperdiciaba en una lluvia de chispas. Se tuvo la necesidad de crear un generador capaz de abastecer energía a grandes distancias.

Para poder resolver este problema Nikola Tesla, un inventor serbio que trabajo para Edison desde que llego a Estados Unidos de América, estaba convencido que la solución era la corriente alterna, ya que esta podía generarse en voltajes muy altos. Sin embargo Edison creía que esta corriente era muy peligrosa y para probar esto en 1903 electrocuto al elefante Topsy matándola en menos de 1 minuto.

Para contradecir este hecho de Edison, Tesla argumento que el voltaje podría reducirse hasta alcanzar los 120 voltios que son el estándar para los hogares, utilizando transformadores escalonados.

La idea del transformador nació con la bobina de inducción, que invento Nicholas Joseph Callan, en la Universidad de Maynooth, en Irlanda, descubrió que mientras más espirales se tengan en el embobinado secundario con relación al primario,

mayor será el aumento en el voltaje eléctrico. Con base a estos conocimientos en 1886 fue puesto en operación el primer sistema de distribución de la energía eléctrica basado en corriente alterna en Great Barrington, Massachusetts, Estados Unidos.

Todo esto llevo al gran auge de la energía eléctrica, por la disminución de los costos de distribución gracias al uso de la corriente alterna, la electricidad llegaba cada vez más lejos, 80,000 voltios podían recorrer desde 500 hasta 1,000 kilómetros. Todo esto favoreció tanto a la electricidad que en la industria fueran sustituidas las máquinas de vapor por motores que funcionaban con electricidad los cuales eran más rápidos y proporcionaban un aspecto limpio y ordenado a las fábricas.

1.6. Producción de energía eléctrica.

En la actualidad se tienen diversas formas de generar electricidad, de acuerdo a las centrales de producción que pueden emplear tecnología térmica, nuclear, solar, hidráulica, eólica, etc. Estos sistemas como cualquier otro no son 100% eficientes ya que la energía suministrada para hacerlos funcionar tiene una pérdida del 20% aproximadamente.

De acuerdo a las distancias que tiene que recorrer la energía eléctrica también existen perdidas que se deben de considerar para poder ofrecer un suministro confiable, por ejemplo desde la central de distribución a los consumidores finales la energía pierde un 3% por cada 1,000 km recorridos.

Antes de llegar al consumidor final, sea industria u hogar, se disminuye el voltaje de la electricidad, ya que, de no ser así quemaría las máquinas y electrodomésticos. Esta reducción se realiza en las subestaciones o estaciones transformadoras.

En 1879 llego a México la primera planta generadora estableciéndose en León, Guanajuato, para uso de la fábrica textil “La Americana”. Para 1889 la primera planta hidroeléctrica comenzaba sus operaciones en Batopilas (Chihuahua) y sus redes de distribución alcanzaron mercados urbanos y comerciales.

A principios del siglo XX en México se tenía una capacidad de 31 MW, los cuales pertenecían a empresas privadas. En 1910 se tenía una producción de 50 MW,

siendo el 80% generado por *The Mexican Light and Power Company*, en la planta hidroeléctrica Necaxa, en Puebla.

Actualmente México cuenta con distintas plantas generadoras de energía eléctrica, de las cuales en la tabla 1.3 Capacidad efectiva de Generación, se aprecian los mega watts generados durante el año 2016.

CAPACIDAD EFECTIVA DE GENERACIÓN ANUAL 2016 (MEGAWATTS)	
Hidroeléctrica	12,092
Termoeléctrica **	14,388
Ciclo Combinado	8,179
Ciclo Combinado - PEE's ***	12,340
Carboeléctrica	5,378
Nucleoeléctrica	1,608
Geotermoeléctrica	874
Eoloeléctrica	86
Eoloeléctrica - PEE's ***	613
Fotovoltaica	6
Total	55,564

Fuente: (Secretaría de Energías, s.f.)

Tabla 1.3 Capacidad Efectiva de Generación del sector eléctrico nacional 2016. Elaboración propia.

1.7. Energía eléctrica convencional y no convencional

Las energías convencionales son aquellas energías que se utilizan comúnmente para la generación de energía eléctrica. Entre estas energías se encuentra la energía hidráulica, geotérmica, termoeléctrica y nuclear.

Dentro de las energías no convencionales, se encuentran aquellas que no son de uso común, ya que los costos de producción así como de mantenimiento son elevados, además de que requieren de condiciones específicas para su funcionamiento como en el caso de la fotovoltaica.

En la Tabla 1.4 se definen las características de algunos tipos de Generación de energía convencional y no convencional.

Tipo de Fuente	Características
Planta Hidroeléctrica	Ocupa la energía potencial del agua, la cual se encuentra depositada en una presa y mediante canales crea el movimiento de turbinas las cuales generaran la electricidad en alternadores.
Planta Geotérmica	El funcionamiento de este tipo de planta requiere de yacimientos de agua, que ha quedado atrapada a profundidades de aproximadamente 200 y 3000 metros, teniendo una temperatura en ocasiones mayor a los 350° C, de donde se extrae la mezcla de agua y vapor, el cual impulsa el movimiento de un generador.
Planta Termoeléctrica	Este tipo de planta realiza la combustión de diversos combustibles fósiles como el petróleo, gas natural o carbón. La energía generada por la combustión de estas sustancias es aprovechada para el movimiento de alternadores y producir energía eléctrica.
Planta Nuclear	Su funcionamiento es similar al de las plantas termoeléctricas sin embargo para calentar el agua no se ocupan combustibles fósiles sino se hace mediante un proceso químico conocido como fisión nuclear. Esta consiste en bombardear un núcleo pesado con neutrones provocando así su inestabilidad para luego descomponerse en dos núcleos liberando una gran cantidad de energía.
Energía Eólica	Se obtiene a partir del aprovechamiento del movimiento que genera el viento cuando pasa por unas hélices que a su vez producen el movimiento de una turbina para la generación de energía eléctrica.
Energía Biomasa	Proviene del material ya sea de origen animal, vegetal, humano o basura industrial. El cual es utilizado como combustible que poco a poco se va quemando generando calor que puede ser utilizado como calefacción o para la generación de energía eléctrica.
Energía Mareomotriz	Se aprovecha la energía cinética del mar para mover una turbina que a su vez genera energía eléctrica, sin embargo este tipo de energía presenta grandes desventajas, ya que su inversión como su mantenimiento son muy altos, y se requieren condiciones meteorológicas especiales.
Energía Solar	Se origina a partir de una celda fotovoltaica la cual recibe la radiación proveniente del sol y la transforma en energía eléctrica a través de un proceso físico. En la actualidad este tipo de energía es la más amigable con el ambiente ya que no emite CO2 como las energías convencionales y es más rentable siendo ya de uso doméstico.

Fuente: (Gómez)

Tabla 1.4 Fuentes de energía convencionales y no convencionales. Elaboración propia

2.1. Que son las luminarias

La Norma Oficial Mexicana NOM-025-STPS-2008, que habla de las condiciones de iluminación en los centros de trabajo, definen las luminarias como “*equipo de iluminación que distribuye, filtra o controla la luz emitida por una lámpara o lámparas, que incluye todos los accesorios necesarios para fijar, proteger y operar esas lámparas, y los necesarios para conectarse al circuito de utilización*”⁴. Estos dispositivos tienen vital importancia en la actualidad ya que su correcto funcionamiento permite a las industrias continuar operando de manera óptima por la noche.

Las principales funciones de las luminarias son:

- Redistribuir la luz emitida por la lámpara en la dirección elegida, aprovechando al máximo la luz.
- Reducir al mínimo el deslumbramiento de la lámpara.
- Su apariencia debe ser agradable a la vista y en ocasiones esta ayuda a la decoración.
- Protege a la lámpara del medio ambiente y proporciona la conexión eléctrica.

La correcta utilización de la luminaria permite emitir adecuadamente la luz, encubriendo la lámpara del ángulo de visión evitando así deslumbramientos.

2.2. Clasificación de las luminarias.

Para poder seleccionar una luminaria correctamente se debe considerar el ambiente en el que va a trabajar ya que existen diversos tipos de luminarias de acuerdo al uso que se le darán.

Existe una clasificación a considerar para la correcta selección de la luminaria a continuación se mencionan algunas:

- Según la distribución luminosa.

⁴ Secretaría de Trabajo y Prevención Social, NORMA Oficial Mexicana NOM-025-STPS-2008, Condiciones de iluminación en los centros de trabajo, <http://www.stps.gob.mx/bp/secciones/dgsst/normatividad/normas/Nom-025.pdf>

- Según su aplicación.
- Según el grado de protección.
- De acuerdo al grado de seguridad eléctrica.

2.2.1. Distribución luminosa.

Se refiere a la distribución del flujo luminoso en las distintas direcciones que la luminaria refleja la luz emita por la lámpara que contiene. La CIE reconoce distintos tipos de distribución luminosa los cuales se mencionan a continuación:

- **Iluminación Directa.** Las luminarias con este tipo de distribución emiten el haz de luz hacia abajo con una proporción del 90% al 100%. Su haz puede ser abierto o estrecho generando así una alta eficiencia, sin embargo presenta una gran desventaja pues puede generar deslumbramiento.
- **Iluminación Semi-Directa.** Esta distribución brinda entre el 60% y 90% del flujo luminoso hacia abajo y el restante hacia la parte superior del plano horizontal de la luminaria. Se usan comúnmente suspendidas y deben permanecer a una cierta distancia del techo para evitar manchas luminosas
- **Iluminación General Difusa.** Produce un flujo luminoso equivalente en ambas direcciones, hacia arriba como hacia abajo, entre el 40% y 60%. Su uso es limitado por la baja eficiencia que tiene, sin embargo en instalaciones con una reflectancia alta puede ser aprovechada, siempre evitando el deslumbramiento.
- **Iluminación Semi-Indirecta.** Produce un flujo luminoso entre el 60% y 90%, el cual se dirige hacia arriba, sin embargo, una fracción del haz luminoso se envía al hemisferio inferior de la luminaria causando equivalencia en el flujo luminoso del cielo raso y la misma luminaria. Se debe de cuidar la altura y el deslumbramiento que esta distribución pudiera generar.
- **Iluminación Indirecta.** El flujo luminoso es enviado hacia arriba aprovechando la reflectancia que tenga el cielo raso o paredes superiores, siendo estos lo más claros posibles. Para evitar manchas de luz se debe cuidar la altura de montaje. Este sistema es de menor eficiencia que los anteriores.

En la tabla 2.1 Ventajas y desventajas de los tipos de distribución luminosa, se mencionan las características de cada tipo de distribución luminosa.

Tipo de Distribución	Ventajas	Desventajas
Directa	Es de mayor eficiencia	Puede generar deslumbramiento
Semi-Directa	Es posible aprovechar el haz emitido hacia arriba	Puede generar manchas luminosas
General Difusa	Ideal para locales con reflectancia alta	Bajo rendimiento
Semi-Indirecta	Luminancia equivalente de luminaria y cielo raso	Puede generar deslumbramiento
Indirecta	Aprovechamiento de un cielo raso y colores claros del local.	Es de bajo rendimiento, generación de manchas

Fuente: (Carlos, s.f.)

Tabla 2.1 Ventajas y desventajas de los tipos de distribución luminosa. Elaboración propia.

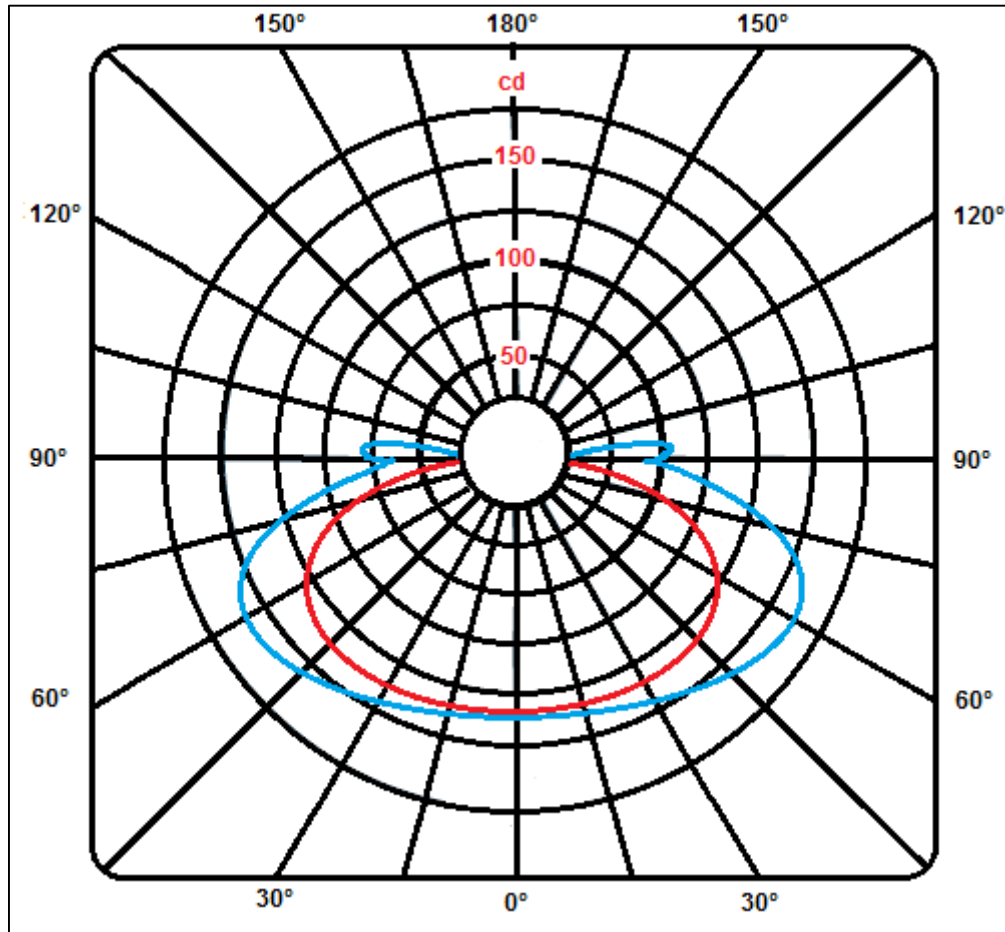
2.2.2. Aplicación.

Según el uso que se dé a las luminarias de interiores, estas se clasifican según el tipo de fuente usada, montaje y construcción en iluminación industrial, comercial y/u oficinas y residencial. A continuación se describen las dos más importantes.

2.2.2.1. Iluminación industrial.

Para una correcta iluminación en un área industrial se debe considerar el ambiente en que se colocara pues de esto dependerá el montaje de la misma, si se requiere de una protección contra el polvo y la humedad existen luminarias herméticas, permitiendo así periodos más prolongados en su mantenimiento. Sin embargo si las instalaciones posibilitan un mantenimiento más recurrente, se pueden ocupar luminarias con lámparas fluorescentes lineales, que proporcionan una distribución general difusa y no requiere una protección adicional.

Comúnmente estas luminarias se instalan suspendidas o fijas al techo ya sea cerradas o abiertas, tienen componentes como reflectores y refractores que aportan distintos tipos de distribución luminosa como lo muestra la imagen 2.1. Curva de distribución luminosa para lámpara de alta densidad.



Fuente: (Carlos, s.f.)

Imagen 2.1 Curva de distribución luminosa para lámpara de alta densidad. Elaboración propia.

2.2.2.2. Iluminación comercial, de oficinas y de residencias.

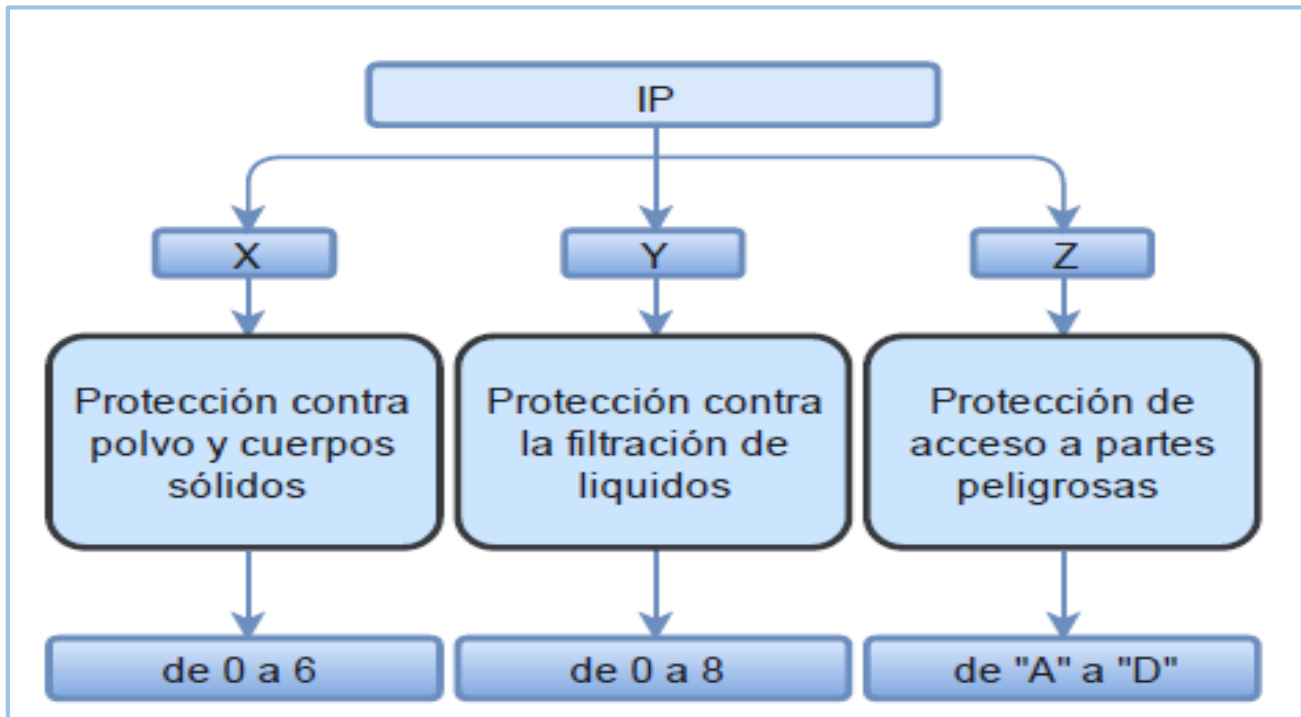
Para este tipo de recintos las luminarias que se ocupan son similares por lo que la clasificación se tomara de la siguiente manera:

- **Luminarias con iluminación localizada.** Son de lámparas fluorescentes de bajo voltaje, se les puede tener fijas o movibles, dependiendo del lugar donde se colocaran.
- **Luminarias tipo down light, up light o up-down light.** Estas luminarias se clasifican principalmente por el lugar a donde dirigen la luz emitida, ya sea hacia abajo, hacia arriba o de forma mixta de acuerdo al recinto en donde sean colocadas.

2.2.3. Grado de protección.



Según el ambiente en el que trabajen las luminarias se debe tener en consideración alguna protección mecánica que tienen que poseer. Existen normas que regulan la protección de objetos contra polvo o líquidos, siendo una de ellas la mexicana **NMX-J-529-ANCE-2012** y la internacional **IEC 60529**, estas denominan las letras **IP** además de 2 números independientes. El primer número, que va del 0 (para nula protección) al 6 (para máxima protección) señala la capacidad para impedir el paso de polvo y cuerpos sólidos al interior de la luminaria. Para el segundo número el rango es del 0 al 8 el cual proporciona información sobre la resistencia a la invasión de líquidos. Algunos fabricantes proveen de un tercer carácter para esta clasificación el cual indica la protección que tienen a la entrada a partes peligrosas.

Dicha clasificación se describe en el esquema 2.1 Nomenclatura para grado de protección y en las tablas 2.2 Grado de protección de cuerpos sólidos, 2.3 Grado de protección contra líquidos y 2.4 Protección adicionada por el los últimos dígitos.










Fuente: (Instituto Nacional de Tecnologías Educativas y de Formación del Profesorado)

Esquema 2.1 Nomenclatura para grado de protección. Elaboración propia.

Primer dígito	Símbolo	Denominación	Comentarios
0	N/A	Protección nula	Sin ninguna protección con riesgos altos de accidentes en la manipulación.
1	N/A	Protegida contra el ingreso de objetos sólidos mayores a 50 mm	Acceso restringido a una mano u objetos más pequeños
2	N/A	Protegido contra el ingreso de objetos mayores de 12 mm	Acceso restringido a un dedo, mayor protección
3	N/A	Protegida contra el ingreso de objetos mayores a 2.5 mm	Por ejemplo una herramienta
4	N/A	Protegida contra el ingreso de objetos mayores a 1.0 mm	Acceso a cables o alambres
5		Anti polvo	
6		Hermética al polvo	

Fuente: (Instituto Nacional de Tecnologías Educativas y de Formación del Profesorado)

Tabla 2.2 Grado de protección contra el ingreso de cuerpos sólidos. Elaboración propia.

Segundo dígito	Símbolo	Denominación	Comentario
0		No protegida	Sin protección de filtración de líquidos
1		Contra goteo	Si se derrama agua verticalmente no provoca daño
2		Contra goteo con inclinación hasta 15 grados	Protección al goteo de agua con inclinación menor o igual a 15 grados
3		Contra lluvia	Protege contra lluvia con un ángulo menor o igual a 60 grados
4		Contra salpicaduras	Cualquier salpicadura no provoca daño
5		Contra chorros de agua	Si se rosea agua con una manguera no provoca daños
7		Contra inmersión	Pequeñas inmersiones de agua a determinada presión no provoca daño
8		Contra sumersión	Luminaria herméticamente sellada, contra la filtración total de agua.

Fuente: (Instituto Nacional de Tecnologías Educativas y de Formación del Profesorado)

Tabla 2.3 Grado de protección contra el ingreso de líquidos. Elaboración propia.





Letra	Accesibilidad a partes peligrosas
A	Introducción de partes del cuerpo humano como es la mano, pero sin manipulación total
B	Los dedos u objetos que no excedan una longitud de 8 cm
C	Protección contra acceso a herramientas o alambres con espesores superior a 0.25 cm
D	Alambres con espesor a 0.011cm

Fuente: (Instituto Nacional de Tecnologías Educativas y de Formación del Profesorado)

Tabla 2.4 Protección proporcionada por las letras adicionales. Elaboración propia.

2.2.4. Grado de seguridad eléctrica.

La *Comisión Electrotécnica Internacional (IEC)* por sus siglas en inglés) divide el grado de protección eléctrica en 4 niveles, los cuales se mencionan en la tabla 2.5 Grado de protección eléctrica.

Clase	Símbolo	Protección eléctrica
0		Aislamiento normal pero sin toma de tierra
I		Aislamiento normal con toma de tierra
II		Doble aislamiento sin toma de tierra.
III		Luminarias para conectar a circuitos de muy baja tensión.

Fuente: (Sistemas electrotécnicos y automatizados , 2013)

Tabla 2.5 Grado de protección eléctrica. Elaboración propia.

2.3. Criterios para la selección de luminarias según factores de eficiencia.

Además de los criterios ya mencionados para la selección de luminarias, se debe considerar otros factores que influyen directamente en la eficiencia que obtendremos de iluminación los cuales se mencionan a continuación:

- **Rendimiento Luminoso.** Se obtiene midiendo la iluminación que proporciona la luminaria en condiciones normales de trabajo. Para poder obtener una correcta lectura se debe de considerar que el rendimiento que ofrece una lámpara desnuda, no es el mismo cuando a esta se le cubre con un material reflector, el cual enviara una mayor iluminación al que se

considera el **plano de trabajo**, obteniendo así una pérdida en el rendimiento total, pero una ganancia en el rendimiento útil.

- **Factor de atenuación.** Se refiere a la disminución de la intensidad de la iluminación al paso de una cierta distancia, el cual viene dado por la siguiente fórmula.

- **Factor de atenuación:** $\frac{E_1}{E_2}$

Donde:

- **E1**, plano iluminado.
- **E2**, iluminancia media horizontal.
- **Factor de utilización.** Para la medición de este factor se debe tener en consideración la geometría del área, el color y reflectancia de sus paredes, ya que, de esto, se puede obtener un ahorro de energía. Se obtiene de la relación de la iluminancia media en el plano de trabajo respecto al flujo luminoso instalado por metro cuadrado.
- **Factor de mantenimiento.** Se debe poner especial importancia en este factor, ya que de este depende el rendimiento que obtendremos de la luminaria. Con el paso del tiempo el polvo así como la suciedad se acumulan reduciendo significativamente el flujo luminoso. Se debe considerar, para la planeación del mantenimiento, que las luminarias sean de fácil acceso, alternativas de montaje, limpieza, entre otros.

2.3.1. Análisis de factores para la especificación del diseño de iluminación en el área de producción.

La principal función de la iluminación en un área de trabajo es el poder apreciar visiblemente todo lo que rodea nuestro entorno como son: las herramientas de trabajo, objetos, señalamientos, formas y colores, sin olvidar que esta no debe causar cansancio visual.

2.3.1.1. Nivel lumínico.

Uno de los factores más importantes a considerar es el nivel lumínico, el cual es medido en **lux** unidad derivada del Sistema Internacional de Unidades. Se obtiene de la medición de la iluminación que incide en una superficie, esto de acuerdo a la relación de lúmenes por metro cuadrado de donde se obtienen los lux.

Para obtener una lectura correcta del nivel lumínico, se tiene que hacer una medición después de aproximadamente dos horas de haber encendido la luminaria, con el fin de que se elimine el parpadeo que tienen las lámparas permitiendo así mejores resultados.

Las siguientes tablas 2.6 niveles de iluminación (lux). Norma Americana, 2.7 Niveles de iluminación para tareas visuales y área de trabajo y 2.8 Niveles máximos permisibles del factor de reflexión, muestran los niveles de iluminación que deben tener ciertas áreas de producción, para asegurar que el ojo humano no se fuerce al apreciar las diferentes características de los materiales con los que labora, evitando con esto daños en la vista de los operadores.

Características	Descripción	Nivel lumínico
Tareas de muy difícil visión	Trabajos de mucha precisión (mecánica, relojería, armado eléctrico, etc.)	10,000 a 20,000 lux
Tareas de difícil visión	Trabajos de precisión (contabilidad, dibujo, lectura o escritura continua, etc.)	5,000 a 10,000 lux
Tareas de más fácil visión	Trabajos prolongados, oficinas, colegios, talleres, comercio, etc.	1,000 a 5,000 lux
Tareas de visión ordinaria	Operación de máquinas automáticas, que requieren solo visión intermitente.	500 a 1,000 lux
Tareas de visión ocasional	Lavanderías, depósitos, recepción, bodegas de materiales pequeños, etc.	200 a 300 lux
Tareas de visión general	Corredores, bodegas de materiales gruesos, escaleras, etc.	100 a 200 lux

Fuente: (Fink & Beaty, 1995)

Tabla 2.6 Niveles de iluminación (lux). Elaboración propia.

Tarea visual del puesto de trabajo	Área de trabajo	Niveles mínimos de iluminación en 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.	50
En interiores.	Áreas de circulación y pasillos: Salas de espera, salas de descanso, cuartos de almacén, plataformas.	100
Requerimiento visual simple: Inspección visual, recuento de piezas, trabajo en banco.	Requerimiento visual simple: inspección visual, recuento de piezas, trabajo en banco y máquina.	200
Distinción moderada de detalles: Ensamble simple, trabajo medio en banco y máquina, inspección simple, empaque.	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.	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 equipos 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.	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 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

Fuente: (Secretaría del Trabajo y Previsión Social, 2008)

Tabla 2.7 Niveles de iluminación para tareas visuales y área de trabajo.

Concepto	Niveles máximos permisibles de reflexión, Kf
Paredes	60%
Plano de trabajo	50%

Fuente: (Secretaría del Trabajo y Previsión Social, 2008)

Tabla 2.8 Niveles máximos permisibles del factor de reflexión

2.3.1.2. Uniformidad.

Otra característica que debe de tener una correcta iluminación es el factor de uniformidad, el cual nos permite conocer que tan balanceada esta la iluminación, previniendo los contrastes muy fuertes.

Existen dos normas que contemplan esta característica, la norma americana y la alemana, según estas normas, en la altura que están suspendidas las luminarias y la distribución que presenten en el área total de trabajo, afecta directamente la uniformidad, estas se observan en la tabla 2.9 Altura de suspensión de lámparas para Latinoamérica.

Norma	Altura de suspensión en metros
Alemana	1.5 a 2.5
Americana	2 a 3

Fuente: Propia

Tabla 2.9 Altura de suspensión de lámparas

2.3.1.3. Ausencia de deslumbramiento.

Se le conoce como **deslumbramiento** al fenómeno que causa **fatiga** visual o empobrecimiento en la capacidad para diferenciar las características de los objetos, esto principalmente sucede, por una incorrecta distribución de **luminancias**. Ocurre cuando un cuerpo que emite luz es visto de manera directa, o cuando la luz es reflejada por superficies con gran reflectancia como metal pulido.

Evitar el deslumbramiento es parte esencial en el diseño de iluminación en el área de trabajo, pues puede provocar inseguridad para laborar, riesgos de accidente, molestias, entre otros. Existen lámparas con difusores para evitar, con estos, el deslumbramiento, otra manera de contrarrestarlo, es instalando la luminaria de tal manera que no se encuentre en el ángulo de visión de los operadores.

A continuación se indican los elementos a tener en cuenta para evitar el deslumbramiento.

- **Altura de montaje.** Mientras la fuente que emite la luz, está más alejada al objeto a iluminar, el deslumbramiento será menor.
- **Posición de la fuente.** La luminaria debe encontrarse fuera del campo de visión de los operadores, para que no afecte su trabajo
- **Contraste.** Debe de estar balanceado entre la fuente de luz y sus alrededores.
- **Luminancia.** Respecto a la fuente y el área iluminada

El color de la luz es también un factor importante, se debe tener en cuenta que mientras más se parezca a la luz natural mejor será la iluminación.

2.4. Métodos de diseño.

Para la instalación de un correcto sistema de iluminación se pueden utilizar distintos métodos, sin embargo algunos de estos métodos ofrecen mejores resultados que otros, ya que se adecuan a las diversas instalaciones de la industria. A continuación se mencionan los más importantes.

2.4.1. Punto por punto.

La aplicación de este método, depende directamente de la medida real de luz que se produce en un punto específico de la superficie alumbrada. Es importante saber cómo distribuye el flujo luminoso la luminaria, (**curva de distribución luminosa**) y cerciorarse que se cumpla la **Ley inversa de los cuadrados** la cual nos dice que la intensidad que emite la fuente se verá disminuida de manera inversamente proporcional al cuadrado de la distancia.

Las ventajas de este método es que permiten conocer con exactitud la distribución luminosa en áreas de alumbrado general o individual, sin embargo una gran desventaja es que se considera uno de los métodos más largos y monótonos ya que se necesita de una gran cantidad de cálculos y consideraciones.

2.4.2. Curvas isolux.

Este método se ocupa cuando la altura de montaje de las luminarias es de 1 metro, sin embargo también existen **curvas isolux** ya calculadas para diferentes alturas de montaje.

2.4.3. Cavidad zonal.

Se considera a este método como el más exacto, esto principalmente porque divide el área de estudio en tres cavidades: *cielorraso*, *local* y *piso*. De esta manera se asegura de tener una mayor precisión en los cálculos.

Los métodos, punto por punto y curvas isolux, se utilizan para la iluminación de exteriores y los métodos factor de utilización y cavidad zonal para la iluminación de interiores.

2.5. Evaluación de los niveles de iluminación.

El conocer el estado actual de la iluminación es necesario para la toma de decisiones, algunas veces solo se requiere proporcionar el mantenimiento a las luminarias que hacer el cambio completo de la instalación, sin embargo, siguiendo una metodología se puede obtener la información suficiente para tomar esta decisión.

- Se debe declarar las áreas en las que se tiene un déficit de iluminación, esto determinara los lugares a los que se deben medir los niveles de iluminación.
- Si la principal fuente de iluminación es artificial se deben satisfacer los siguientes requerimientos:
 - ✓ Se deben encender las lámparas con 20 min de anticipación para que la luz se normalice. Algunos tipos de lámparas requieren de un periodo mayor para poder realizar la medición.
 - ✓ Si la instalación es nueva se debe de dar un periodo de operación de aproximadamente 100 horas antes de efectuar la lectura.

- En caso de que la principal fuente de iluminación sea la natural entonces, para poder tomar las lecturas en las áreas de trabajo se debe considerar lo siguiente:
 - ✓ Se deberá realizar una medición cuando la luz natural no intervenga en el área de trabajo, sin considerar las jornadas de trabajo.
 - ✓ Cuando la luz natural interviene, se deberán realizar tres mediciones en una jornada de trabajo, la cual mostrara las limitaciones de la iluminación, de acuerdo a lo siguiente:
 - En la primer hora del turno
 - A la mitad del turno
 - En la última hora del turno
 - ✓ Si se presentan condiciones críticas cuando la luz natural influye se deberán tomar mediciones en cada ubicación y en el horario en que se presenten estas condiciones.

2.6. Ubicación de los puntos de medición.

La selección de los lugares donde se tomaran las lecturas, debe realizarse de acuerdo a las características del lugar de trabajo, estos lugares detallaran la situación en que se encuentra la iluminación, ofreciendo datos más confiables para la toma de decisiones. Se deben considerar los siguientes puntos para elegir estos lugares.

- El proceso de producción.
- La clasificación de las áreas y puestos de trabajo.
- El nivel de iluminación requerido.
- La ubicación de las luminarias respecto a los planos de trabajo.
- El cálculo del índice de áreas correspondiente a cada una de las áreas.
- La posición de la maquinaria y equipo.
- Los riesgos informados a los trabajadores.

Para conocer cuántas áreas se tienen que medir, nos podemos guiar con el índice de área (**IC**) el cual se obtiene de la siguiente manera:

$$IC = \frac{a \cdot b}{h(a + b)}$$

Donde:

- **IC**, índice del área
- **a**, largo del área (m)
- **b**, ancho del área (m)
- **h**, altura de la luminancia respecto al plano de trabajo (m)

De acuerdo a los valores que resulten de esta fórmula se podrá conocer cuántas áreas de medición tendremos, de acuerdo a la tabla 2.10 relación entre el índice de Área y el número de Zonas de Medición

Índice de área	A) Número mínimo de zonas a evaluar	B) Numero de zonas a considerar por la limitación
IC < 1	4	6
1 ≤ IC < 2	9	12
2 ≤ IC < 3	16	20
3 ≤ IC	25	30

Fuente: (Secretaría del Trabajo y Previsión Social, 2008)

Tabla 2.10 Relación entre el Índice de Área y el número de Zonas de Medición

Sin embargo otro elemento a considerar para saber las ubicaciones a medir, es la cantidad de trabajadores que se encuentran en las zonas, ya que si la superficie total se divide en 9, pero de estas solo 4 tienen trabajadores, no sería conveniente hacer la medición en las demás zonas. Para la medición se debe tomar el punto central de la zona para la medición.

La columna B nos muestra las zonas a medir en caso de que el punto de medición concuerde con los puntos focales de la luminaria.

2.7. Determinación del sistema de iluminación.

En el diseño de un sistema de iluminación, es importante tener en cuenta ciertos criterios que son fundamentales para poder evaluar y determinar el correcto nivel

de iluminación y distribución de las luminarias de un área determinada, según el uso del local.

No obstante, es de vital importancia que esta distribución sea lo más correcta posible, y que cumpla con los criterios requeridos para la determinación del mismo, ya que de ella dependerá el cómo afectan directamente a las personas que realicen actividades dentro de la misma.

A continuación se detallan los criterios a analizar en el área de estudio para el diseño de un correcto sistema de iluminación:

- **Dimensiones.** Se requiere conocer las longitudes del área de trabajo (largo, alto y ancho) y conocer qué tipo de geometría tiene el edificio con respecto a las paredes y el techo, si presenta forma triangular, rectangular, de cúpula, domo, etc.
- **Tipo de espacio y actividad.** Esta información definirá el nivel de iluminancia promedio con que debe contar la edificación.
- **Plano de trabajo.** Se refiere a la altura con respecto al suelo en la cual se realizaran las actividades laborales.
- **Lámparas y luminarias.** Este factor requiere de una especial atención ya que la correcta selección del conjunto lámpara-luminaria proveerá del nivel de iluminancia promedio requerido. Se deberá de considerar características tales como, flujo luminoso, la potencia requerida, el tipo de montaje y el diagrama polar de distribución que entrega el fabricante.
- **Disposición de luminarias.** Se deberá establecer el lugar donde se instalaran las luminarias así como la distancia que habrá entre ellas y las distancias entre luminaria y paredes.
- **Mantenimiento.** Las condiciones a las que se expondrá la luminaria afectan directamente en su funcionamiento por esta razón es importante saber cada cuanto tiempo se revisara el estado de las luminarias.
- **Altura de montaje.** Este dato depende de qué tipo de luminarias se escojan para la instalación, ya que estas pueden ser instaladas de manera suspendida, adosada o empotrada en paredes.

- **Reflectancia efectiva de la superficie.** Para obtener la reflectancia de una superficie se necesita conocer el color, el tono, el material y la textura. Estos valores se muestran en la tabla 2.11 de este documento.

REFLECTANCIAS EFECTIVAS PARA CIERTOS COLORES Y TEXTURAS			
COLOR	REFL. %	MATERIAL	REFL%
Blanco	70-75	Revoque Claro	35-55
Crema Claro	70-80	Revoque Oscuro	20-30
Amarillo Claro	50-70	Hormigón Claro	30-50
Verde Claro	45-70	Hormigón Oscuro	15-25
Gris Claro	45-70	Ladrillo Claro	30-40
Celeste Claro	50-70	Ladrillo Oscuro	15-25
Rosa Claro	45-70	Mármol Blanco	60-70
Marrón Claro	30-50	Granito	15-25
Negro	4-6	Madera Clara	30-50
Gris Oscuro	10-20	Madera Oscura	10-25
Amarillo Oscuro	40-50	Vidrio Plateado	80-90
Verde Oscuro	10-20	Aluminio Mate	55-60
Azul Oscuro	10-20	Aluminio Pulido	80-90
Rojo Oscuro	10-20	Acero Pulido	55-65

Fuente: (Carlos, s.f.)

Tabla 2.11 Reflectancia efectiva para colores y texturas (Valores en %). Elaboración propia.

2.8. Diseño de un sistema de iluminación interior

Como ya se ha mencionado anteriormente, existen diversas metodologías para el diseño de un sistema de iluminación interior, sin embargo, en esta ocasión, haremos mención del más usado por ser el más completo:

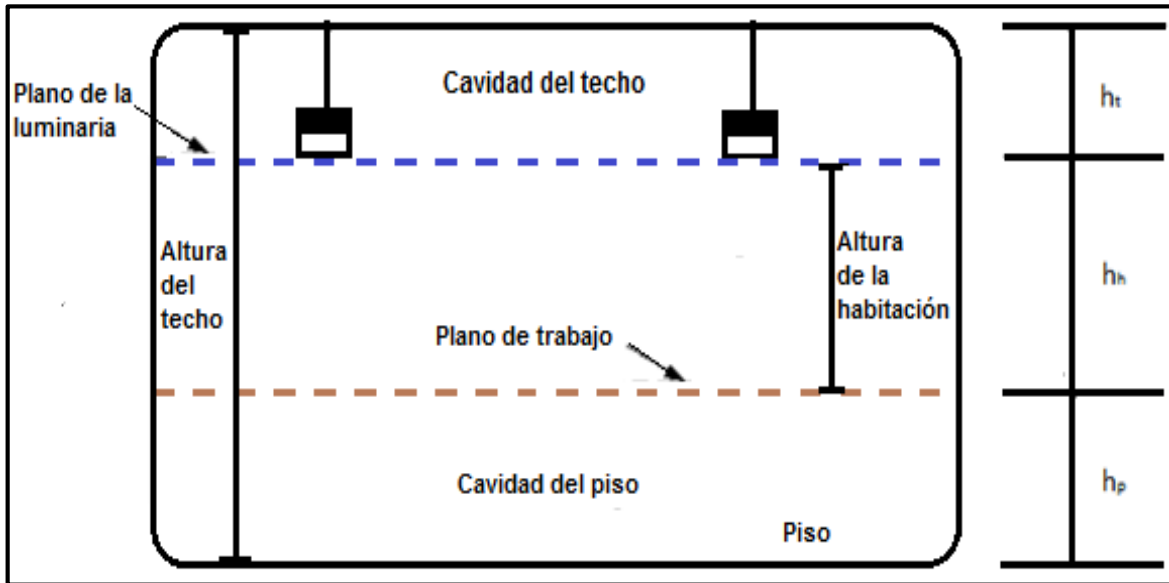
✓ *Método de las cavidades zonales,*

En este método, se toman en cuenta cada una de las áreas fundamentales que determinan los lúmenes precisos con los que debe contar el espacio a iluminar, así como la actividad a realizar entre otras, que permiten enfocarnos en iluminar las áreas de trabajo.

A continuación se expone el Método de la Cavity Zonal para su análisis el cual, posteriormente nos apoyará para la determinación del sistema de iluminación así como del cumplimiento de los objetivos de este trabajo.

Recapitulando la información, este método estudia el área de trabajo dividiéndola en tres cavidades, teniendo como frontera la altura del plano de trabajo y la altura

de montaje de las luminarias como se puede observar en la imagen 2.2 Cavidades del local.



Elaboración: propia

Imagen 2.2 Cavidades del local

Para la utilización de este método, es necesario satisfacer dos objetivos primordiales que garantizaran la eficiencia del sistema, estos objetivos se describen a continuación.

- **Iluminancia promedio (I_x).** Es el nivel de iluminancia que se quiere alcanzar en el área de trabajo, estos valores están determinados por la CIE según el tipo de recinto y actividad, en la tabla 2.12 Niveles de iluminación promedio en áreas de evaluación, se mencionan algunos de ellos.

• Tipo de recinto y Actividad	UGR _L	Iluminancia (lx)		
		Min.	Medio	Máx.
Áreas Generales en las edificaciones.	28	50	100	150
Áreas de circulación, corredores, escaleras, vestidores, almacenes, bodegas	25	100	150	200
Taller de ensamble.				
Trabajo pesado, montaje de maquinaria pesada	25	200	300	500
Trabajo intermedio, ensamble de motores,	22	300	500	750
Trabajo fino, ensamble de máquinas electrónicas y oficina	19	500	750	1000
Trabajo muy fino, ensamble de instrumentos	16	1000	1500	200
Trabajo en hierro y acero				
Plantas de producción que no requieren intervención manual	-	50	100	150
Plantas de producción que requieren intervención ocasional	28	100	150	250
Puestos de trabajo permanentes en plantas de producción	25	200	300	500
Plataformas de control e inspección	22	300	500	750
Taller de mecánica y de ajuste				
Trabajo ocasional	25	150	200	300
Trabajo basto en banca y maquinado, soldadura	22	200	300	500
Maquinado y trabajo de media precisión en banco.	22	300	500	750
Maquinado y trabajo fino en banco.	19	500	750	1000
Trabajo muy fino, calibración e inspección.	19	1000	1500	2000
Oficinas				
Oficinas de tipo general, mecanografía y computación	19	300	500	750
Oficinas abiertas	19	500	750	1000
Oficinas de dibujo	16	500	750	1000
Almacenes <i><u>Iluminación en general</u></i>				
En grandes centros comerciales	19	500	750	1000
Ubicados en cualquier parte	22	300	500	750
Supermercados	19	500	750	1000

Fuente: (Ministerio de Comercio Industria y Turismo, 2010)

Tabla 2.12 Niveles de iluminación promedio en áreas de evaluación. Elaboración Propia

- **Valor de Eficiencia Energética de la Instalación (VEEI).** Determina cuantos luxes se obtienen con la potencia eléctrica de las lámparas. La meta es producir la mayor cantidad de luxes con la menor energía eléctrica.

La CIE establece valores límite para la eficiencia energética en los interiores de las edificaciones, estos valores se muestran en la tabla 2.13 valores de VEEI máximos permitidos.

VALORES DE VEEI MÁXIMOS PERMITIDOS		
Grupo	Actividades de la zona	VEEI Máximo
Zonas de baja importancia lumínica.	Administrativa en general	3.5
	Andenes de estaciones de transporte	3.5
	Salas de diagnóstico	3.5
	Pabellones de exposición o ferias	3.5
	Aulas y laboratorios	4
	Habitaciones del hospital	4.5
	Zonas comunes	4.5
	Almacenes, archivos, salas técnicas y cocinas	5
	Parqueaderos	5
	Zonas deportivas	5
Zona de alta importancia lumínica.	Administrativa en general	6
	Estaciones de transporte	6
	Supermercados, Hipermercados y Almacenes	6
	Bibliotecas, museos galerías de arte	6
	Zonas comunes en edificios residenciales	7.5
	Centros comerciales (tiendas excluidas)	8
	Hostelería y restauración	10
	Centros de culto religioso en general	10
	Salones de reuniones, auditorios, convenciones	10
	Tiendas y pequeños comercios	10
	Zonas comunes	10
	Habitaciones de hoteles	12

Fuente: (Rodríguez Galbarro)

Tabla 2.13 Valores de VEEI máximos permitidos. Elaboración propia

Para poder obtener estos parámetros, es necesario seguir una serie de pasos los cuales se mencionan a continuación.

- **Análisis del proyecto.** Se define el tipo de iluminación que se necesita, el tipo del lugar y labor que se efectuara allí.
- **Definir parámetros de local.** Se describe la forma precisa del local, las medidas, los colores, la trama y la reflectancia efectiva.

- **Seleccionar iluminancia media.** Se seleccionara la iluminancia media adecuada para el tipo de local, según la tabla 4.1 que se encuentra en este documento.
- **Selección conjunto lámpara – luminaria.** Selección del tipo de lámpara y luminaria que se instalara. También se deberá detallar las propiedades fotométricas principales.
 - Flujo luminoso (lm)
 - Potencia eléctrica (W)
 - Eficacia (lm/W)
 - Diagrama polar de distribución luminosa
 - Tabla de coeficientes de utilización.
- **Calcular cavidad del local (K).** Este elemento determina el coeficiente de utilización para cada luminaria.

$$h_h = h - (h_p - h_t) \dots\dots\dots (1)$$

Donde:

- **h_h**, Altura de la cavidad del local (m)
- **h**, Altura del local (m)
- **h_p**, Plano de trabajo (m)
- **h_t**, Plano de la luminaria (m)

$$K = \frac{a \cdot b}{h_h \cdot (a+b)} = RCL \dots\dots\dots (2)$$

Donde:

- **a**, Corresponden a la longitud
 - **b**, Corresponden al ancho del local
 - **K o RCL**, El índice de la cavidad del local
- **Determinar factor de utilización (FU).** Este dato nos permitirá conocer la cantidad de flujo luminoso que incide sobre el área de trabajo, obteniendo así la efectividad del sistema, está relacionado directamente con la reflectancia

de las paredes y techo del local y con la cavidad del mismo, obteniendo los valores de la tablas de reflectancia efectivas como la descrita en la tabla 2.14 Reflectancia efectivas.

% reflectancia techo	90				80				70			50			
% reflectancia de paredes	90	70	50	30	80	70	50	30	70	50	30	70	50	30	10
K	%														
0.2	89	88	86	85	78	78	77	76	68	67	66	49	48	47	30
0.4	88	86	84	81	77	76	74	72	67	65	63	48	47	45	30
0.6	87	84	80	77	76	75	71	68	65	63	59	47	45	43	30
0.8	87	82	77	73	75	73	69	65	64	60	56	47	44	40	30
1.0	86	80	75	69	74	72	67	62	62	58	53	46	43	38	30
1.2	85	78	72	66	73	70	64	58	61	57	50	45	41	36	30
1.4	85	77	69	62	72	68	62	55	60	55	47	45	40	35	30
1.6	84	75	67	59	71	67	60	53	59	53	45	44	39	33	29
1.8	83	73	64	56	70	66	58	50	58	51	42	43	38	31	29
2.0	83	72	62	53	69	64	56	48	56	49	40	43	37	30	29

Fuente: (Ministerio de minas y energía (Colombia), 2010)

Tabla 2.14 Reflectancia efectivas. Elaboración propia

- **Calcular Factor de mantenimiento (FM).** Este factor se obtiene de la siguiente ecuación.

$$FM = FE \cdot DLB \cdot FB \dots\dots\dots (3)$$

Donde:

- **FM,** Factor de mantenimiento
- **FE,** Depreciación de la luminaria por suciedad
- **DLB,** Depreciación por disminución del flujo luminoso de la lámpara
- **Fb,** Factor de **balasto**

Para poder determinarlo es necesario tener lecturas de la iluminancia que incide en el área de trabajo después de un tiempo definido y de cuando fueron instaladas las nuevas luminarias. Otra manera de obtener el FM es consultándolo de la tabla, la CIE establece los valores considerando lo siguiente: tipo de luminaria, condiciones medioambientales y la frecuencia con la que se realizara el mantenimiento. Se muestran a continuación en la tabla 2.15 valores de FM sugeridos por la CIE

FACTOR DE MANTENIMIENTO SUGERIDOS POR LA C.I.E.								
Frecuencia de limpieza (años)	1				2			
Condiciones Ambientales	P	C	N	D	P	C	N	D
Luminarias Abiertas	0.96	0.93	0.89	0.83	0.93	0.89	0.84	0.78
Reflector parte superior abierta	0.96	0.90	0.86	0.83	0.89	0.84	0.80	0.75
Reflector parte superior cerrada	0.94	0.89	0.81	0.72	0.88	0.80	0.69	0.59
Reflectores cerrados	0.94	0.88	0.82	0.77	0.89	0.83	0.77	0.71
Luminarias a prueba de polvo	0.98	0.94	0.90	0.86	0.95	0.91	0.86	0.81
Luminarias con emisión indirecta	0.91	0.86	0.81	0.74	0.86	0.77	0.66	0.57

Fuente: (ERCO)

Tabla 2.15 Valores de FM sugeridos por la CIE. Elaboración propia.

Donde:

P, Pure – Puro o muy limpio, **C**, Clean – Limpio,

N, Normal, **D**, Dirty – Sucio

- **Flujo luminoso total requerido (φ_{tot})**. Este dato nos permitirá conocer el flujo luminoso que se necesita para poder conseguir la iluminancia anteriormente establecida. Se obtiene con la siguiente ecuación.

$$\varphi_{tot} = \frac{E_{medio} \cdot A}{CU \cdot FM} \dots \dots \dots (4)$$

Donde:

- **Φ_{tot}** , Flujo luminoso total requerido (lm)
- **E_{medio}** , Iluminancia media requerida (lx)
- **A**, Área del local (m²)
- **CU**, Coeficiente de utilización
- **FM**, Factor de mantenimiento

- **Calcular el número de luminarias requeridas(N).** Una vez obtenidos todos los datos anteriores se debe calcular mediante la siguiente formula el número de luminarias que se instalaran en la edificación.

$$L = \frac{\varphi_{tot}}{\varphi_l \cdot n} \dots \dots \dots (5)$$

Donde:

- **L**, Número de luminarias requeridas
- **n**, Número de lámparas por luminarias
- **φ_{tot}**, Flujo luminoso total requerido (lm)
- **φ_l**, Flujo luminoso por lámpara (lm)

El resultado de esta ecuación puede no ser un número entero, sin embargo este valor nos ayudara a evaluar las posibles soluciones con respecto a la cantidad de luminarias a instalar.

- **Distribución de las luminarias.** Para una superficie de estudio rectangular, al realizar la distribución correcta, es necesario identificar el número de luminarias a colocar a lo largo y ancho de la misma, para ello, nos apoyaremos en las siguientes formulas.

$$L_{ancho} = \sqrt{\frac{L_{total}}{a} * (b)} \dots \dots \dots (6) \quad y \quad L_{largo} = L_{ancho} * \frac{a}{b} \dots \dots \dots (7)$$

Donde:

- **L_{largo}**, Número de luminarias a lo largo
- **L_{ancho}**, Número de luminarias a lo ancho
- **L_{total}**, Número total de luminarias
- **a**, Largo del local
- **b**, Ancho del local

- **Flujo luminoso real (φ real).** Una vez calculada la distribución de las luminarias, se procede a calcular el flujo real emitido por las luminarias para verificar que cumpla con los requerimientos del local, para ello usaremos la siguiente formula:

$$\varphi \text{ real} = L * n * \varphi L \dots \dots \dots (8)$$

Donde:

- φ **real**, Flujo luminoso real.
- **L**, Numero de luminarias requeridas.
- **I**, Número lámparas por luminaria.
- φ **I**, Flujo luminoso por lámpara.

Iluminancia promedio real (E_{prom}). Se debe realizar una comparación con la iluminancia promedio real y las establecidas por la CIE (tabla 2.13), para verificar que se tenga la correcta.

$$E_{prom} = \frac{\varphi_{real} \cdot FU \cdot FM}{A} \dots \dots \dots (9)$$

Donde:

- **E_{prom}** , Iluminancia promedio real.
 - **φ_{real}** , Flujo luminoso real emitido (lm).
 - **FU**, Coeficiente o factor de utilización.
 - **FM**, Factor de mantenimiento.
 - **A**, Área de la edificación (m²).
- En la tabla 2.16 Comparación general de fuentes artificiales de iluminación, se muestran las características de las lámparas que actualmente se usan, para conocer cuál es la que mejor se adecua a nuestras necesidades, solo se mencionan los puntos más importantes.

CAPÍTULO 2
CLASIFICACIÓN Y TIPOS DE LUMINARIAS

Características	Incandescentes	Tungsteno Halógeno	Fluorescente	Vapor Mercurio	Aditivo Metálico	VSAP	VABP
Eficiencia (lúmenes por watt)	10-22	18-33	20-103	35-65	65-110	65-125	70-180
Vida nominal	750-2,500	2,000 - 4,000	7,500 -20,000	24,000	10,000 - 20,000	24,000	24,000
Rendimiento de color	Bueno	Excelente	Amplia selección	Malo o bueno	Excelente	Medio	Malo
Control Óptico	Bueno a excelente	Excelente	Medio	Medio	Bueno	Bueno	Bueno
Mantenimiento de lúmenes	Medio	Excelente	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno
Encendido a pleno brillo	Inmediato	Inmediato	Inmediato	4-7	4-7	3-4	3-4
Tiempo de re-encendido (min)	Bajo	Inmediato	Inmediato	4-7	4-7	1-2	1-2
Costo inicial	Alto	Bajo	Moderado	Medio	Alto	Alto	Alto
Costo de operación		Alto	Bajo a moderado	Moderado	Bajo	Bajo	Bajo

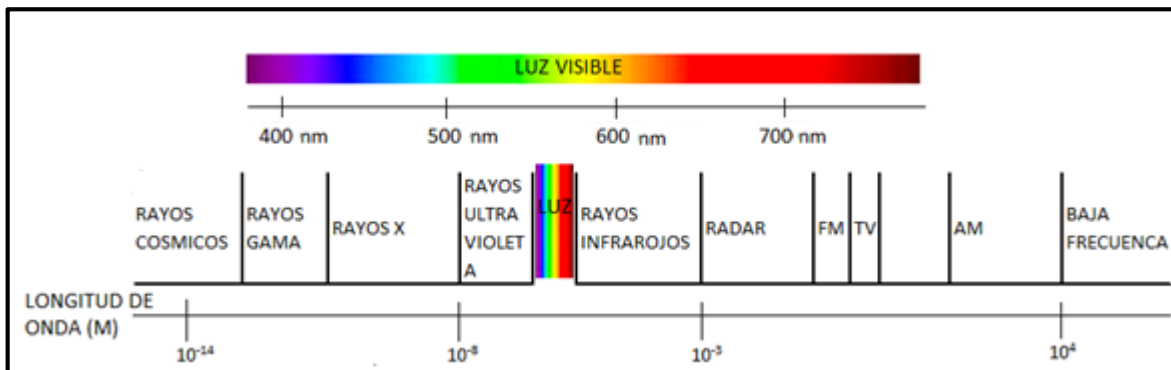
Fuente: (Universidad Peruana de Ciencia Aplicada, s.f.)

Tabla 2.17 Comparación general de fuentes artificiales de iluminación. Elaboración propia.

3.1. La visión.

El universo está rodeado de Ondas Electromagnéticas de numerosas longitudes, que se conocen como espectro electromagnético y se muestra en la imagen 3.1 Espectro electromagnético, el cual se extiende desde las bajas frecuencias hasta los rayos cósmicos. La región conocida como espectro visible (luz) es la porción responsable de estimular la retina del ojo humano para que se puedan percibir los colores.

Cuando pasa la Luz por un prisma de vidrio transparente, produce un fenómeno causado por las diferentes longitudes de onda, el cual forma un espectro que se compone de los colores rojo, naranja, amarillo, verde, cian, índigo y violeta y son percibidos por el ojo humano.



Fuente: (Montalvo Arenales, 2010)

Imagen 3.1 Espectro electromagnético. Elaboración propia

El 80% de la información que recibimos proviene del sentido de la vista, por lo que se puede afirmar que la luz es indispensable y vital para que el ojo realice sus funciones. La luz es una forma de energía al igual que las ondas de radio o las de rayos X, sin embargo el ojo solo es capaz de distinguir estas radiaciones y esta comprende las longitudes de onda de los 370nm (violeta) a los 780nm (rojo).

3.2. El sistema visual.

Como se mencionó anteriormente, en el ojo existen dos células sensibles a la luz, conocidas como conos y bastones, que gracias a ellos se pueden tener distintos tipos de visión según la intensidad de la luz.

El sistema visual procesa el color usando, tres tipos diferentes de conos según el pigmento fotosensible que contienen (opsina) como se observa en la tabla 3.1 Tipos de conos y percepción del color, los cuales identificaremos de la siguiente manera Conos-S, Conos-M y Conos-L. Esto se suscita por que los conos-S se localizan por fuera de la fovea, donde los conos más cercanos ofrecen la mejor resolución; además de que, el índice de refracción de la luz azul es bastante diferente comparada con la luz verde o roja.

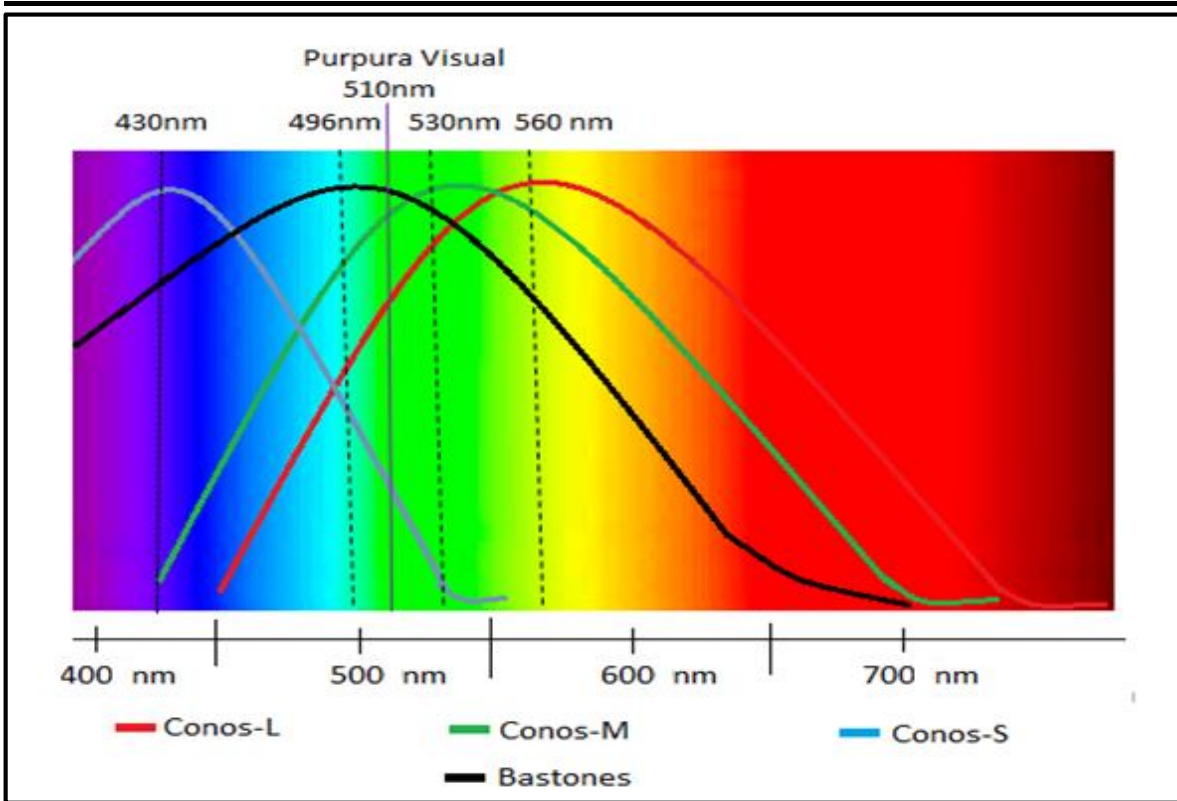
Tipos de Conos	Longitud de Onda	Color percibido
Conos – S	Onda Corta (445nm)	Azul
Conos – M	Onda Mediana (495nm)	Verde
Conos – L	Onda Larga (620nm)	Rojo

Fuente: (Bron & Boulpaep, 2009)

Tabla 3.1 Tipos de conos y percepción de color. Elaboración propia.

Sin embargo, el color que se perciba en el espectro visible dependerá de la longitud de onda, por ejemplo, las longitudes de onda de 430, 530 y 560nm de la luz monocromática, no manifestaran realmente la percepción de azul, verde y rojo, sino más bien la del violeta, azul verdoso y amarillo verdoso como se aprecia en la imagen 3.2 Optima absorción de conos y bastones.

A diferencia de los conos, los bastones absorben principalmente longitudes de onda de aproximadamente de 496nm. Contienen un pigmento denominado rodopsina que solamente genera información para visualizar en color negro, su máxima sensibilidad se encuentra en los 510nm; sin embargo, cuando los bastones logran extraer cantidad suficiente de esta substancia los objetos tendrán una apariencia purpura de ahí que a este pigmento se le denomine purpura visual.



Fuente: (Bron & Boulpaep, 2009)

Imagen 3.2 Óptima absorción de conos y bastones. Elaboración propia

El ojo cuenta con dos sistemas de funcionamiento que dependen ciertamente del nivel de iluminación ambiental dando origen a dos visiones conocidas como fotópica y escotópica en donde la primera corresponde a la luz del día (nivel más alto, función de los conos) y la segunda corresponde a luz nocturna natural (niveles bajos, función de los bastones); sin embargo existe también un nivel intermedio en el cual los conos y bastones trabajan en conjunto y se denomina visión mesópica.

3.2.1. El sistema visual en las áreas de trabajo.

Es cierto que los diferentes tipos de visión son trascendentales y que la importancia de los conos y bastones dependerá de las condiciones de iluminación con la que trabajen no solamente con la luz natural si no también con la luz artificial.

En 1962 el científico alemán Herman Bouma descubrió que la longitud de onda de la luz y en específico el color de la luz tiene un efecto directo en el tamaño de la pupila y que la contracción es mayor con las radiaciones azules de 490nm comparadas con las de 555nm. Se sabe también que una pupila de menor tamaño

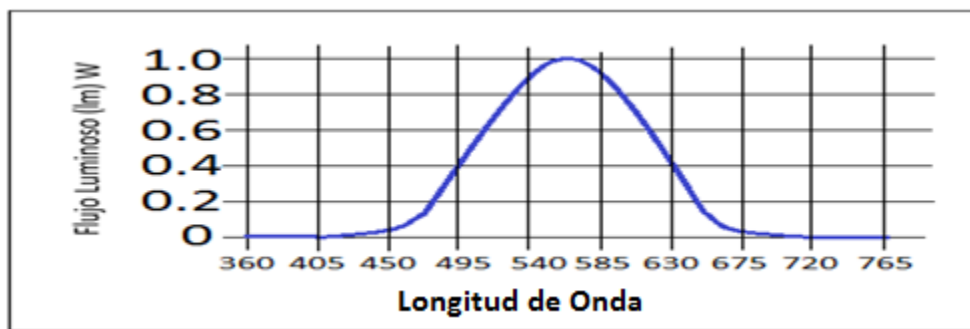
beneficia la agudeza visual al mejorar la profundidad de campo y permitir una mejor comodidad en el ojo.

Sujeto a esto está comprobado que una luminaria que produce una alta temperatura del color (Luz Azul) permite tener una mejor visibilidad así como una sensación de un ambiente mejor iluminado que las luminarias con temperaturas bajas; por lo que se puede decir que en un área de trabajo nocturno dependerá de la curva de distribución espectral de la fuente de iluminación pero sobre todo de su temperatura del color.

3.3. Radiometría y Fotometría.

*“La Radiometría es un sistema de lenguaje, matemática e instrumentación usada para describir la propagación de la radiación electromagnética, incluyendo los efectos sobre la radiación por reflexión, refracción, absorción, transmisión y esparcimiento por sustancias materiales en fase sólida, líquida y gaseosa. La **Fotometría** es el sistema usado para el mismo propósito cuando la radiación es detectada por el ojo humano”⁵*

En la imagen 3.3 flujo luminoso y flujo radiante, donde 1 W equivale a 685lm, se muestra la relación normalizada entre flujo luminoso y flujo radiante en el espectro visible definido por la CIE en donde se aprecia la **sensitividad** pico del ojo a 555nm.



Fuente: (Marín Naranjo)

Imagen 3.3 Flujo luminoso y flujo radiante, donde 1 W equivale a 685 lm. Elaboración propia.

⁵ M.Sc Luis Diego Marín Naranjo, Radiometría y fotometría, laboratorio de fotónica y tecnología láser aplicada, <http://www2.eie.ucr.ac.cr/~marin/docs/RadiometriayFotometriaLAFTLA.pdf>

La radiometría y fotometría se enfocan específicamente en saber cómo es la distribución de la radiación sobre el espectro electromagnético y para ello se deben conocer 7 valores fundamentales que se describen en la tabla 3.2. Variables fundamentales en la radiometría y fotometría del sistema internacional

Unidades Radiométricas		
Descripción	Símbolo	Unidad de medida
Energía Radiante	Q	$J = W \cdot s$
Densidad de energía Radiante	U	J/m^3
Flujo radiante	Φ	W
Irradiancia	E	$\frac{W}{m^2}$
Exitancia radiante	M	$\frac{W}{m^2}$
Radiancia	L	$\frac{W}{sr \cdot m^2}$
Intensidad Radiante	I	$\frac{W}{sr}$
Unidades Fotométricas		
Energía Luminosa	Q_v	$lm \cdot s$
Densidad Luminosa	U_v	$\frac{lm \cdot s}{m^3}$
Flujo luminoso	F_v	Lm
Iluminancia	E_v	$Lux = \frac{lm}{m^2}$
Exitancia luminosa	M_v	$Lux = \frac{lm}{m^2}$
Luminancia	L_v	$\frac{cd}{m^2}$
Intensidad Luminosa	I_v	$cd = \frac{lm}{sr}$

Fuente: (Marín Naranjo)

Tabla 3.2 Variables fundamentales en la radiometría y fotometría del sistema internacional.
Elaboración propia.

3.4. La psicología del color.

En el resultado del desempeño del trabajador, especialmente en los del turno nocturno, juega un papel muy importante la iluminación, sin embargo; está va de la mano con la teoría del color, ya que tienen una relación directa.

El color es un factor que afecta directamente a las emociones de las personas y es por ello que para que un colaborador logre un desempeño óptimo, es importante buscar estrategias que logren las condiciones adecuadas entre el color y la iluminación.

Cuando observamos un objeto, usamos la reflectancia de la luz para apreciar el color, el cual a su vez nos produce sensaciones y emociones, es por ello que la influencia del color en el trabajador es de suma importancia pues, si se utilizan de manera adecuada, se mejora positivamente el rendimiento de los mismos.

Si las tareas visuales hacen que el ojo del colaborador se force hasta llegar al límite de sus posibilidades, se da por hecho que esté presente un cuadro de estrés, que posteriormente se verá reflejado en la disminución del rendimiento.

Es importante mencionar que, los colores influyen en cada persona de distintas maneras, de tal modo que, en algunas ocasiones puedan causar desagrado o gusto, sin embargo; hablando específicamente en reacciones físicas, estos nos generan sensaciones similares como es el frío y el calor.

Pues bien, el que un color sea cálido o frío, nos indica que provoca sensaciones térmicas subjetivas; es decir que, un color va a ser frío o cálido según cómo se perciba por el ojo humano así como de la interpretación de la sensación que provoca a nuestro cerebro.

Estudios realizados por científicos de la Universidad de Chicago en Estados Unidos, demuestran que cuando el ojo percibe ciertos colores, el cerebro libera hormonas que afectan directamente el estado de ánimo de una persona, así mismo; el doctor Francisco de Miguel Fernández, del Instituto de Fisiología Celular de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), en su proyecto Arte y Cerebro, indica que el cerebro humano reacciona a los colores y los transforma en emociones.

“El color es emoción, lenguaje, símbolo, expresión, atmósfera, temperatura, acción, reposo, excitación y, puede ser agradable, inquietante, atractivo, repulsivo, alegre, triste o tenebroso, etc.”⁶

Con esta información podemos asegurar que si nos encontramos en un área de trabajo en condiciones de suciedad y/o mala iluminación, de manera inconsciente,

⁶ Sistema de determinación de colores, Seguridad e higiene en el trabajo, departamento de ingeniería, UNICEN argentina http://www.fio.unicen.edu.ar/usuario/segumar/a13-3/material/Color_higiene.pdf

se provoca en el colaborador a que frecuentemente tenga faltas, hasta el grado de agraviar su moral.

La principal función de la implementación de los colores, es mejorar las condiciones ambientales de los trabajadores como son:

- Comodidad visual.
- Aumento de reflexividad.
- Aumento de atención.
- Disminución de temores.
- Aumento de seguridad.

Está más que clara la importancia del papel psicológico y fisiológico de los colores en el colaborador, pues estos deben de considerarse para lograr una respuesta satisfactoria entre los aspectos “producción-bienestar”

En la tabla 3.3 efecto de los colores en las personas, se describen algunos colores y los efectos que producen en las personas.

COLOR	EFECTOS
Rojo	Sensación de calor, aumento de tensión muscular, aumento de la presión sanguínea y ritmo respiratorio
Anaranjado	Es un estimulante emotivo, tiende a emitir sanaciones de ambientes cálidos, favorece la digestión, acelera el pulso
Amarillo	Es un estimulante en los nervios, infunde sensaciones de frescura y a la vez sequedad.
Verde	Es un estimulante ya que baja la tensión sanguínea
Azul	Es un color emotivo (meditación) por lo que es más estimulante que el verde, tiende a bajar las tensiones musculares y presión sanguínea así como la disminución del ritmo respiratorio. Puede llegar a inducir a la depresión.
Violeta	Actúa sobre el corazón y los pulmones aumentando la resistencia de los mismos

Fuente: (Heller, 2004)

Tabla 3.3 Efecto de los colores en las Personas. Elaboración propia.

3.4.1. Sinestesia cromática

Como se ha mencionado, el color tiene una fuerte influencia en el ser humano ya que es capaz de alterar o modificar nuestros estados en los ámbitos, físico, fisiológico, perceptual y psicológico. Sin embargo en el ámbito psicofisiológico, se produce un fenómeno conocido como **sinestesia** cromática

Este fenómeno, se origina cuando el ojo, traduce la información que aportan las ondas del espectro electromagnético a su sistema correspondiente, para posteriormente enviar dicha traducción al cerebro. En otras palabras, la sinestesia cromática se efectúa cuando los colores son ligados a sensaciones físicas como por ejemplo el gusto, el olfato, el oído o el tacto.

Con esto podemos afirmar que los colores están sumamente ligados a las sensaciones físicas, es decir que, instintivamente hacemos relación entre colores y los sabores, sensaciones o emociones que ya fueron vividas, como por ejemplo cuando apreciamos colores como el naranja, amarillo o verde, es muy probable que puedan parecernos ácidos al gusto ya que los asociamos a las frutas cítricas.

El psicólogo Louis Cheskin, pionero en el campo de la investigación de motivación y técnicas de marketing y director del Color Research Institute, realizó un estudio a finales de los años 60, en el cual solicitó a un grupo de amas de casa que probaran un detergente en tres distintas presentaciones para que decidieran cuál de ellos daba mejor resultado con las prendas delicadas.

El embalaje de los detergentes eran de color amarillo, azul y azul con puntos amarillos, a pesar de que el producto era el mismo las opiniones para cada uno fueron variadas arrojando los resultados siguientes:

- El detergente de la caja amarilla se juzgó demasiado fuerte con las prendas,
- El del embalaje azul se consideró que no tenía fuerza para limpiar,
- Ganó la caja bicolor

En 1979, el Diario Oficial de la Academia de Psiquiatría Ortomolecular, Volumen 8 incluía un artículo que hablaba sobre los efectos del color en la conducta humana,

en el cual se describía un estudio realizado por Glen Wylie de Santa Ana, California, quien efectuó un experimento, en el cual demuestra la afectación del color rosa y azul en la fuerza muscular en las personas.

En el experimento, una persona de sexo masculino (sujeto a estudiar), extendió su brazo hacia fuera delante de su cuerpo, creando así un ángulo de 90 ° y aplicaba una fuerza utilizando su máxima resistencia para evitar que, una segunda persona (experimentador), llevara su brazo hasta su cadera.

En este experimento, ambas personas tenían una fuerza similar, por lo que el sujeto estudiado debía ser capaz de resistir el esfuerzo aplicado por el experimentador, sin embargo; al colocar un papel de color rosa de 91.5 cm aproximadamente, a la vista del sujeto, este experimentó una significativa pérdida de la fuerza muscular, contrario a cuando se repitió el experimento pero ahora con un papel de color azul en donde se apreció el regreso de la fuerza además de que el sujeto no mostro evidencia de la pérdida anterior.

“Un experimento llevado a cabo en una fábrica americana, demostró que unas cajas de embalajes negras, que tenían que ser movidas a diario, parecieron más ligeras a los trabajadores cuando se pintaron de verde pálido.

En otro estudio, se compararon cajas del mismo peso y distinto color. Unas de color azul oscuro y otras de color amarillo pálido. Las amarillas parecían ser más ligeras a los hombres que las cargaban; hasta el punto de sentirse menos fatigados después del día de trabajo.”⁷

Existen numerosos casos de experimentos en los que se demuestra la importancia y poder del color para generar sensaciones físicas y psicológicas en las personas, por lo que, una vez expuestos los casos anteriores, se demuestra que los colores pueden ser utilizados para la armonía y bienestar de los colaboradores.

⁷ 1001 Trucos publicitarios 17 edición, Luc Dupont, Editorial Masterclass, Pag. 187

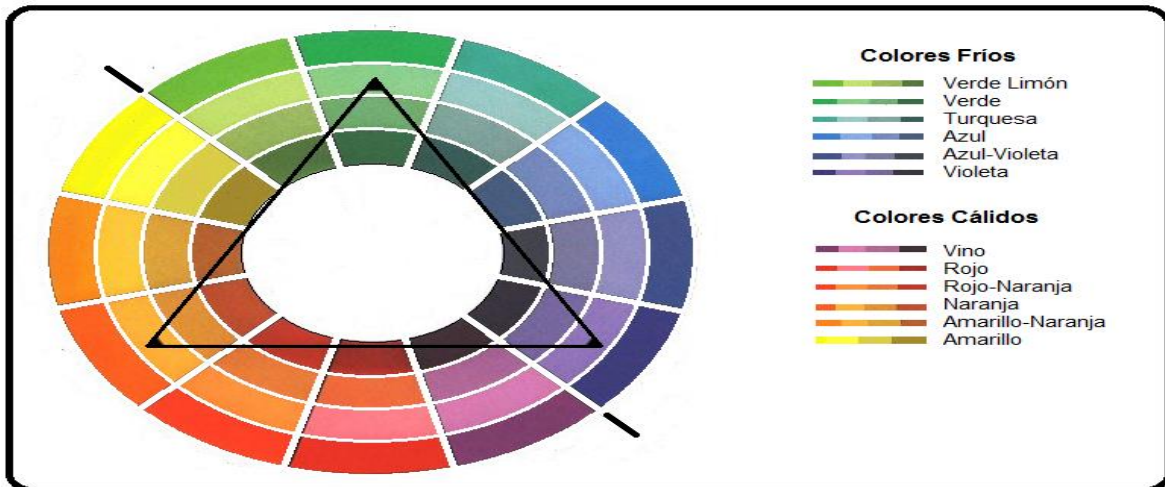
3.4.2. Colores fríos, cálidos e IRC

Cada uno de los colores en sus distintas tonalidades, pueden generar sensaciones variadas en el ser humano, ya que la calidez o frialdad de un color responderá a las sensaciones térmicas individuales, es decir; que un color será frío o cálido según cómo sea percibido por el ojo humano de la persona que lo observe, así como de la interpretación de la impresión que nos provoque en nuestro cerebro.

En el espectro electromagnético visible, se clasifican los colores cálidos y fríos según la longitud de onda en las cuales las largas corresponden a los colores cálidos mientras las cortas pertenecen a las tonalidades de colores fríos, mismos que se aprecian en el círculo cromático de la imagen 3.4. Círculo Cromático; Colores Cálidos y Fríos.

No obstante, un color puede parecer frío o caliente según la proporción de otros que lleve en su composición (tonalidad):

- **Tonalidades cálidas:** Estos colores, transmiten sensaciones térmicas como calidez, bienestar, cercanía, intimidad, energía, y alegría ya que solemos relacionarlos con el fuego, la pasión, o los atardeceres, entre otros.
- **Tonalidades frías:** En este grupo, hablamos de colores con los que se experimentan estados de ánimo de frialdad que se asocian a sensaciones como la lejanía, sentimentalismo, pasividad, serenidad, frío o frescura.



Fuente: (Escola Superior de Disseny i d'Arts Plàstiques de Catalunya, s.f.)

Imagen 3.4 Círculo Cromático; Colores Cálidos y Fríos. Elaboración propia

3.4.2.1. Temperatura del color

Cuando hablamos de temperatura de color, nos referimos a la distribución espectral de la energía de una fuente luminosa y más específicamente, a su calidad de color. Esta temperatura se expresa en grados Kelvin ($^{\circ}\text{K}$), que su equivalencia en grados Celsius ($^{\circ}\text{C}$) es restando 273 a dicho grado. Este valor, determina si las lámparas, producen luz cálida o fría.

Para poder entender mejor este concepto, partiremos entonces, de un **cuerpo negro**, se sabe que, todo cuerpo cualquiera que sea su naturaleza, emite energía en forma de radiación electromagnética de tal manera que; entre más caliente este el cuerpo, mayor cantidad de energía emite.

Es importante hacer mención que la radiación emitida por este cuerpo, no es la misma que la reflejada y lo hace visible. Por ejemplo, una persona u objeto, es visible por la luz que refleja y no por la radiación que emite. El poder que tiene un cuerpo para absorber la radiación puede variar de 0 a 1, en donde la unidad indica que el cuerpo absorbe toda la radiación sin reflejar nada (cuerpo negro).

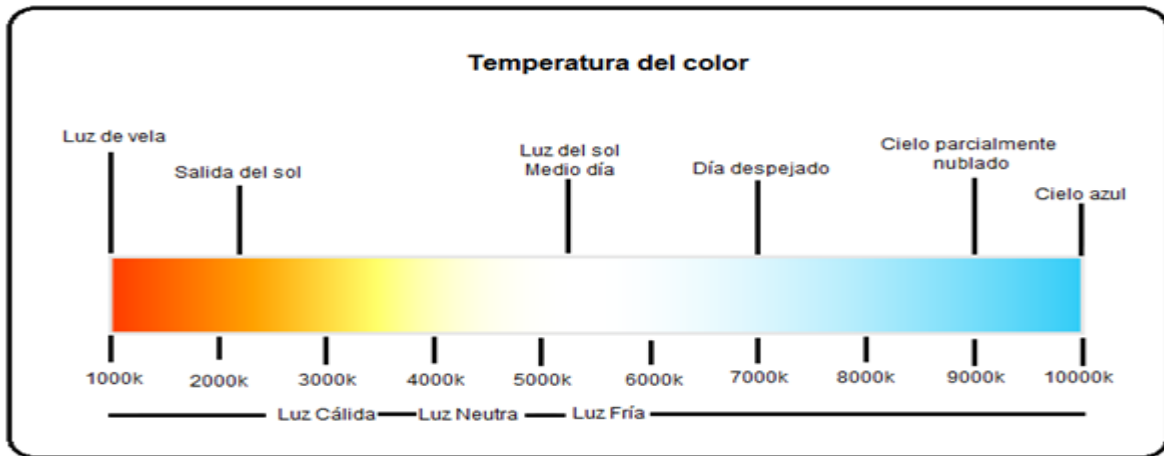
Cuando se habla de un cuerpo negro, se refiere a aquel cuerpo que absorbe perfectamente toda la radiación que incide sobre él. Sin embargo, el físico Gustav Kirchhoff, sostuvo que un cuerpo que absorbe perfectamente energía electromagnética es un cuerpo que también puede emitir energía electromagnética. Por lo que lo definiremos como *“aquel que absorbe toda la radiación que le llega a todas las longitudes de onda y la radiación que él emite es solo función de la temperatura y de la frecuencia de la onda”*.⁸

Si calentamos un cuerpo negro, este se pondrá primero en color rojo y con forme se valla aumentado la temperatura cambiara de color hasta llegar al azul, entonces; tomando como referencia la luz del extremo rojo del espectro se dice que tiene una

⁸ Radiación de un Cuerpo Negro Ley de Emisión de Planck Una Breve Introducción, José Antonio García Barreto, Instituto de Astronomía Universidad Nacional Autónoma de México, julio 2008, <http://www.astroscu.unam.mx/~tony/espanol/astro-gal-7-cuerpo-negro.pdf>

temperatura de color baja, que va subiendo conforme se pasa hacia la región azul del mismo.

Hablando específicamente de fuentes de luz artificiales se sabe que estas tienen un rango que va desde los 1000°k hasta los 7000°k mientras que la luz natural del sol va de los 5000 °k hasta los 10000 °k como se muestra en la imagen 3.5.

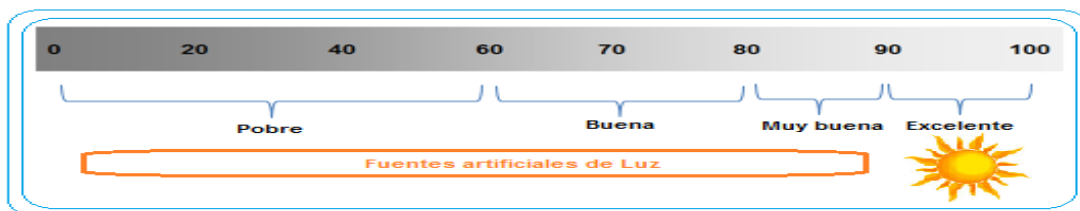


Fuente: (Álvarez, 2009), (Carlos, s.f.)

Imagen 3.5 La temperatura del color. Elaboración propia.

3.4.2.2. Índice de reproducción cromática

El índice de reproducción cromática IRC o Ra (Colour Rendering Index) refiere a una medida cuantitativa que calcula la capacidad de una fuente de luz para reproducir los colores fielmente comparada con la luz del día, es decir que, el IRC de la luz del día en una escala del 1 al 100 como se muestra en la imagen 3.6 Escala de IRC según la CIE, es de 100 por lo que toda la gama de colores se reproducen perfectamente



Fuente: (Renoux, 2013)

Imagen 3.6 Escala del IRC según la CIE. Elaboración propia.

Hablando de colores específicamente, se puede afirmar que un objeto es de cierto color, porque refleja las radiaciones luminosas que lo caracteriza y absorbe todos los demás colores del espectro visible, sin embargo; esto solo se cumple cuando, la luminaria produce la suficiente cantidad de radiaciones en el objeto del espectro visible. Por lo tanto, para poder considerar una fuente de luz como de buen “rendimiento de color”, debe emitir todos los colores del espectro visible, ya que si falta uno de ellos, éste no podrá ser apreciado correctamente.

Es preciso decir, que el parámetro de IRC, así como la temperatura del color, no están ciertamente relacionados y son independientes el uno del otro, sin embargo, para las áreas de trabajo de manufactura, es de suma importancia, que los colaboradores, puedan apreciar los distintos colores con claridad, sin esforzar su vista además de sentirse cómodos y seguros con la correcta iluminación.

Al lograr una armonía en ambos parámetros, se puede conseguir excelentes sensaciones en los volúmenes, espacios y colores iluminados que a su vez motiven a los colaboradores que incrementen su desenvolvimiento, así como la disminución de accidentes laborales.

3.5. Condiciones del entorno en el puesto de trabajo

“Al tratar de diseñar los puestos de trabajo, la primera necesidad que surge es la de determinar los espacios necesarios para desarrollar la actividad, eso significa que, dada la gran diversidad de talla de los individuos, hay que considerar dimensiones corporales que engloben al mayor número de personas, huyendo del típico de considerar las dimensiones del individuo medio como solución a las necesidades del diseño.”⁹

La secretaria del trabajo y prevención social, en la norma Oficial Mexicana NOM-019-STPS-2011, Constitución, integración, organización y funcionamiento de las comisiones de seguridad e higiene, establece los requerimientos de iluminación en

⁹ Ergonomía y psicología aplicada. Manual para la formación del especialista, Javier Llana Álvarez, 12 edición, editorial Lex Nova pag. 154

todas las áreas de los centros de trabajo, para que se cuente con la cantidad de iluminación requerida para cada actividad visual, con la finalidad de proveer un ambiente seguro y saludable en la realización de las tareas que desarrollen los trabajadores.

En la actualidad, las normas mexicanas, que refieren a una correcta iluminación, están fundamentadas en criterios básicos que priorizan la integridad de todos los trabajadores en México, sin embargo; no consideran disposiciones de seguridad importantes que otros países ya han desarrollado y que toman en cuenta, por ejemplo; los diseños ergonómicos relativos al diseño de los lugares y puestos de trabajo en relación con los sistemas de iluminación, y solo hacen mención del mismo.

Las condiciones que se requiere en las áreas de trabajo, dependen primordialmente de la tarea que se realiza, actualmente la Organización internacional del Trabajo (OIT) indica que una de las principales causas ambientales en los centros de trabajo que ocasionan accidentes es la mala calidad de iluminación, en la cual la intensidad lumínica y la baja calidad cromática afectan directamente a los colaboradores.

Por ello, la **luminancia de adaptación** del ojo, es un factor importante, el cual se determina por la luminancia existente en el campo visual, esto quiere decir que la claridad con la que se aprecien los objetos dependerá fielmente de la luminancia, por lo que las percepciones del contraste, el color y en general, el rendimiento visual, aumentan con la luminancia de adaptación.

El sistema circadiano, visual y perceptual, son sistemas en el ser humano por los cuales se puede influenciar para que el trabajador se desempeñe óptimamente en su lugar de trabajo, actuando en cada uno de ellos de la siguiente manera:

- **Sistema Circadiano:** Las radiaciones luminosas actúan sobre el **sistema circadiano** y puede alterar el desempeño del ser humano ya que es capaz de perturbar las funciones del resto del cuerpo. La iluminación regula el ritmo de la fisiología del ser humano cuya manifestación más evidente se puede observar en la fase de vigilia-sueño.

- **Sistema visual:** Procesa en forma eficiente la imagen que del mundo exterior forma su sistema óptico sobre la retina.
- **Sistema perceptual:** Actúa una vez que la imagen ha sido procesada por el sistema visual llegando hasta el confort visual, sin embargo, dependerá de la iluminación el mensaje a recibir y la interpretación del mismo de acuerdo al contexto en el cual ocurre, la cultura y experiencias propias.

En el caso del trabajo nocturno, la iluminación, deberá ser capaz de aumentar el estado de ánimo del colaborador, así como garantizar la visibilidad necesaria de modo tal que se genere una percepción confortable y que a su vez se generen mensajes de optimismo y seguridad. Para llegar a estas múltiples necesidades, se requiere considerar cuidadosamente de todas las formas en las cuales la iluminación puede influir sobre el rendimiento del trabajador en conjunto.

4.1. Ejemplo de aplicación

La OIT, señala que cada 15 segundos 153 trabajadores tienen un accidente laboral en el mundo, y a su vez en este mismo lapso de tiempo un trabajador muere a causa de accidentes o enfermedades relacionadas a su trabajo, dando como resultados 2.3 millones de muertes por año. Además estima que 160 millones de personas en todo el mundo, experimentan enfermedades relacionadas con su trabajo.

Si bien, reducir la cantidad de accidentes en las áreas de trabajo, así como prevenir enfermedades generadas por las condiciones de trabajo, es un gran desafío que día con día se busca alcanzar. Tal es el caso en particular del trabajador de turno nocturno en el cual, el riesgo de enfermedad o accidente aumenta significativamente comparado con un trabajador diurno y es por ello que se deben buscar alternativas para lograr el confort del mismo.

Actualmente, las cifras mencionadas son muy inciertas ya que no todos los accidentes y muertes son notificados, sin embargo en el año 2003, la OIT obtuvo las estadísticas globales más exactas posibles, donde se determinó que las incapacidades o enfermedades son provocadas por los factores que se muestran en la tabla 4.1 Porcentaje de las causas de muertes atribuibles al trabajo.

Causa de Muerte Atribuible al Trabajo	Porcentaje
Enfermedades Transmisibles	17
Desorden Mental	1
Cáncer	32
Enfermedades del Aparato Digestivo	0.6
Enfermedades Respiratorias	7
Sistema Genitourinario	0.4
Enfermedades del Aparato Circulatorio	23
Accidentes	19

Fuente: (Organización Internacional del Trabajo, 2003)

Tabla 4.1 Porcentaje de las causas de muertes atribuibles al trabajo

Es importante mencionar que, gran parte del porcentaje apreciado en enfermedades como son: circulatorias, digestivas, accidentes e incluso el cáncer (algunos tipos), pueden reducirse considerablemente al implementar un área de trabajo confortable, hablando específicamente en trabajadores del turno nocturno.

Para poder determinar una sólida propuesta que disminuya los accidentes de trabajo y se pueda prevenir enfermedades al trabajador, se analizó todos los factores que intervienen en el origen de estos, siempre buscando causas y no culpables. Es por ello que para neutralizar el riesgo se atacan las fuentes de origen, de la cual se destaca la iluminación por ser un sistema deficiente, el nulo adiestramiento que se tiene por parte de la empresa a los colaboradores y la falta de señalizaciones en las áreas de trabajo.

Durante nuestra estancia en el área de estudio, mientras se monitoreaba el comportamiento del personal nocturno, se analizaron algunos casos de accidentes los cuales se mencionan a continuación:

1. Un trabajador fue golpeado en la cara accidentalmente, lo cual le causo una incisión de tamaño y profundidad considerable, por lo que tuvo que ser trasladado al Instituto Mexicano del Seguro Social (IMMS) de emergencia. El responsable del accidente, es un colaborador de nuevo ingreso.
2. Durante el traslado y acomodo de los equipos de gastronomía cerca del área de embarques, accidentalmente, le fue amputada la primera falange del dedo anular a uno de los colaboradores. De igual manera fue trasladado de emergencia al IMSS.
Cuando el responsable del accidente colocaba el equipo en el lugar correspondiente con ayuda del colaborador accidentado, no visualizo que su mano se encontraba debajo del equipo, a lo que relata, procedió a colocar el equipo cuando aconteció el accidente.
3. Mientras se realizaba la limpieza del área, un colaborador fue lastimado del pie al pasarle por accidente un patín hidráulico.

El responsable del suceso, indica que el accidente sucedió debido a que es un área que no tiene los señalamientos necesarios que indique que el tránsito en el lugar de los hechos solo es para montacargas y patines.

El colaborador que sufrió el siniestro menciona que no sabe por dónde puede transitar ya que es personal de nuevo ingreso, además que se encontraba distraído.

4. El encargado del montacargas, dejó caer uno de los equipos al querer acomodarlo para su revisión lo cual ocasiono la destrucción del mismo, alterando los nervios de un segundo trabajador que se encontraba de frente.

El responsable del accidente indica que estaba esperando indicaciones del lugar en que debía colocar el equipo, pero se quedó dormido.

5. El operador del montacargas, dejó caer una tarima de material que se estaba acomodando, provocando pérdidas económicas para la empresa.

Argumenta el operador que la iluminación es mala y que le resulto difícil visualizar que el pallet no se encontraba correctamente posicionado.

Al realizar un análisis en los trabajadores se destacan los siguientes puntos como principales causas de los accidentes laborales en esta empresa:

- ✓ La luz que ilumina el área de trabajo no es buena, al grado de que deben esforzar su vista, lo cual ha generado fatiga visual.
- ✓ Colaboradores de nuevo ingreso sin capacitación.
- ✓ Falta de señalamientos.
- ✓ Los trabajadores presentan cansancio.
- ✓ Falta de atención al realizar sus actividades.

El seguimiento al desarrollo de las actividades de los trabajadores del turno nocturno de la empresas se estableció por un periodo de 3 meses, en el cual surgieron siniestralidades de distintos grados y ausentismos por enfermedad general, estrés y cansancio.

4.1.1. Condiciones del área de estudio

De acuerdo con la información detallada en capítulos anteriores, al implementar un correcto sistema de iluminación no solamente se obtendrán reducciones en los accidentes o enfermedades del colaborador, si no también se notará un aumento en la productividad.

El lugar de estudio es el área de Fabricación de una empresa dedicada a la construcción de equipo de gastronomía industrial, que se encuentra en condiciones decadentes en lo que respecta a la ergonomía visual. Esta industria cuenta con tres turnos de trabajo de los cuales, el turno nocturno es el más afectado debido a la mala calidad de la luz artificial.

La propuesta de este proyecto surge de la necesidad de reducir los accidentes de trabajo y errores humanos durante la jornada laboral nocturna de la cual, se tienen antecedentes que indican que la luz artificial, es uno de los principales factores que actualmente generan problemas al trabajador para realizar correctamente sus actividades.

Se identificó y definió el área de estudio a tratar considerando todos los espacios en donde los colaboradores de dicho turno se encuentran concentrados para realizar sus actividades. Dicho lo anterior, a continuación se detallan las características y estado del área de estudio.

➤ **luminarias herméticas:**

- Alta resistencia al impacto (estructura no deformable).
- Protección contra golpes.
- Reflector.
- Clasificación IP65 de interior y al aire libre, a prueba de explosión, a prueba de polvo.
- Temperatura de 20 C a 50 C.
- Lámpara Tubo fluorescente T8, casquillo G13.
- Balasto inductivo y condensador.

- Alambre de cobre, sección transversal 0.5 metros cuadrados, PVC resistencia de aislamiento hasta 105c.
- Luminarias colgantes a 8 metros de la superficie del piso.

Las luminarias se encontraron en las siguientes condiciones:

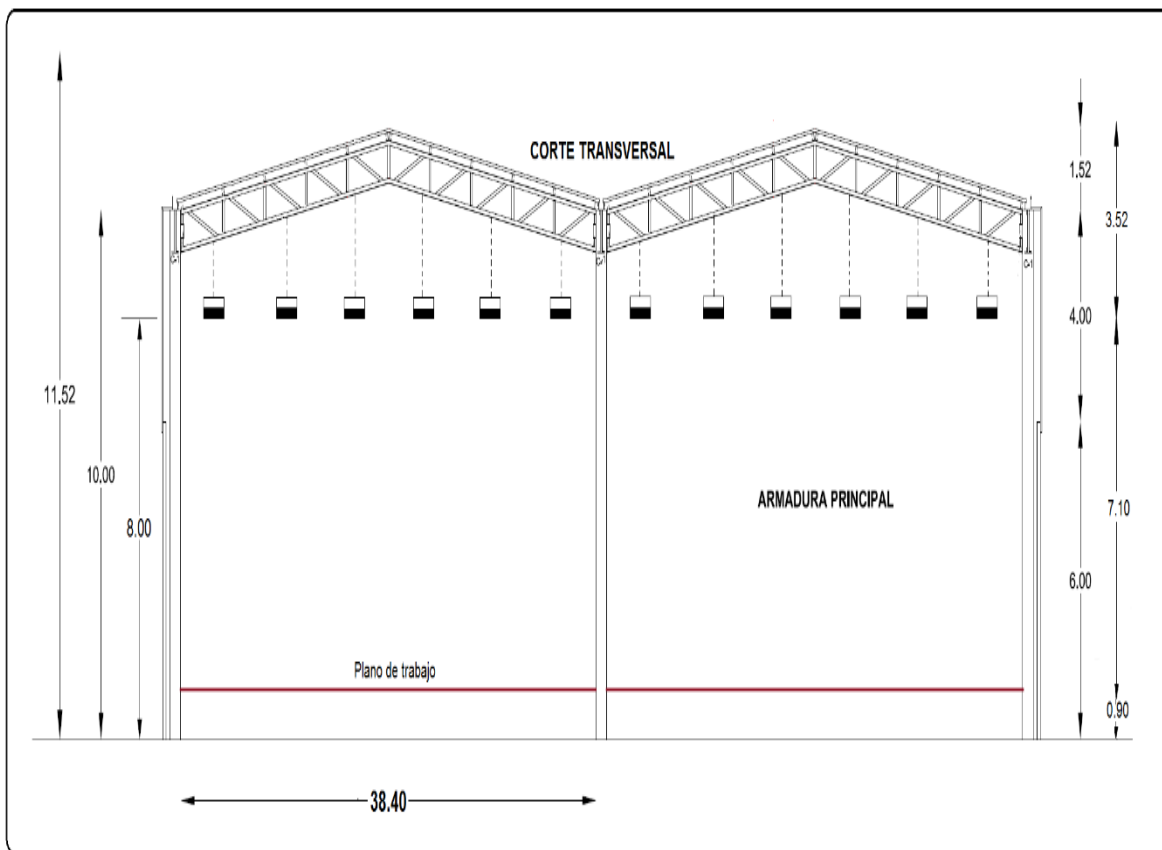
- La suciedad de las luminarias se ha acumulado de tal manera que los colaboradores no logran visualizar claramente las tareas a realizar.
- Debido a que la iluminación se ha vuelto de mala calidad, las estadísticas internas de la empresa, indican que el último año aumentó considerablemente los errores por parte de los colaboradores, así como los accidentes de los mismos.
- Se reporta que las luminarias solamente son cambiadas cuando han terminado su tiempo de vida útil, por lo que el mantenimiento es decadente.
- Al realizar medidas fotométricas (iluminancia) se comprueba que la distribución no es uniforme y la luminancia se ve afectada por lo que los objetos no se ven con claridad, ya sea por falta de iluminación o deslumbramiento.
- La temperatura de color de las lámparas es de 4000°k (cálida), que como se ha mencionado anteriormente, al ser una luz que psicológicamente hablando nos relaja, ocasiona que a los colaboradores se les dificulte mantenerse despiertos durante su actividad laboral, sobretodo en el caso de los trabajadores del turno nocturno.
- **Paredes, techo, piso:**
 - El techo cuenta con una estructura triangular, cubierta metálica color blanca y tragaluz para el aprovechamiento de la luz natural durante el día.
 - Las paredes son de concreto y cuentan con un color marrón claro
 - El piso es de concreto gris oscuro

APLICACIÓN DEL ESTUDIO PARA LA SELECCIÓN DE LA ILUMINACIÓN EN EL ÁREA DE MANUFACTURA

Las paredes, techos y pisos del área de estudio, se encuentra en las siguientes condiciones:

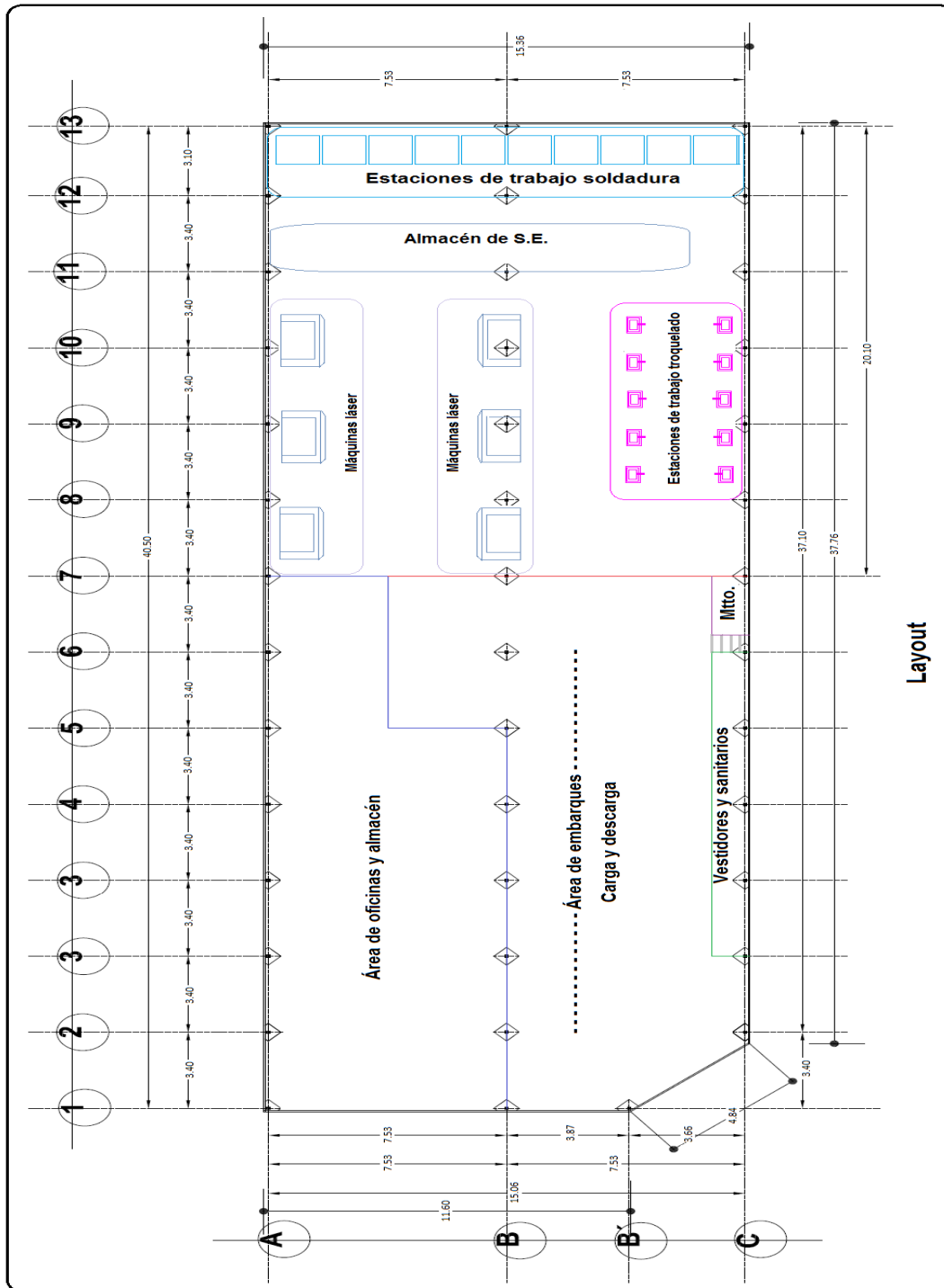
- El techo se observa en buenas condiciones, con un poco de suciedad debido a que la limpieza del mismo es muy esporádica.
- Las paredes se encuentran también en perfectas condiciones.
- El piso es aseado diariamente, debido a la cantidad de residuos generados en los trabajos realizados y con el fin de evitar accidentes ocasionados por los mismos.

A continuación, en la imagen 4.2 y 4.3 se presentan los planos de la nave industrial donde se encuentra el área de estudio.



Fuente: Propia

Imagen 4.2 Corte transversal del área de estudio, medidas en metros.



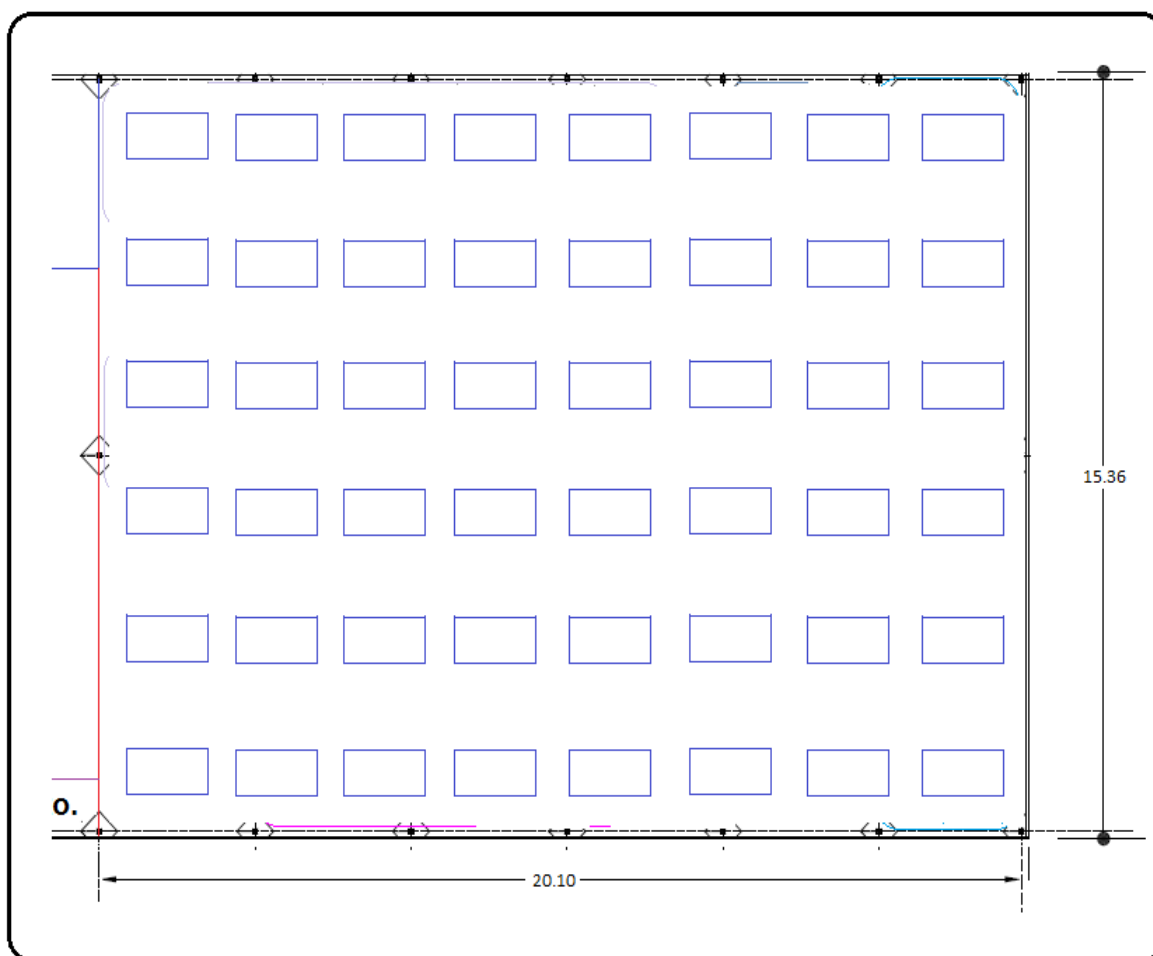
Fuente: Propia

Imagen 4.3 Layout vista superior de la nave, medidas en metros.

APLICACIÓN DEL ESTUDIO PARA LA SELECCIÓN DE LA ILUMINACIÓN EN EL ÁREA DE MANUFACTURA

El estudio se contempló específicamente para el área donde se encuentran las estaciones de trabajo de troquelado, soldadura, doblado, así como las maquinas laser, pues son una zona conjunta en la cual se moviliza el personal nocturno.

El sistema actual cuenta con 48 luminarias distribuidas como se muestra en las imagen 4.4 Layout área de estudio, medidas en metros, las cuales están integradas por dos lámparas fluorescentes T8 que consumen 32 Wh (watt-hora) cada una, adicionalmente del balasto electrónico que contempla un consumo adicional del 15% del total de la potencia que alimenta. Este conjunto luminaria consume en total 73.6 Wh.



Fuente: Propia

Imagen 4.4 Layout área de estudio, medidas en metros.

Es importante mencionar que las lámparas que actualmente están instaladas en el área de trabajo, tienen ventaja en el costo de adquisición, sin embargo son fabricadas a partir de residuos peligrosos por el porcentaje de mercurio contenido, el cual puede liberarse si llegase a sufrir una fractura o ruptura.

La Organización Mundial de la Salud (OMS), indica que el mercurio es un elemento que está presente de forma natural en el aire, el agua y los suelos, pero que la exposición prolongada a este químico, puede causar graves problemas de salud siendo tóxico para los sistemas nervioso e inmunitario, el aparato digestivo, la piel así como en los pulmones, riñones y ojos.

“El mercurio está considerado como un elemento químico muy peligroso porque se acumula en el cuerpo, es decir, “si una persona inhala 2 mg de mercurio, luego otros 2 mg, etcétera, la eliminación es muy baja y el resto permanece. Así, una persona de 70 años podría tener cantidades significativas de mercurio” ¹⁰

Dada el área de estudio, es importante mencionar que se mantiene encendida la iluminación las 24 horas del día sin importar la calidad de la iluminación proveniente del exterior, el consumo por luminaria diario es de 1766.4 W (watt) lo que en un mes laboral de 26 días, esta cifra se eleva a 45.93 kW (kilowatt-hora) por luminaria encendida. Si se tienen 48 luminarias en el centro de trabajo este consumo incrementa a 2,204.47 kW solamente de iluminación.

Para calcular el costo que este consumo genera se toma la cuota de kW de alta demanda que tienen la CFE en la zona central que es de \$2.71 y se multiplica por 2,204.47 kW, anexando el costo del servicio, dando un costo mensual de \$6,119.48 y anual de \$73,433.71

¹⁰ Amenaza luminosa, Profeco <http://www.profeco.gob.mx/cfe/luminosa.pdf>

4.1.2. Sistema de iluminación a implementar.

Las lámparas LED (por su siglas en ingles light-emitting diode, “*diodo emisor de luz*”) son una fuente de iluminación que en la actualidad siguen siendo una novedad que día a día se busca optimizar para que sean competentes en el mercado de la iluminación ya que tienen un potencial para el desarrollo de la eficiencia energética así como para el control de la contaminación lumínica

Es importante mencionar que la iluminación con lámparas LED’s a pesar de sus desventajas que puede tener en el costo de adquisición en comparación con la lámpara actual, tiene una mayor eficiencia gracias a su característica de ser unidireccional lo cual facilita el posicionar la luz en el lugar correcto. Esto quiere decir que, los lúmenes emitidos en la superficie o espacio a iluminar estarán presentes en mayor porcentaje, en otras palabras, las lámparas LED aportan un mayor factor de utilización, además de que al emitir una luz fría, no emiten rayos infrarrojos.

Se propone la utilización de lámparas de LED que cuenten con similitudes a la lámpara actual como es la compatibilidad con el balasto, esto con el objetivo de no aumentar los costos en la implementación del sistema.

Anteriormente se ha descrito las características del conjunto lámpara luminaria del sistema de iluminación actual, en el cual se determinó que es ineficiente debido a varios factores de los cuales podemos destacar la mala elección de lámpara que ilumina, por lo que se realizará el análisis de la implementación de una lámpara LED que mejore la calidad de iluminación conjuntamente con el rendimiento del trabajador con el fin de obtener colaboradores sanos y conformes.

En la Tabla 4.2 Características de la lámpara actual y lámpara a implementar, se muestra una comparación entre las diferencias de la lámpara actual y la sugerida para efectos de comparación.

Características	T8 Fluorescente Actual	Master LedTube EM/Mains T8
Potencia nominal	32 W	18 W
IRC	≥ 80	83
Flujo luminoso	1900 lm (lumen)	2050 lm
Temperatura del color	4000 k (kelvin)	6500 k
Longitud del tubo	1200 mm (milímetros)	1200 mm
Duración de vida útil	18000 hrs.	50000 hrs.
Casquillo	G13	G13
Consumo de energía	39 kWh/1000h	18 kWh/1000h
Contenido de mercurio	2.3 g	N/A

Fuente: Propia

Tabla 4.2 Características de la lámpara actual y lámpara a implementar. (Datos tomados de las especificaciones técnicas de las lámparas del fabricante)

➤ Análisis de comparación

- La lámpara elegida, tienen una potencia nominal de 18 w, lo que significa que se tendrá un ahorro del 43.75% comparada con la lámpara actual que es de 32 W en lo que refiere a consumo de energía, por lo que económicamente hablando se tendrá un ahorro.
- Como se comentó anteriormente, el flujo luminoso de la lámpara actual, es decadente debido a la mala distribución del mismo sumado a la mala limpieza de las luminarias, la lámpara sugerida tiene un flujo luminoso más amplio, justo para cubrir todos los espacios a iluminar, además de su apertura de haz que es de 160° que hace que las lámparas distribuyan mejor el flujo.
- La temperatura de color presente en la lámpara sugerida es de 6500°k correspondiente al rango de la luz fría, la cual permitirá al trabajador permanecer alerta, pues da una apariencia de día, lo que actualmente es imposible con la lámpara real pues su temperatura del color es cálida (4000°k) provocando que el colaborador se sienta relajado y su sistema circadiano envíe señales para que su cuerpo descanse provocando que baje su rendimiento.

Una vez elegida la lámpara, se verifico que la misma pudiera adaptarse a la distribución actual, para tener costos de instalación mínimos o nulos, a continuación se presentan los cálculos realizados basados en el método de las cavidades zonales:

✓ Cavidad del local:

$$h_h = h - (h_p - h_t)$$

$$h_h = 11.52 - (3.52 + 0.90)$$

$$h_h = 11.528 - (4.42)$$

$$h_h = 7.10$$

✓ Índice del local (k):

$$K = \frac{a \cdot b}{h_h \cdot (a + b)} =$$

$$K = \frac{(20.10)(15.36)}{7.10(20.10 + 15.36)}$$

$$K = \frac{308.79}{251.79}$$

$$K = 1.22 \approx 1.2$$

✓ Factor de utilización (FU):

Para calcular este valor, se determinó la capacidad de reflexión de las paredes y techos del área de estudio mostradas en la tabla 4.3 Factor de reflectancia del techo y paredes del área de estudio, dichos valores fueron obtenidos de las tablas de reflectancia efectivas en la tabla 2.13 en el capítulo 2.

	Color	Factor de reflexión
Techo	Blanco	0.7
Paredes	Marrón Claro	0.3

Elaboración: propia

Tabla 4.3 Factor de reflexión del techo y paredes del área de estudio. (Valores tomados de la tabla 2.13 Reflectancia efectiva para colores y texturas) según características del área de estudio.

APLICACIÓN DEL ESTUDIO PARA LA SELECCIÓN DE LA ILUMINACIÓN EN EL ÁREA DE MANUFACTURA

En la tabla 4.4. Representación gráfica de FU, observamos que una vez obtenidos los valores de reflexión del área de estudio, procedimos a determinar el valor del factor de utilización por medio de la tabla 2.14 Reflectancia efectivas.

% reflectancias techo	90				80				70			
% reflectancias de paredes	90	70	50	30	80	70	50	30	70	50	30	50
K	%											
0.2	89	88	86	85	78	78	77	76	68	67	65	
0.4	88	86	84	81	77	76	74	72	67	65	63	
0.6	87	84	80	77	76	75	71	68	65	63	59	
0.8	87	82	77	73	75	73	69	65	64	60	55	
1.0	86	80	75	69	74	72	67	62	62	58	53	
1.2	85	78	72	66	73	70	64	58	61	57	50	
1.4	85	77	69	62	72	68	62	55	60	55	47	

Elaboración propia

Tabla 4.4 Representación gráfica del FU. (Valores tomados de la Tabla 2.14 Reflectancia efectivas)

✓ Factor de mantenimiento (FM)

Se calcula este valor según lo sugiere la CIE como se muestra en la tabla 4.5

Asignación de FM

FACTOR DE MANTENIMIENTO SUGERIDOS POR LA C.I.E.								
Frecuencia de limpieza (años)	1				2			
Condiciones Ambientales	P	C	N	D	P	C	N	D
Luminarias Abiertas	0.96	0.93	0.89	0.83	0.93	0.89	0.84	0.78
Reflector parte superior abierta	0.96	0.90	0.88	0.83	0.89	0.84	0.80	0.75
Reflector parte superior cerrada	0.94	0.89	0.81	0.72	0.88	0.80	0.69	0.59
Reflectores cerrados	0.94	0.88	0.82	0.77	0.89	0.83	0.77	0.71
Luminarias a prueba de polvo	0.90	0.84	0.90	0.86	0.95	0.91	0.86	0.81
Luminarias con emisión indirecta	0.91	0.86	0.81	0.74	0.86	0.77	0.66	0.57

Elaboración propia.

Tabla 4.5 Asignación de FM. (Valores tomados de la tabla 2.15 Valores de FM sugeridos por la CIE)

- ✓ Flujo luminoso total

Para llegar al resultado de este valor, se identificó en la tabla 4.6 Luminancia media del área de estudio, el tipo de recinto y actividad que se realiza en el área de análisis para determinar la iluminancia media.

Tipo de recinto y Actividad	UGR _L	Iluminancia (lx)		
		Min.	Medio	Máx.
Trabajo en hierro y acero				
Plantas de producción que no requieren intervención manual	-	50	100	150
Plantas de producción que requieren intervención ocasional	28	100	150	250
Puestos de trabajo permanentes en plantas de producción	25	200	300	500
Plataformas de control e inspección	22	300	500	750
Taller de mecánica y de ajuste				

Elaboración propia

Tabla 4.6 luminancia media del área de estudio. (Valores tomados de la Tabla 2.13 Niveles de iluminación promedio en áreas de evaluación)

Una vez obtenido el valor, usamos la formula siguiente:

$$\varphi_{tot} = \frac{E_{medio} \cdot A}{FU \cdot FM}$$

$$\varphi_{tot} = \frac{(300)[(20.10)(15.36)]}{(0.5)(0.90)}$$

$$\varphi_{tot} = \frac{(300)(308.73)}{(0.45)}$$

$$\varphi_{tot} = 205,820.00$$

- ✓ Calculo de luminarias requeridas (N) y distribución

$$N = \frac{\varphi_{tot}}{\varphi_l \cdot n}$$

$$N = \frac{205,820.00}{(2100)(2)}$$

$$N = 49.02 \approx 48$$

Al ser el área de estudio un rectángulo, es difícil distribuir uniformemente 49 lámparas y sabiendo que el área actualmente cuenta con 48 luminarias distribuidas por la superficie de estudio, es preciso decir que esta, es la más adecuada para la implementación de la lámpara sugerida, por lo que en cuestión de costos de instalación, no se reflejara un gasto mayor.

- ✓ Distribución de las luminarias.

$$L_{ancho} = \sqrt{\frac{L_{total}}{a} * (b)} \qquad L_{largo} = (6.08) \frac{20.10}{15.36}$$

$$L_{ancho} = \sqrt{\frac{48}{20.10} (15.36)} \qquad L_{largo} = (6.08)(1.30)$$

$$L_{ancho} = \sqrt{36.68} \qquad L_{largo} = 7.95 \approx 8$$

$$L_{ancho} = 6.08 \approx 6$$

- ✓ Flujo luminoso real (φ real).

$$\varphi \text{ real} = L * n * \varphi L$$

$$\varphi \text{ real} = (48)(2)(2100)$$

$$\varphi \text{ real} = 201,600$$

- ✓ Iluminancia promedio real (E_{prom}).

$$E_{prom} = \frac{\varphi_{real} \cdot FU \cdot FM}{A}$$

$$E_{prom} = \frac{(201600)(0.5)(0.9)}{(20.10)(15.36)}$$

$$E_{prom} = \frac{90720}{308.73}$$

$$E_{prom} = 293.84$$

APLICACIÓN DEL ESTUDIO PARA LA SELECCIÓN DE LA ILUMINACIÓN EN EL ÁREA DE MANUFACTURA

En la tabla 4.7 Comparación iluminancia real – iluminancia promedio, se observa que efectivamente está en el rango de lo establecido por la CIE según el tipo de recinto y actividad.

Iluminancia Promedio: 293.84 ; Iluminancia Media: 300

• Tipo de recinto y Actividad	UGR _L	Iluminancia (lx)		
		Min.	Medio	Máx.
Trabajo en hierro y acero				
Plantas de producción que no requieren intervención manual	-	50	100	150
Plantas de producción que requieren intervención ocasional	28	100	150	250
Puestos de trabajo permanentes en plantas de producción	25	200	300	500
Plataformas de control e inspección	22	300	500	750

Elaboración propia

Tabla 4.7 Comparación iluminancia promedio – iluminancia media. (Valores tomados de la Tabla 2.13 Niveles de iluminación promedio en áreas de evaluación)

Una vez realizados los cálculos correspondientes, se puede observar que las características de la lámpara se adaptan a la distribución de luminarias del sistema actual, por lo que es factible realizar el cambio de estas luminarias sin generar un costo excesivo, además que este gasto se verá retribuido en un futuro gracias al ahorro de energía que se tendrá el cual se calcula a continuación.

El conjunto luminaria con lámparas LED presenta un consumo de 41.4 W por lo tanto la luminaria al mes consume 25.83 kW, resultando un consumo de 1,240.01 kW por el total de luminarias instaladas en el área (48 luminarias).

El costo mensual lo obtendremos multiplicando el consumo por el mismo factor que obtuvimos con el sistema actual, más el costo del servicio, obteniendo un gasto de \$3,505.80 mensual y anual de \$42,069.66. Con estos datos se presentan la diferencia en los costos de ambos sistemas en la tabla 4.8 costos de iluminación.

APLICACIÓN DEL ESTUDIO PARA LA SELECCIÓN DE LA ILUMINACIÓN EN EL ÁREA DE MANUFACTURA

Sistema	Consumo (KW) Mensual	Costo Mensual	Costo Anual
Actual	2204.47	\$6,119.48	\$73,433.71
Propuesto	1240.01	\$3,505.80	\$42,069.66
Ahorro	964.45	\$2,613.67	\$31,364.06

Fuente: Propia

Tabla 4.8 Costos de iluminación.

Por otra parte se pretende que con esta implementación en iluminación los accidentes laborales se reduzcan ya que generamos un mejor ambiente para el trabajador, aumentando su visibilidad y eliminando efectos dañinos en la luz que provoquen fatiga al cuerpo.

Se busca también ahorrar en los costos que representan las cuotas del IMSS ya que esta última es directamente proporcional al índice de siniestralidad, realizando las siguientes acciones para la prevención de los accidentes.

- ✓ Se plantea la implementación de un curso de inducción a los trabajadores de nuevo ingreso en el cual se les capacitara el manejo de los materiales así como de la maquinaria.
- ✓ Colocación de los señalamientos necesarios para el cuidado de los colaboradores, ya que como se mencionó anteriormente no se cuenta con este sistema y resulta contraproducente, pues han ocurrido accidentes por la falta de esto.
- ✓ Implementación de horario de descanso entre turno de 30 minutos pues de acuerdo a un artículo publicado por el New York Times el 24 de mayo del 2016 citado por Liz Alderman, indica que las empresas que reducen su jornada laboral, permitiendo un descanso en la jornada, reportan un incremento en la productividad, esto debido a que los trabajadores tienen tiempo de liberar el estrés descansando o distrayéndose en otra actividad.

Los costos actuales que tiene la empresa se mencionan a continuación:

APLICACIÓN DEL ESTUDIO PARA LA SELECCIÓN DE LA ILUMINACIÓN EN EL ÁREA DE MANUFACTURA

El salario diario integrado de un empleado es \$149.31 y con un índice de siniestralidad Clase V (proporcionado por la empresa) el cual tiene un porcentaje de 7.59% genera una cuota bimestral por empleado de \$1,485.96, esta empresa cuenta con una plantilla de 300 colaboradores, por lo tanto el costo es de \$445,788.00 y \$2,674,728.00 bimestral y anual, respectivamente.

Con los mismos datos que la empresa proporcionó y con un índice de siniestralidad de Clase IV el cual tiene un porcentaje de 4.65% se obtendría una cuota bimestral de \$1,354.48 por colaborador, lo que resultaría en \$406,344.00 bimestral y anual de \$2,438,064.00 de cuota del IMSS, por el total de los trabajadores de la empresa.

En la tabla 4.9 Costos IMSS se presentan las diferencias que se tienen respecto a las cuotas que debe cubrir la empresa comparando el sistema actual y al que se pretende llegar con la implementación de los diversos programas de adiestramiento e iluminación.

Sistema	Clase del Índice de Siniestralidad	Costo bimestral	Costo anual
Actual	V	\$445,788.00	\$2,674,728.00
Propuesto	IV	\$406,344.00	\$2,438,064.00
Ahorro	N/A	\$39,444.00	\$236,664.00

Fuente: Propia

Tabla 4.9 Costos IMSS.

Para obtener el ahorro total sumaremos los costos de iluminación y de cuotas del IMSS en ambos casos, se detalla en la tabla 4.10 Ahorros anuales totales.

Factores	Actual	Propuesta	Ahorro
Iluminación	\$73,433.71	\$42,069.66	\$31,364.06
Cuotas del IMSS	\$2,674,728.00	\$2,438,064.00	\$236,664.00
Totales	\$2,748,161.71	\$2,480,133.66	\$268,028.06

Fuente: Propia

Tabla 4.10 Ahorros anuales totales.

Sin embargo a este ahorro debemos indexar el costo de la actualización del sistema, además de los gastos en que la empresa incurrirá por los cursos de capacitación y las horas de descanso de los colaboradores. Para eso se realizaron las cotizaciones de las lámparas así como, los gastos de instalación, los gastos de mantenimiento,

APLICACIÓN DEL ESTUDIO PARA LA SELECCIÓN DE LA ILUMINACIÓN EN EL ÁREA DE MANUFACTURA

el costo de las horas-hombre que se le dedicaran a las capacitaciones contempladas en el proyecto y los gastos administrativos para la puesta en vivo. Se describen a continuación.

Se cotizaron lámparas T8 de LED las cuales tienen una vida útil de 50,000 horas marca Phillips con un costo de \$589.00 c/u para el proyecto se ocuparan 96 de estas lámparas reemplazando así las que actualmente se encuentran instaladas, este tipo de lámparas no requieren un balasto especial para funcionar ya que pueden ocupar el que se tiene actualmente, sin embargo la instalación si genera un costo para la empresa ya que se debe requerir el apoyo del área de mantenimiento utilizando a 2 técnicos los cuales realizaran toda la instalación y esto les llevara una semana laboral y considerando su sueldo se tomará en cuenta esto como los costos de instalación dando un valor de \$5,000.00, tan solo de instalación.

Este tipo de lámparas manejan una característica muy importante ya que el mantenimiento que requieren es menor al que se realiza en las fluorescentes, sin embargo se considerara un mantenimiento preventivo y limpieza semestral para mantenerlas en óptimas condiciones, esto lo realizará un solo técnico y ocupará 1 semana laboral, tomando este tiempo como costo de mantenimiento, con lo cual anualmente seria \$5,000.00.

Los cursos de capacitación solo se otorgara a los colaboradores del área de fabricación, esto debido a que por datos de la empresa, presenta el mayor índice de accidentes en toda la planta y están programados para que sean concluidos en 8 horas, diferido en 4 sesiones de 2 horas cada una, el costo por hora-hombre de esta área es de \$200.00 y se tienen 50 personas, lo que genera un costo para la empresa de \$80,000.00, sin embargo para no incurrir en costos de paro de operaciones se debe considerar que los operadores asistirán a los cursos de manera alternada, siempre manteniendo en funcionamiento las maquinas.

Entre los gastos administrativos se considerara el valor del proyecto y de la consultoría quedando en \$5,000.00 USD

APLICACIÓN DEL ESTUDIO PARA LA SELECCIÓN DE LA ILUMINACIÓN EN EL ÁREA DE MANUFACTURA

Con esto ya podremos determinar los costos que generará la implementación del sistema propuesto quedando detallados en la tabla 4.11 Costos Iniciales.

Factor	UM	Cantidad	Costo Unitario	Total
Lámparas	Pza.	96	\$589.00	\$56,544.00
Instalación	Días	14	\$357.14	\$5,000.00
Mantenimiento anual	Días	7	\$357.14	\$5,000.00
Costo Curso	Días	4	\$1,600.00	\$80,000.00
Costo Consultoría	USD	5,000	\$18.49	\$92,429.50
Total				\$238,973.50

Fuente: Propia

Tabla 4.11 Costos iniciales.

Una vez obtenido los costos de ambos sistemas se determinó el tiempo de retorno de la inversión. La comparación se muestra en la tabla 4.12 Ahorro del proyecto

Ahorro del Proyecto			
Sistema	IMSS	Iluminación	Total
Actual	\$2,674,728.00	\$73,433.71	\$2,748,161.71
Propuesto	\$2,438,064.00	\$42,069.66	\$2,480,133.66
Inversión y Mantenimiento	\$0.00	\$238,973.50	\$238,973.50
Ahorro 1er año	\$236,664.00	-\$207,609.44	\$29,054.56

Fuente: Propia

Tabla 4.12 Ahorro del proyecto

Como se puede observar en la tabla 4.12 el proyecto es rentable desde el primer año y continuando con los programas de capacitación en la reducción de accidentes se puede obtener un índice de siniestralidad Clase III provocando así un ahorro más significativo y haciendo más atractivo el proyecto para los directivos

Al realizar el análisis del área de trabajo, así como de los efectos negativos de la mala iluminación en el trabajador, se establecen criterios que traen consigo armonía entre el colaborador y su lugar de trabajo como es, la elección correcta de la luminaria para brindar un confort visual tomando en cuenta las características y dimensiones del local así como la eficaz distribución de las lámparas.

La correcta iluminación en el área de trabajo es fundamental, no sólo por el aspecto económico cuando se habla de un ambiente de trabajo confortable, sino por su influencia directa en la salud de las personas. Desde este referente; se obtienen las mejores condiciones físicas de iluminación en los puestos de trabajo, principalmente en el área de manufactura, que permitirán un mejor desempeño del colaborador y a su vez gocen de una mejor salud y confort en el área de trabajo.

Disminuir los efectos de la cronodisrupción es de vital importancia, pues afecta directamente la salud y el rendimiento del colaborador por lo que es un factor principal que se consideró para determinar las mejores condiciones a ofrecer en el área de trabajo para el colaborador y de esta manera, adoptar ciertas medidas de seguridad y cambios en la iluminación.

El implementar un sistema de iluminación adecuado en el área de trabajo, beneficiara a la empresa así como a los trabajadores, ya que con esto se genera un mejor ambiente laboral al no exponerlos a riesgos innecesarios y a su vez se incrementa su rendimiento.

La metodología adoptada para la implementación del sistema de iluminación, así como todas las consideraciones mencionadas a tomar en cuenta, dan como resultado que se escoja la mejor opción de iluminación para el área de manufactura a un bajo costo y con las mejores condiciones de trabajo, pues por un lado se toma en cuenta las características del área de trabajo, y por el otro se consideran las condiciones del trabajador y todos los efectos positivos y negativos que el sistema a implementar pueda causar.

Debido a la forma, dimensiones y tareas realizadas en el área de trabajo sujeta a esta investigación, el método las cavidades zonales nos brinda una mejor precisión

para cumplir con los objetivos, además que al realizar el estudio del sistema actual, se determinó que la posición de las luminarias es adaptable a este método, por lo que, hablando específicamente de costos por instalación del sistema serán muy bajos.

Se planteó en este estudio la utilización de luminarias con lámparas LED, que permiten un ahorro de energía, y a su vez una correcta iluminación sin desperdicio o exceso de la misma lo cual evita que ocurran deslumbramientos o falta de luz en las áreas de trabajo.

La temperatura de color cálida como la de la lámpara actual, provoca a los colaboradores sueño pues da la apariencia de un atardecer, el cual lleva al sistema fisiológico del mismo a envía señales a todo el cuerpo para que entre en estado de vigilia y por lo tanto su rendimiento comienza a disminuir lo que da como resultado que no desarrollen su actividad correctamente ya que se fuerzan a permanecer despiertos.

Al realizar un cambio a lámparas con una temperatura de color fría de 6500k (apariencia de medio día a día despejado) el colaborador permanecerá despierto además que sentirá un confort en su área de trabajo pues este tipo de iluminación también da apariencias de espacios más grandes, limpios y seguros, lo cual motiva al trabajador a realizar sus tareas con entusiasmo.

- **Amperio:** Unidad de intensidad de corriente eléctrica del sistema internacional, equivalente a la intensidad de una corriente constante que, al circular por dos conductores paralelos y rectilíneos, colocados a la distancia de un metro uno de otro en el vacío, produciría entre dichos conductores una fuerza de dos diez millonésimas de newton por cada metro de longitud. (Símbolo A).
- **Atenuación:** Disminución de la intensidad, la importancia o el valor de un hecho o de un suceso al transitar por cualquier medio de transmisión.
- **Altura de montaje:** Distancia vertical entre la superficie de la vía por iluminar y el centro óptico de la fuente de luz de la luminaria.
- **Balasto:** Unidad insertada en la red y una o más bombillas de descarga, la cual, por medio de inductancia o capacitancia o la combinación de inductancias y capacitancias, sirve para limitar la corriente de la(s) bombilla(s) hasta el valor requerido. El balasto puede constar de uno o más componentes.
- **Bombilla o lámpara:** Término genérico para denominar una fuente de luz fabricada por el hombre. Por extensión, el término también es usado para denotar fuentes que emiten radiación en regiones del espectro adyacente a la zona visible.
- **Células Ganglionares:** Las células ganglionares o neuronas ganglionares son células nerviosas esenciales para la visión. Específicamente, los núcleos de las células ganglionares se encuentran en el cerebro y sus axones (prolongaciones nerviosas de las neuronas) forman el nervio óptico. Este último está conectado con la retina ocular (zona situada en el fondo del ojo, compuesto por células fotosensibles). Transmite las informaciones percibidas por la retina ocular hasta el cerebro, que las traduce en imágenes comprensibles. Una afectación de las células ganglionares puede causar una disminución o una pérdida completa de la visión.
- **CIE:** La Comisión Internacional de Iluminación (usualmente conocida como CIE por las iniciales de su designación en francés: Commission Internationale

de l'Éclairage) es la principal autoridad internacional en el campo de la luz y la iluminación.

- **Coeficiente de utilización (CU o K):** Relación entre el flujo luminoso que llega a la superficie a iluminar (flujo útil) y el flujo total emitido por una luminaria.
- **Contaminación Lumínica:** Es el resplandor que se produce a causa de una excesiva emisión de luz proyectada sobre gases y partículas suspendidas en el aire. Esta luz artificial y desmesurada se desvía en varias direcciones sin sentido, en diferentes intensidades, sin horarios adecuados y en rangos espectrales innecesarios.
- **Coulomb:** Unidad de cantidad de electricidad del sistema internacional, equivalente a la cantidad de electricidad transportada en 1 segundo por una corriente de 1 amperio. (Símbolo C).
- **Cuerpo Negro:** es un objeto ideal que absorbe toda la luz y toda la energía radiante que incide sobre él, pero no se refleja o pasa a través del mismo
- **Curva de distribución luminosa:** También llamada **curva fotométrica**, es un diagrama polar donde se representa la intensidad luminosa de una lámpara o una luminaria, esta curva se obtiene al tomar mediciones de la intensidad luminosa desde distintos ángulos alrededor de una luminaria.
- **Curva ISO lux:** Línea que une todos los puntos que tienen la misma luminancia en el plano horizontal, para una altura de montaje de 1 m o 10 m y un flujo luminoso de 1 000 lm.
- **Cronodisrupción:** Alteración relevante del funcionamiento del sistema circadiano; es decir, del orden temporal interno de los ritmos circadianos bioquímicos, fisiológicos y de comportamiento. Se considera también a la ruptura de la relación de la fase normal entre los ritmos circadianos internos y los ciclos 24 horas del medio ambiente.
- **Desfase:** Diferencia o desajuste entre dos acciones, situaciones o procesos
- **Deslumbramiento:** Turbación de la vista por luz excesiva o repentina.

- **Ergonomía:** Estudio de las condiciones de adaptación de un lugar de trabajo, una máquina, un vehículo, etc., a las características físicas y psicológicas del trabajador o el usuario.
- **Espectro visible:** Es el espectro de radiación electromagnética que es visible para el ojo humano. Va desde una longitud de onda de 400 nm hasta 700 nm.
- **Fatiga:** Es una sensación de falta de energía, de agotamiento o de cansancio.
- **Fotometría:** Se encarga del estudio de la estimulación óptica que logra realizar la radiación electromagnética, es decir, mide la capacidad de la luz para incidir un brillo que estimule al ojo humano, permitiéndonos identificar las longitudes de ondas de luz que pueden ser perceptibles por el sentido de la vista.
- **Fotopigmento:** Un pigmento cuyo estado químico depende de su grado de iluminación, tales como los de la retina del ojo
- **Fotorreceptores:** Son neuronas especializadas sensibles a la luz, localizadas en la retina externa.
- **Fototransducción:** Es el proceso a través del cual la información captada por las células fotorreceptoras se convierte en señal eléctrica y luego se manda al cerebro.
- **Flujo luminoso (Φ):** Cantidad de luz emitida por una fuente luminosa en todas las direcciones por unidad de tiempo. Su unidad es el Lumen (lm).
- **Iluminancia (E):** Densidad del flujo luminoso que incide sobre una superficie. La unidad de iluminancia es el Lux (lx).
- **Hipotálamo:** Es un área del cerebro que se halla situado debajo del tálamo y que puede enmarcarse dentro del diencefalo. A través de la liberación de hormonas, el hipotálamo se encarga de la regulación de la temperatura del cuerpo, la sed, el hambre, el estado anímico y otras cuestiones de gran importancia.
- **IEC:** (Comisión Electrotécnica Internacional) es la organización líder a nivel mundial para la preparación y publicación de normas internacionales para

todas las tecnologías eléctricas, electrónicas y relacionadas. Éstos se conocen colectivamente como “electrotecnología”.

- **IP:** Sistema de codificación para indicar los grados de protección del envolvente contra el acceso a las partes peligrosas, así como de la penetración de los cuerpos sólidos extraños y penetración de agua.
- **Ley de Coulomb:** Proporciona la magnitud de la fuerza eléctrica que cualquier objeto ejerce sobre otro. (la dirección de la fuerza eléctrica siempre es a lo largo de la línea que une los dos objetos) si las dos cargas tienen signos iguales, se repelen, si las dos cargas son signos opuestos se atraen.
- **Ley inversa de los cuadrados:** dice que la intensidad de una fuente de luz puntual disminuye el cuadrado de la distancia que recorre con respecto a la fuente de luz. También dice que la superficie iluminada aumenta cuatro veces al doblar la distancia al foco.
- **Luminancia:** magnitud que expresa el flujo luminoso en una dirección determinada, por unidad de ángulo sólido y por unidad de área proyectada de la superficie radiante sobre el plano normal a la dirección de radiación, y cuya unidad en el sistema internacional es la candela por metro cuadrado.
- **Luminancia de adaptación:** Es el nivel al que se encuentra adaptado el ojo en un momento dado a los niveles de iluminación.
- **Luminosidad:** Es la cantidad de luz que puede llegar a entrar a través de la lente frontal de un objetivo. Con mucha luminosidad en un objetivo, se pueden realizar buenas imágenes aunque haya poca luz. La exposición también depende de la cantidad de luz que pasa a través de las lentes de nuestro objetivo durante un tiempo determinado.
- **Lux:** Unidad de intensidad de iluminación del Sistema Internacional, de símbolo lx, que equivale a la iluminación de una superficie que recibe normal y uniformemente un flujo luminoso de 1 lumen por metro cuadrado.
- **Melatonina:** Del griego mélan, (negro), el griego tónos, (tensión); y el latín -ina, (sustancia). Hormona sintetizada por la glándula pineal que está relacionada con el sueño y la oscuridad.

- **Núcleo supraquiasmático:** En ocasiones abreviado NSQ, es un centro primario de regulación de los ritmos circadianos mediante la estimulación de la secreción de melatonina por la glándula pineal.
- **Onda electromagnética (O.E.M.):** Es la perturbación simultánea de los campos eléctricos y magnéticos existentes en una misma región.
- **OIT:** Organización Internacional del Trabajo, es un organismo especializado de las Naciones Unidas que se ocupa de los asuntos relativos al trabajo y las relaciones laborales. Fue fundada el 11 de abril de 1919, en virtud del Tratado de Versalles.
- **Patología:** Rama de la medicina que se enfoca en las enfermedades del ser humano. Grupo de síntomas asociadas a una determinada dolencia.
- **Plano de trabajo:** Es la superficie horizontal, vertical u oblicua, en la cual es usualmente realizado, y cuyos niveles de iluminación deben ser medidos y especificados.
- **Ritmos biológicos:** Los Ritmos biológicos son la sucesión de cualquier fenómeno dentro de un sistema biológico a intervalos más o menos regulados. Los ritmos biológicos tienen un carácter hereditario, es decir, están genéticamente determinados
- **Ritmos Circadianos:** Del latín circa que significa “alrededor de” y diem que significa “día”, se definen como una serie de funciones biológicas que se repiten en intervalos regulares de aproximadamente 24 horas.
- **Ritmos endógenos:** Son sucesiones dentro de un sistema biológico que están relacionados directamente con los ciclos ambientales (día / noche)
- **Sensitividad:** Imagen o sensación subjetiva, propia de un sentido, determinada por otra sensación que afecta a un sentido diferente.
- **Sinestesia:** Imagen subjetiva, propia de un sentido, determinada por otra sensación que afecta a un sentido diferente.
- **Sistema Circadiano:** Sistema interno que se encarga de regular las funciones rítmicas que se presentan por las señales periódicas ambientales.
- **Sistema Endocrino:** También llamado sistema de glándulas de secreción interna es el conjunto de órganos y tejidos del organismo, que segregan un

tipo de sustancias llamadas hormonas, que son liberadas al torrente sanguíneo y regulan algunas de las funciones del cuerpo. Es un sistema de señales similar al del sistema nervioso, pero en este caso, en lugar de utilizar impulsos eléctricos a distancia, funciona exclusivamente por medio de sustancias (señales químicas).

- **SARA:** Es un conjunto de neuronas que se extienden desde la médula espinal hasta el tálamo. Permite que el cuerpo se pueda despertar después de un sueño prolongado, y mantenerse alerta durante el día, regula la percepción del dolor y es influyente en el control de los movimientos voluntarios así como la actividad visceral.
- **UGRL:** Unified Glare Rating (Clasificación de brillo unificado). Índice de deslumbramiento unificado.

- Álvarez, J. L. (2009). *Ergonomía y psicología aplicada. Manual para la formación del especialista*. Lex Nova.
- Barreto, J. A. (julio de 2008). *Instituto de Astronomía*. (UNAM, Ed.) Recuperado el 06 de marzo de 2017, de Radiación de un Cuerpo Negro:
<http://www.astroscu.unam.mx/~tony/espanol/astro-gal-7-cuerpo-negro.pdf>
- Bron , W. F., & Boulpaep, E. L. (2009). *Medical Physiology* (Update Second Edition ed.). Philadelphia: Saunders Elsevier.
- Carlos, L. (s.f.). *Manual de luminotecnia para interiores*. Recuperado el 01 de marzo de 2017, de
http://www.laszlo.com.ar/Items/ManLumi/issue/Manual_de_Luminotecnia.PDF
- Clark, A. (10 de octubre de 1981). Studied motivation and effects of color. *The New York Times*. Recuperado el 01 de marzo de 2017, de
<http://www.nytimes.com/1981/10/10/obituaries/louis-cheskin-72-studied-motivation-and-effects-of-color.html>
- Departamento de Ingeniería. (s.f.). *Colores*. (UNICEN, Ed.) Recuperado el 10 de marzo de 2017, de Sistema de determinación de colores:
http://www.fio.unicen.edu.ar/usuario/segumar/a13-3/material/Color_higiene.pdf
- Dupont , L. (2010). 1001 trucos publicitarios. Masterclass.
- ERCO. (s.f.). *Factor de mantenimiento*. Recuperado el 05 de junio de 2016, de Fundamentos de cálculo para el mantenimiento: <http://www.erco.com/guide/simulation-and-calculation/maintained-value-2723/es/>
- Escola Superior de Disseny i d'Arts Plàstiques de Catalunya. (s.f.). *Psicologia del color*. Recuperado el 25 de junio de 2016, de Sergrafia Artística:
<http://www.eartvic.net/~mbaurierc/materials/20%20Selectivitat/Psicologia%20del%20color.pdf>
- Fink, D. G., & Beaty, H. W. (1995). *Manual de Ingeniería Eléctrica*. (13 ed.). McGraw-Hill Interamericana de Mexico.
- Gómez, Q. J. (s.f.). *Produccion y Generación de Energía Eléctrica*. Recuperado el 24 de Octubre de 2016, de Tecnológico de Monterrey:
<http://www.mty.itesm.mx/etie/deptos/ie/profesores/jgomez/ie/prodgen.pdf>
- Heller, E. (2004). *Psicologia del color: Como actuan los colores sobre los sentimientos y la razón* (1 ed.). Gustavo Gill.
- Instituto Nacional de la Salud. (Septiembre de 2010). Extrañando la Osucridad. *Redalyc*, 52(5). Recuperado el 01 de marzo de 2017, de
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=10617417015>
- Instituto Nacional de Electricidad y Energias Limpias. (s.f.). *Energias no Convencionales*. Recuperado el 10 de Enero de 2017, de Instituto Nacional de Electricidad y Energias Limpias: <https://www.ineel.mx/boltec/dea.pdf>

- Instituto Nacional de Tecnologías Educativas y de Formación del Profesorado. (s.f.). *Grados de protección proporcionados por las envolventes de los materiales eléctricos: código ip, una 20324 en 60529 y código ik, una-en 50102*. Recuperado el 05 de abril de 2016, de http://platea.pntic.mec.es/alabarta/CVE/Soporte/Materiales/ip_ik22.pdf
- Marín Naranjo, L. D. (s.f.). *Radiometría y fotometría*. Recuperado el 02 de marzo de 2017, de Laboratorio de fotónica y tecnología láser aplicada: <http://www2.eie.ucr.ac.cr/~lmarin/docs/RadiometriaYFotometriaLAFTLA.pdf>
- Ministerio de Comercio Industria y Turismo. (2010). *Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público (RETILAP)*. Republica de Colombia: Industria y Comercio Superintendencia.
- Ministerio de minas y energía (Colombia). (30 de marzo de 2010). *Resolución 180540*. Recuperado el 17 de mayo de 2016 , de <http://legal.legis.com.co/document?obra=legcol&bookmark=bf1de6b305c1e13428f889c919b1892aca9nf9>
- Montalvo Arenales, C. E. (agosto de 2010). *Optica*. Recuperado el 01 de junio de 2016, de Facultad de Medicina, Departamento de Biología Celular y Tisular: http://histologiaunam.mx/descargas/ensenanza/portal_recursos_linea/apuntes/1_optica.pdf
- Nogareda Cuixart, S., & Nogareda Cuixart , C. (s.f.). *NTP 455: Trabajo a turnos y nocturno: aspectos organizativos*. Recuperado el 05 de febrero de 2017, de Ministerio de trabajo y asuntos sociales España, Instituto nacional de seguridad e higiene del trabajo: http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/401a500/ntp_455.pdf
- Oertiz Tudela, E., Bonmatí Carrión , M. d., De la Fuente , M., & Mendiola , P. (Diciembre 2011). La Cronodisrupción como causa del envejecimiento. Madrid : Elsevier España, S.L. Todos los derechos reservados. Recuperado el 02 de 03 de 2017, de <http://www.elsevier.es/es-revista-revista-espanola-geriatria-gerontologia-124-articulo-la-cronodisrupcion-como-causa-envejecimiento-S0211139X1100326X>
- Organización Internacional del Trabajo. (2003). *La seguridad en cifras*. Recuperado el 20 de mayo de 2016, de International Labour Organization: https://www.ilo.org/legacy/english/protection/safework/worldday/report_esp.pdf
- Palastanga , N., Field , D., & Soames, R. (2007). *Anatomía y movimiento humano. Estructura y funcionamiento*. (P. G. Campo, Trad.) Paidotribo.
- Profeco. (17 de enero de 2017). *Amenaza luminosa*. Recuperado el 02 de marzo de 2017, de Profeco: <http://www.profeco.gob.mx/cfe/luminosa.pdf>
- Puell Marín, M. (s.f.). *Óptica Fisiológica: El sistema óptico del ojo y la visión binocular*. España: Universidad Complutense de Madrid.

- Ramonet Ignacio. (27 de junio de 2015). Aprender cómo nos manipulan. *La Jornada*. Recuperado el 01 de marzo de 2017, de <http://www.jornada.unam.mx/2015/06/27/opinion/022a1mun>
- Renoux, D. (19 de abril de 2013). *Technical guideline for interpretation and use of CQIs - Deliverable D314*. Recuperado el 2016 de junio de 25, de EURAMET: https://www.euramet.org/Media/docs/Repository/A169/ENG05_Lighting/ENG05_D314_V20.pdf
- Rodríguez Galbarro, H. (s.f.). *Documento Basico HE Ahorro de energía*. Recuperado el 05 de agosto de 2016, de Ingemecanica: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/objetos/figutut281/doc1tut281.pdf>
- Schauss, A. G. (1979). *Tranquilizing Effect of Color Reduces Aggressive Behavior and Potential Violence*. Recuperado el 25 de febrero de 2017, de Journal of orthomolecular psychiatry: <http://orthomolecular.org/library/jom/1979/toc4.shtml>
- Secretaria de Energias. (s.f.). *Sector Electrico Nacional Sub Secretaria de Electricidad*. Recuperado el 10 de Enero de 2017, de Estadísticas del Sector Electrico: <http://egob2.energia.gob.mx/portal/electricidad.html>
- Secretaria de Trabajo y Prevención Social. (30 de diciembre de 2008). Norma Oficial Mexicana NOM-025STPS-2008. *Condiciones de iluminación en los centros de trabajo*. Recuperado el 01 de marzo de 2017, de <http://www.stps.gob.mx/bp/secciones/dgsst/normatividad/normas/Nom-025.pdf>
- Secretaria del Trabajo y Previsión Social. (30 de diciembre de 2008). *Diario oficial*. Recuperado el 10 de abril de 2016, de NORMA Oficial Mexicana NOM-025-STPS-2008, Condiciones de iluminación en los centros de trabajo.: <http://www.stps.gob.mx/bp/secciones/dgsst/normatividad/normas/Nom-025.pdf>
- Sistemas electrotécnicos y automatizados*. (24 de abril de 2013). Obtenido de Luminarias: <https://ieprofesor.files.wordpress.com>
- Sociedad de Ergonomistas de México, A.C. (26 de mayo de 2004). *Influencia del trabajo nocturno y la rotación de turnos en el individuo*. Recuperado el 2016 de mayo de 10, de Sociedad de Ergonomistas: <http://www.semac.org.mx/archivos/6-28.pdf>
- Taboada, J. (s.f.). El ojo humano. (OSRAM, Ed.) *Manual de luminotecnia*. Recuperado el 07 de febrero de 2017, de http://www.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/Arquitetural/manuais/manual_de_lumotecnia.pdf
- Universidad Peruana de Ciencia Aplicada. (s.f.). *Curso on-line de iluminación*. Recuperado el 05 de Abril de 2016, de <http://grlum.dpe.upc.edu/manual/index2.php>

Esquemas

Esquema 1.1 Efectos negativos en el trabajo a turnos. Elaboración propia.	3
Esquema 2.1 Nomenclatura para grado de protección. Elaboración propia.	24

Imágenes

Imagen 1.1 El sistema óptico del ojo. Elaboración propia.	6
Imagen 1.2 La retina.	7
Imagen 1.3 Ciclo de melatonina. Elaboración propia.	9
Imagen 1.4 Efecto Purkinje. Elaboración propia.	10
Imagen 1.5 Grafica de la corriente por el campo eléctrico. Elaboración propia.	12
Imagen 2.1 Curva de distribución luminosa para lámpara de alta densidad. Elaboración propia.	23
Imagen 2.2 Cavidades del local.	37
Imagen 3.1 Espectro electromagnético. Elaboración propia.	46
Imagen 3.2 Optima absorción de conos y bastones. Elaboración propia.	48
Imagen 3.3 Flujo luminoso y flujo radiante, donde 1 W equivale a 685 lm. Elaboración propia.	49
Imagen 3.4 Círculo Cromático; Colores Cálidos y Fríos. Elaboración propia.	52
Imagen 3.5 La temperatura del color. Elaboración propia.	67
Imagen 3.6 Escala del IRC según la CIE. Elaboración propia.	67
Imagen 4.2 Corte transversal del área de estudio, medidas en metros.	66
Imagen 4.3 Layout vista superior de la nave, medidas en metros.	67
Imagen 4.4 Layout área de estudio, medidas en metros.	68

Tablas

Tabla 1.1 Elementos, características y función del ojo humano. Elaboración propia.	5
Tabla 1.2 Puntos Cardinales. Elaboración propia.	6
Tabla 1.3 Capacidad Efectiva de Generación del sector eléctrico nacional. Elaboración propia.	18
Tabla 1.4 Fuentes de energía convencionales y no convencionales. Elaboración propia.	19
Tabla 2.1 Ventajas y desventajas de los tipos de distribución luminosa. Elaboración propia.	22
Tabla 2.2 Grado de protección contra el ingreso de cuerpos sólidos. Elaboración propia.	25
Tabla 2.3 Grado de protección contra el ingreso de líquidos. Elaboración propia.	25
Tabla 2.4 Protección proporcionada por las letras adicionales. Elaboración propia.	26
Tabla 2.5 Grado de protección eléctrica. Elaboración propia.	26
Tabla 2.6 Niveles de iluminación (lux). Elaboración propia.	28

ÍNDICE DE ESQUEMAS ILUSTRACIONES Y TABLAS

Tabla 2.7 Niveles de iluminación para tareas visuales y área de trabajo.	29
Tabla 2.8 Niveles máximos permisibles del factor de reflexión.	30
Tabla 2.9 Altura de suspensión de lámparas.	30
Tabla 2.10 Relación entre el Índice de Área y el número de Zonas de Medición.	34
Tabla 2.11 Reflectancia efectiva para colores y texturas (Valores en %). Elaboración propia.	36
Tabla 2.12 Niveles de iluminación promedio en áreas de evaluación. Elaboración Propia.	38
Tabla 2.13 Valores de VEEI máximos permitidos. Elaboración propia.	39
Tabla 2.14 Reflectancia efectivas. Elaboración propia.	41
Tabla 2.15 Valores de FM sugeridos por la CIE. Elaboración propia.	42
Tabla 2.16 Comparación general de fuentes artificiales de iluminación. Elaboración propia.	45
Tabla 3.1 Tipos de conos y percepción de color.	47
Tabla 3.2 Variables fundamentales en la radiometría y fotometría del sistema internacional. Elaboración propia.	50
Tabla 3.3 Efecto de los colores en las Personas. Elaboración propia.	52
Tabla 4.1 Porcentaje de las causas de muertes atribuibles al trabajo.	61
Tabla 4.2 Características de la lámpara actual y lámpara a implementar. (Datos tomados de las especificaciones técnicas de las lámparas del fabricante).	71
Tabla 4.3 Factor de reflexión del techo y paredes del área de estudio. (Valores tomados de la tabla 2.13 Reflectancia efectiva para colores y texturas) según características del área de estudio.	72
Tabla 4.4 Representación gráfica del FU. (Valores tomados de la Tabla 2.14 Reflectancia efectivas). . .	73
Tabla 4.5 Asignación de FM. (Valores tomados de la tabla 2.15 Valores de FM sugeridos por la CIE). .	73
Tabla 4.6 luminancia media del área de estudio. (Valores tomados de la Tabla 2.13 Niveles de iluminación promedio en áreas de evaluación)	74
Tabla 4.7 Comparación iluminancia promedio – iluminancia media. (Valores tomados de la Tabla 2.13 Niveles de iluminación promedio en áreas de evaluación)	76
Tabla 4.8 Costos de iluminación.	77
Tabla 4.9 Costos IMSS.	78
Tabla 4.10 Ahorros anuales totales.	78
Tabla 4.11 Costos iniciales.	80
Tabla 4.12 Ahorro del proyecto.	80