

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**EVALUACIÓN, CÁLCULO Y REDISEÑO DE ILUMINACIÓN EN
LOS PUESTOS DE TRABAJO DE OFICINAS Y TALLERES DE
MANTENIMIENTO DE UNA INDUSTRIA PETROLERA.
CARACAS 2006.**

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela

Por los Bachilleres

Álvarez A. César A.

Esteban A. Sánchez B.

Para optar al Título de Ingeniero Mecánico

Caracas, 2007

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

EVALUACIÓN, CÁLCULO Y REDISEÑO DE ILUMINACIÓN EN LOS PUESTOS DE TRABAJO DE OFICINAS Y TALLERES DE MANTENIMIENTO DE UNA INDUSTRIA PETROLERA. CARACAS 2006.

TUTOR ACADÉMICO: Prof. Eric Omaña

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela

Por los Bachilleres

Álvarez A. César A.

Esteban A. Sánchez B.

Para optar al Título de Ingeniero Mecánico

Caracas, 2007

Caracas, 8 de febrero de 2007

ACTA

Los abajo firmantes, miembros del jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Mecánica, para evaluar el Trabajo especial de Grado presentado por los Bachilleres César A. Álvarez A. y Esteban A. Sánchez B., titulado:

“Evaluación, cálculo y rediseño de iluminación en los puestos de trabajo de oficinas y talleres de mantenimiento de una industria petrolera. Caracas 2006.”

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al título Ingeniero Mecánico, y sin que ella signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas con los autores, lo declaran APROBADO



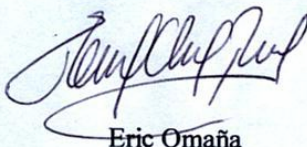
Prof. Felix Flores

Jurado



Prof. Pedro Lecue

Jurado



Eric Omaña

Tutor

DEDICATORIA

A Dios, a mi Patria y a mis padres, que sin ellos no sería quien soy.

César Álvarez

A Valeria Bonvento, a mis abuelas, a Juana y a Pedro.

Esteban Sánchez

AGRADECIMIENTOS

A nuestro Tutor, por haber confiado en nosotros.

A María Bastidas, Fidelina, Rosiris, Soraya, Sandra, Maripaz, Nancy, Hederlee, Irazema, Rafael, Héctor, Freddi, Willmer, y Nagib por toda colaboración prestada. Sin ellos no habría sido posible la realización de este trabajo.

A Zamudio, por su apoyo incondicional.

A nuestras amigas Jeniffer y Guimar, por la ayuda que nos dieron durante el desarrollo de este trabajo.

A los muchachos de la fotocopidora Lyn Jerry, Pepe y Rene, por todas las copias.

Al Che, que con su ejemplo de sacrificio nos sirvió de inspiración. A Fidel por su grandeza y dignidad ante el imperio. A Chávez por enseñarnos a vencer.

A todos los caídos en la lucha contra el imperialismo, a todos los que lucharon por un mundo de iguales.

A todos aquellos que de alguna forma contribuyeron con el desarrollo de este trabajo.

A todos, mil gracias.

RESUMEN

Álvarez A., César A. y Sánchez B., Esteban A.

EVALUACIÓN, CÁLCULO Y REDISEÑO DE ILUMINACIÓN EN LOS PUESTOS DE TRABAJO DE OFICINAS Y TALLERES DE MANTENIMIENTO DE UNA INDUSTRIA PETROLERA. CARACAS 2006.

Tutor académico: Prof. Eric Omaña. Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería.
Escuela de Ingeniería Mecánica. 2007, 212 Pág.

Palabras clave: Iluminación, Riesgo por iluminación, Rediseño de iluminación,
Notificación.

En este Trabajo Especial de Grado se evaluó el riesgo por iluminación en puestos de trabajo de oficinas y talleres ubicados en instalaciones de Petróleos de Venezuela S.A. Para ello, se efectuaron luxometrías en los puestos de trabajo, siguiendo los lineamientos dictados por la norma COVENIN 2249-93 “Iluminancias en tareas y áreas de trabajo”. La evaluación del riesgo por iluminación se enfoca en las condiciones del medio ambiente de trabajo donde se encuentra el puesto evaluado, considerando colores, tipos de luminarias y si existe deslumbramiento u otra situación particular que indique la existencia de este tipo de riesgo. También se desarrolló un programa computacional que permite realizar la notificación de los niveles de iluminación obtenidos, y rediseñar iluminación. Este programa está realizado en PHP y MySQL, que por ser lenguajes de código abierto, permiten realizar una aplicación alternativa a las de código cerrado.

INDICE

DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
RESUMEN.....	v
INDICE	vi
INDICE DE TABLAS	ix
INDICE DE FIGURAS.....	x
ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS.....	xii
INTRODUCCIÓN	13
CAPITULO I.....	16
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	16
1.1.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	16
1.2.- OBJETIVOS	17
1.2.1.- Objetivo general.....	17
1.2.2.- Objetivos específicos	17
1.3.- ALCANCES	18
CAPITULO II	20
MARCO TEÓRICO.....	20
2.1.- PRINCIPIOS DE LUMINOTÉCNIA.....	20
2.1.1.- Naturaleza de la luz.....	20
2.1.2.- Iluminación	23
2.1.3.- Magnitudes luminotécnicas	24
2.1.4.- Propiedades ópticas de la materia.....	27
2.1.5.- Propiedades cromáticas de la luz	29
2.2.- LÁMPARAS.....	30
2.2.1.- Lámparas incandescentes.....	30
2.2.2.- Lámparas vapor de mercurio a alta presión.....	31
2.2.3.- Lámparas fluorescentes.....	32
2.3.- LUMINARIAS	34
2.3.1.- Clasificación de las luminarias	35
2.3.2.- Tipos de luminarias.....	38
2.4.- ALUMBRADO INTERIOR.....	41
2.4.1.- Nivel de iluminación.....	42
2.4.2.- Distribución de luminancias en el campo visual.	44
2.4.3.- Distribución de la luminancia en la zona de trabajo.....	45
2.4.4.- Deslumbramiento.....	46
2.4.5.- Calidad del color.....	47
2.4.6.- Esquema de color.....	48
2.5.- DISEÑO DEL ALUMBRADO INTERIOR.....	50
2.5.1.- Trabajos interiores.	50
2.5.2.- Equilibrio entre luz natural y luz artificial.....	52
2.5.3.- Alumbrado de oficinas.....	52

2.5.4.- Alumbrado industrial	54
2.6.- CÁLCULOS DE ALUMBRADO INTERIOR	55
2.6.1.- Método de la cavidad de zona o cavidad zonal.	55
2.7.- FUNDAMENTOS DE LA SALUD Y SEGURIDAD EN EL TRABAJO	62
2.7.1.- Salud y Seguridad en el Trabajo (SST)	62
2.7.2.- Enfermedades Ocupacionales.....	63
2.7.3.- Riesgos en el Trabajo.....	64
2.7.4.- Notificación de los Riesgos en los lugares de Trabajo	64
2.8.- RIESGO POR ILUMINACIÓN	69
CAPÍTULO III	72
METODOLOGÍA	72
3.1.- CONSIDERACIONES GENERALES.....	72
3.2.- PROCEDIMIENTO PARA LA EVALUACIÓN DE ILUMINACIÓN	73
3.2.1.- Obtención de datos para evaluación	73
3.2.2.- Mediciones de iluminación.....	73
3.2.3.- Toma de datos relacionados con el área de trabajo	75
3.2.4.- Ubicación de los puestos de trabajo en el plano de la infraestructura evaluada	78
3.2.5.- Evaluación de los puestos de trabajo.....	79
3.3.- PROCEDIMIENTO PARA EL REDISEÑO DE LOS PUESTOS DE TRABAJO.....	80
3.4.- HERRAMIENTAS INFORMÁTICAS DE NOTIFICACIÓN Y REDISEÑO DE ILUMINACIÓN EN PUESTOS DE TRABAJO	81
3.4.1.- Programa de notificación y cálculo de iluminación (PDVLUX).....	81
3.4.2.- Elección del lenguaje de programación	85
3.4.3.- Esquema de presentación final del programa de notificación y cálculo de iluminación (PDVLUX).....	85
CAPITULO IV	87
EVALUACIÓN DE RIESGO POR ILUMINACIÓN.....	87
4.1.- SITUACIÓN GENERAL DE LOS PUESTOS DE TRABAJO.....	87
4.2.- SITUACIÓN DE LOS PUESTOS DE TRABAJO POR INSTALACIÓN....	87
4.2.1.- Edificio Sede de Maturín (ESEM).....	88
4.2.2.- Edificio Pawa.....	89
4.2.3.- Edificio La Campiña.....	90
4.2.4.- Refinería El Palito.....	91
4.3.- EVALUACIÓN DE PUESTOS DE TRABAJO POR INSTALACIÓN	92
4.3.1.- Edificio Sede de Maturín (ESEM).....	92
4.3.2.- Edificio Pawa.....	97
4.3.3.- Edificio La Campiña.....	99
4.3.4.- Refinería El Palito.....	101
4.4.- LIMITACIONES IMPUESTAS A LA EVALUACIÓN	106
4.5.- LOGROS DE LA EVALUACIÓN	107
CAPITULO V	108
REDISEÑO DE PUESTOS DE TRABAJO.....	108

5.1.- REDISEÑO DE PUESTO DE TRABAJO UTILIZANDO EL PROGRAMA	
PDVLUX	108
CONCLUSIONES	112
RECOMENDACIONES.....	115
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	117
ANEXO I	120
ANEXO II.....	209

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ventajas y desventajas de las lámparas incandescentes. [Elaboración propia]	31
Tabla 2. Ventajas y desventajas de las lámparas de descarga de gas [Elaboración propia]	32
Tabla 3. Ventajas y desventajas de las lámparas fluorescentes. [Elaboración propia]	34
Tabla 4. Distribución del flujo luminoso respecto a la horizontal (en porcentaje). [Elaboración propia].	35
Tabla 5. Clasificación de luminarias industriales de iluminación directa, según el espacio permisible/altura de instalación. [Phillips, 1976]	36
Tabla 6. Clasificación de luminarias según las características mecánicas [Elaboración propia]	37
Tabla 7. Clasificación CEE de luminarias de acuerdo con el tipo de protección eléctrica. [Elaboración propia]	37
Tabla 8. Aspecto cromático de las lámparas [Elaboración propia]	47
Tabla 9. Factores de reflexión de diferentes colores y materiales iluminados con luz blanca. [Enciclopedia de salud en el trabajo, 2006]	57
Tabla 10. Factores de reflexión. [Baschuk, 1977]	57
Tabla 11. Coeficiente de depreciación. [Elaboración propia]	59
Tabla 12. Clasificación de las tareas realizadas por puesto de trabajo [Elaboración propia]	77
Tabla 13. Niveles de iluminación para actividades de “Lectura”, según la norma COVENIN 224993. [Elaboración propia]	77
Tabla 14. Codificación de puestos de trabajo. [Elaboración propia]	79
Tabla 15. Variables de entrada [Elaboración propia]	82
Tabla 16. Variables de salida. [Elaboración propia]	82
Tabla 17. Campos de la Base de Datos. [Elaboración propia]	84
Tabla 18. Características de la oficina tomada como modelo. [Elaboración propia]	108
Tabla 19. Datos para el rediseño de iluminación [Elaboración propia]	109
Tabla 20. Datos a utilizar para el rediseño de iluminación. [Elaboración propia]	110

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Espectro electromagnético. [Norma Técnica Española 211, Iluminación de los centros de trabajo]	23
Figura 2. Diferencia de luminancia entre la mesa y los objetos sobre ella. [Norma Técnica Española 211, Iluminación de los centros de trabajo]	25
Figura 3. Magnitudes luminotécnicas. [Norma Técnica Española 211, Iluminación de los centros de trabajo]	26
Figura 4. Lámpara incandescente. [www.sylvania-lamps.com]	30
Figura 5. Lámpara de vapor de mercurio a alta presión [www.sylvania-lamps.com]	31
Figura 6. Lámpara fluorescente tubular [www.sylvania-lamps.com]	33
Figura 7. Lámpara fluorescente compacta [www.sylvania-lamps.com]	33
Figura 8. Clasificación CIE según la distribución de luz. [García, Boix, 2001]	36
Figura 9. Luminarias para lámparas fluorescentes. [Harper, 2006]	38
Figura 10. Tipos generales de actividad en áreas interiores. [COVENIN 2249 1993]	43
Figura 11. Cavidades de techo, cuarto y piso. [Harper, 2006]	55
Figura 12. Factores de corrección para coeficientes de utilización. [Baschuk, 1977]	58
Figura 13. Planos de trabajo de puestos de tipo modular. [Elaboración propia]	74
Figura 14. Esquema de trabajo del programa PDVLUX. [Elaboración propia]	86
Figura 15. Ejemplo de luminarias defectuosas en el Edificio Sede de Maturín.	92
Figura 16. Luminarias con difusor prismático en el Edificio Sede de Maturín.	93
Figura 17. Luminaria sucia. Edificio Sede de Maturín.	93
Figura 18. Luminaria seccionada. Edificio Sede de Maturín.	94
Figura 19. Distribución irregular de luminarias. Edificio Sede de Maturín.	94
Figura 20. Luminaria obstaculizada por unidad de aire acondicionado. Edificio Sede de Maturín.	95
Figura 21. Luminaria mal instalada. Edificio Sede de Maturín.	95
Figura 22. Puesto de trabajo donde se presenta deslumbramiento directo. Edificio Sede de Maturín.	96
Figura 23. Hacinamiento en puestos de trabajo. Edificio Sede de Maturín.	96
Figura 24. Distribución irregular de luminarias. Edificio La Campiña.	100
Figura 25. Luminaria seccionada por pared. Edificio Administrativo. Refinería El Palito.	101
Figura 26. Luminarias con difusores prismáticos en mal funcionamiento y difusores decolorados. Refinería El Palito.	102
Figura 27. Luminaria inoperativa por falta de componentes. Taller de Metales y Máquinas de Herramientas. Refinería El Palito.	102
Figura 28. Luminarias defectuosas. Taller de Metales y Máquinas de Herramientas. Refinería El Palito.	103
Figura 29. Luminaria sucia. Taller de Metales y Máquinas de Herramientas. Refinería El Palito.	103
Figura 30. Distribución irregular de los colores de las fuentes de luz artificial. Taller de Metales y Máquinas Herramientas. Refinería El Palito.	104

Figura 31. Oficina 607 del Edificio de Seguridad, Higiene y Ambiente. Refinería El Palito.	104
Figura 32. Ventana obstaculizada por afiches y mobiliario. Edificio de la Gerencia. Refinería El Palito.	105

ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS

γ	Ángulo de luminancia
cd	Candela
°C	Centígrado
cm	Centímetro
Kd	Coeficiente de depreciación
Ku	Coeficiente de utilización
CIE	Commission Internationale de L'eclairage
Φ	Flujo luminoso
F	Flujo total de luminaria
IES	Illuminating Engineering Society
E	Iluminancia
I	Intensidad luminosa
CEE	Internacional Comission on Rules for the Approval of Electrical Equipement
IEC	International Electrotechnical Commission
K	Kelvin
lm	Lumen
Lm	Luminancia máxima
Lo	Luminancia media
mm	Milímetro
nm	Nanómetros
NL	Número de luminarias
CS	Sensibilidad al contraste
A	Superficie aparente
S	Superficie del suelo
Ct	Umbral de contraste

INTRODUCCIÓN

Las condiciones en los lugares de trabajo se ven influenciadas directamente por la actividad productiva, ya sea de forma positiva o negativa. Cuando estas condiciones son extremadamente desfavorables se corre el riesgo que los trabajadores y las trabajadoras puedan enfermar o accidentarse como consecuencia del trabajo realizado.

Los progresos tecnológicos, las condiciones políticas, sociales, económicas, entre otras, influyen directamente en la definición de los objetivos de la salud y seguridad en el trabajo de cada país. Por lo que la aplicación de medidas adecuadas, para prevenir y controlar los riesgos en el medio ambiente de trabajo son inherentes a este progreso.

El desarrollo de los bombillos hizo posible el uso de luz artificial sin necesidad de utilizar el fuego como medio de iluminación. Tanto en hogares como en lugares de trabajo, la iluminación por medio de luminarias se hizo común. Esto motivó la realización de estudios con la finalidad de mejorar las condiciones laborales y la productividad, permitiendo mayor comodidad para el trabajador o trabajadora cuando realiza las labores que demandan el uso de la visión. Como resultados de estos estudios se han establecido normas para adecuar los lugares de trabajo, tomando en cuenta el tipo de labor realizada.

Actualmente, y con base en las normas establecidas para la iluminación, se realizan estudios en los lugares de trabajo para conocer y mejorar las condiciones de los mismos. Estos tienen como fin determinar la cantidad y calidad de luz adecuadas, de tal manera que permita realizar labores con eficiencia y comodidad, además de optimizar la percepción de la información visual utilizada en el desarrollo del trabajo y conservar el nivel adecuado de rendimiento y calidad del producto. De esta forma

se busca garantizar una máxima seguridad en torno a los oficios y proporcionar un adecuado bienestar visual.

En la Constitución de la República Bolivariana de Venezuela se establece la responsabilidad del ente empleador de garantizar condiciones y ambientes de trabajo seguros, que conserven la salud, la integridad física y mental. Por tal razón, para garantizar la seguridad visual de los trabajadores y trabajadoras, estos deben ser informados previamente al inicio de sus actividades de las condiciones ambientales de sus sitios de trabajo, de los daños que las mismas puedan causar a la salud, así como de los medios o acciones para prevenirlos.

Sin embargo, la salud de los trabajadores y trabajadoras representa el punto de partida de la Gerencia de Ambiente e Higiene Ocupacional de Petróleos de Venezuela S.A. en este sentido es política de corporación realizar sus actividades dentro de las condiciones que le permitan anticipar, evaluar y controlar los riesgos que puedan afectar la salud y el bienestar de los trabajadores y trabajadoras, sus familiares y de las comunidades.

En inspección y evaluación realizada en los edificios La Campiña, Pawa, Edificio Sede de Maturín, e instalaciones de la Refinería El Palito, el 69,65% de los puestos de trabajo evaluados están en riesgo, lo cual significa que existe una alta probabilidad de enfermedades ocupacionales, entre ellas, disminución de la capacidad visual de la persona, incomodidad o molestias en los trabajadores. Todo esto pudiera traer como consecuencia un menor desempeño laboral, accidentes, además de pérdidas económicas.

Por lo tanto, el presente Trabajo Especial de Grado desarrolla el estudio del riesgo por iluminación, la evaluación, y el desarrollo de un programa computacional que permita calcular y rediseñar la iluminación de los distintos puestos de trabajo,

además realizar las notificaciones de los niveles de iluminación a los trabajadores y trabajadoras de las dependencias de PDVSA evaluadas.

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La Ley Orgánica de Prevención, Condiciones y Medio Ambiente de Trabajo (LOPCYMAT) exige al empleador y empleadora proporcionar al trabajador y la trabajadora la información acerca de las condiciones físicas a las cuales se expone en su puesto de trabajo. En PDVSA, la mayor corporación industrial de Venezuela, existe un déficit de personal capaz de dar respuesta inmediata a lo demandado por la LOPCYMAT en cuanto a la determinación y evaluación de los efectos del riesgo ocupacional; la iluminación es uno de ellos. En respuesta Petróleos de Venezuela S.A. ha propuesto la evaluación de los niveles de iluminación en los puestos de trabajo de la casa matriz (edificio La Campiña), edificio Pawa, Caracas; oficinas del edificio principal, la gerencia y talleres de mantenimiento de la Refinería “El Palito”, Morón, Estado Carabobo y el Edificio Sede de Maturín (ESEM), Maturín, Estado Monagas. El problema a enfrentar en este Trabajo Especial de Grado es la evaluación del riesgo por iluminación en los puestos de trabajo de las dependencias de PDVSA citadas y la creación de un programa computacional para el cálculo y rediseño de la iluminación en los lugares de trabajo, que además permita establecer los datos necesarios para dar cumplimiento con la LOPCYMAT en materia de notificación de riesgos.

1.2.- OBJETIVOS

1.2.1.- Objetivo general

Evaluar, calcular y rediseñar la iluminación en los puestos de trabajo de Petróleos de Venezuela S.A., ubicados en la torre este del edificio La Campiña, edificio Pawa, Caracas; oficinas del edificio principal, la gerencia y talleres de mantenimiento de la Refinería “El Palito” Morón, Estado Carabobo y en el Edificio Sede de Maturín (ESEM), Maturín, Estado Monagas.

1.2.2.- Objetivos específicos

- Determinar los niveles de iluminación en los puestos de trabajo de las oficinas de la torre este del edificio La Campiña, edificio Pawa, Edificio Sede de Maturín (ESEM), Maturín, Estado Monagas, oficinas del edificio principal, la gerencia y talleres de mantenimiento de la Refinería “El Palito” Morón, Estado Carabobo.
- Evaluar los riesgos por iluminación en los puestos de trabajo.
- Registrar los riesgos por iluminación presentes en los puestos de trabajo a evaluar.
- Establecer un mecanismo mediante el cual la empresa reporte a sus trabajadoras y trabajadores los valores del riesgo por iluminación al cual se expone. (LOPCYMAT, artículo 53)
- Proponer el rediseño de los puestos de trabajos que no cumplan los niveles de iluminación adecuados.
- Crear un programa computacional que permita registrar los niveles de iluminación de cada puesto de trabajo y rediseñar iluminación.

1.3.- ALCANCES

Los alcances de este Trabajo Especial de Grado son los siguientes:

- Diseño y aplicación de un programa computacional que permita registrar los resultados obtenidos de las mediciones y rediseñar la iluminación de los puestos de trabajo donde se presenten riesgos por iluminación.
- Registro de los valores obtenidos de las mediciones de iluminación en el programa computacional creado.
- Comparación de los resultados de las mediciones de niveles de iluminación en los puestos de trabajo de la casa matriz (edificio La Campiña), tomando como referencia la norma COVENIN 2249-93.
- Comparación de los resultados de las mediciones de niveles de iluminación en los puestos de trabajo del edificio Pawa, tomando como referencia la norma COVENIN 2249-93.
- Comparación de los resultados de las mediciones de niveles de iluminación en los puestos de trabajo, el edificio sede Monagas (ESEM) Maturín, tomando como referencia la norma COVENIN 2249-93.
- Comparación de los resultados de las mediciones de niveles de iluminación en los puestos de trabajo, oficinas del edificio principal y la gerencia, talleres de mantenimiento de la Refinería “El Palito”, tomando como referencia la norma COVENIN 2249-93.
- Determinación del riesgo por iluminación al que se exponen los trabajadores que ocupan los puestos de trabajo a evaluar.
- Preparación de la notificación de los niveles de iluminación en cada puesto de trabajo al que están sometidos las trabajadoras y los trabajadores. (LOPCYMAT, artículo 53)
- Proposición de soluciones a los problemas que representen riesgos por iluminación.

- Demostración de la importancia de la educación del riesgo por iluminación en las áreas de trabajo.
- Proponer un modelo para el rediseño de la iluminación de los puestos de trabajo.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1.- PRINCIPIOS DE LUMINOTÉCNIA

2.1.1.- Naturaleza de la luz

Diferentes teorías se han desarrollado a lo largo de la historia para tratar de explicar qué es la luz. Desde las primeras teorías, pertenecientes a Lepucio (450 a.C.), Apuleyo (400 a.C.), Euclides (300 a.C.) y Ajasen Basora (965-1039) hasta el desarrollo del modelo corpuscular de Isaac Newton (1642-1727) no se tenía una explicación científica de la naturaleza de la luz.

Fue Newton quien formuló la primera hipótesis científica sobre la naturaleza de la luz. En su modelo se explica que las fuentes luminosas emiten corpúsculos muy livianos que se desplazan a altas velocidades y en línea recta. De esta forma explicó la reflexión de la luz como la incidencia de los corpúsculos en forma oblicua sobre una superficie tipo espejo, de manera que al tocarla, los corpúsculos cambiarían su dirección, pero siempre en el mismo medio.

La refracción la explicó expresando que los corpúsculos que inciden oblicuamente en una superficie de separación de dos medios de distinta densidad son atraídos por la masa del medio más denso, por lo que aumenta la componente de la velocidad perpendicular a la superficie de separación de los dos medios.

Sin embargo, los experimentos realizados años después demostraron lo contrario, que la luz se propaga más rápido en los medios de menor densidad, por lo que el modelo corpuscular fue abandonado.

Según el Modelo Ondulatorio (Huygens, 1678), la luz se define como un movimiento ondulatorio semejante al que se produce con el sonido.

En este modelo se establecía que la luz era una perturbación ondulatoria parecida al sonido, y de tipo mecánico, ya que necesitaba de un medio material para propagarse, por lo que se supusieron tres hipótesis

1. Todos los puntos de un frente de ondas eran centros emisores de ondas secundarias.
2. De todo centro emisor se propagaban ondas en todas direcciones del espacio con velocidad distinta en cada medio.
3. Como la luz se propagaba en el vacío y necesitaba de un material perfecto sin rozamiento, se supuso que todo el espacio estaba ocupado por éter, que hacía de soporte de las ondas.

La presencia del éter fue la causa principal por lo que se cuestionó el modelo ondulatorio, ya que se necesitaba equiparar las vibraciones luminosas con las ondas elásticas transversales de los sólidos, sin que se transmitan las vibraciones longitudinales. Esto requeriría que el éter tuviera alguna característica sólida.

No fue sino hasta el siglo XVIII cuando la teoría ondulatoria fue tomada en cuenta, debido a los aportes realizados por el médico inglés Thomas Young (1773-1829) y el físico francés Auguste Jean Fresnel (1788-1827).

Después, surge el modelo electromagnético, propuesto por Clerk Maxwell (1831-1879). En éste se explica que un campo eléctrico se puede considerar como una propagación de ondas que están necesariamente acompañadas por ondas magnéticas indisolublemente ligadas a ellas. Ambos campos, periódicamente variables, permanecen perpendiculares entre sí y con dirección común de propagación. Por lo tanto, son ondas transversales, semejantes a las de la luz. Además, las ondas electromagnéticas se transmiten con la misma velocidad con la

que se desplaza la luz. Esto llevó a Maxwell a concluir que la luz consiste en una perturbación electromagnética que se propaga en el éter.

Sin embargo, ésta teoría no explicaba fenómenos como la absorción o emisión; el fotoeléctrico o la emisión de luz por cuerpos incandescentes, lo que llevó a Max Planck (1858-1947) a retomar la teoría corpuscular en 1900.

En 1905, Albert Einstein (1879-1952) presentó una explicación del efecto fotoeléctrico basándose en una idea propuesta anteriormente por Planck para la emisión espontánea de radiación lumínica por cuerpos cálidos, postulando que la energía de un haz de luz se hallaba concentrada en pequeños paquetes: cuantos de energía, que en el caso de la luz se denominan fotones. De esta forma se establece la naturaleza cuántica de la luz.

Actualmente se acepta que la luz posee una naturaleza dual de onda y partícula, que explica los fenómenos de propagación de la luz y de la interacción de la luz con la materia.

De forma simple, se puede definir la luz como una forma particular y concreta de energía que se desplaza o propaga, no a través de un conductor (como la energía eléctrica o mecánica) sino por medio de radiaciones, es decir, de perturbaciones periódicas del estado electromagnético del espacio; es lo que se conoce como "energía radiante". (Norma Técnica Española 211, Iluminación de los centros de trabajo)

Como se observa en la Figura 1, las radiaciones que pueden ser percibidas por el ojo humano se encuentran en lo que se denomina espectro visible, el cual se encuentra entre los 380 y 760 nanómetros [nm] del espectro electromagnético. Según la longitud de onda, se pueden percibir distintos colores, que van desde el violeta hasta el rojo, pasando por el amarillo y el anaranjado. Inmediatamente por debajo de

los 380 nm se encuentran los rayos ultravioleta, y por encima de los 760 nm los rayos infrarrojos.

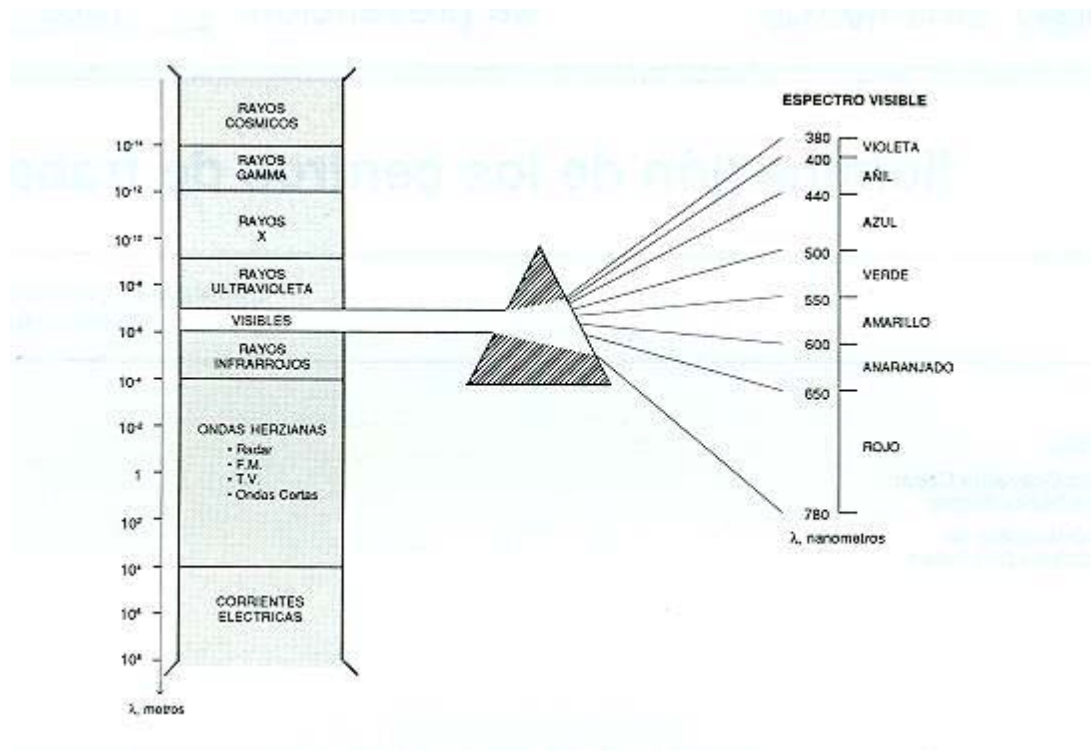


Figura 1. Espectro electromagnético. [Norma Técnica Española 211, Iluminación de los centros de trabajo]

2.1.2.- Iluminación

Según las normas COVENIN 2249 (1993), la iluminación es la aplicación de luz a los objetos, o a sus alrededores para que se puedan ver. La iluminación está ligada al conjunto de dispositivos que se utilizan para producir efectos luminosos.

La iluminación puede ser artificial o natural. En la iluminación natural, el Sol es el principal proveedor de luz para que los objetos se puedan ver, mientras que la

luz artificial se obtiene mediante el uso de luminarias o cualquier otro medio que produzca luz.

2.1.3.- Magnitudes luminotécnicas

2.1.3.1.- Flujo Luminoso.

Los manantiales luminosos transforman un determinado tipo de energía en energía luminosa. Esta energía, emitida por unidad de tiempo es la energía radiante.

La parte del flujo radiante que sensibiliza al ojo humano se conoce como flujo luminoso. Se representa por el carácter Φ . Su unidad es el lumen [lm]. Según Carranza (1981) el flujo luminoso se define como la potencia luminosa radiada en todas las direcciones, o sea, como fluye la luz.

2.1.3.2.- Iluminancia.

La iluminancia se define como “El cociente del flujo luminoso recibido por un elemento de superficie que contiene el punto, entre el área de dicho elemento.” (COVENIN 2249, 1993). Se simboliza con la letra E y su unidad es Lux [Lux]. Según la Norma Técnica Española 211, la iluminancia es una magnitud característica del objeto iluminado, ya que indica la cantidad de luz que incide sobre una unidad de superficie del objeto, cuando es iluminado por una fuente de luz.

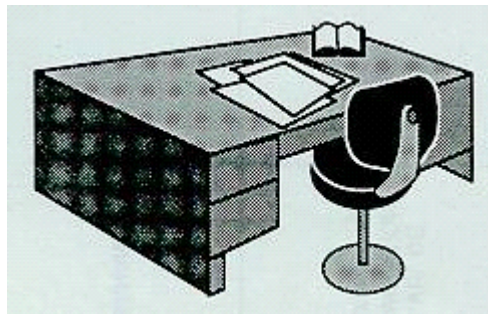
La iluminancia no se trata de radiación absorbida o reflejada por la superficie, sino solo el flujo luminoso que llega o incide en la misma. De aquí que la luminancia sea independiente del tipo de superficie sobre la cual incide el flujo luminoso, y por lo tanto, independiente de sus propiedades reflectoras, transmisoras o absorbentes.

2.1.3.3.- Luminancia.

La norma COVENIN 2249 (1993) define a la luminancia, en un punto de una superficie y en una dirección, como el cociente entre la intensidad luminosa, en la dirección dada, de un elemento infinitamente pequeño de la superficie que rodea el punto considerado, y el área de la proyección ortogonal de este elemento sobre un punto perpendicular a esta dirección.

La luminancia es una característica propia del aspecto luminoso de una fuente de luz o de una superficie iluminada en una dirección dada. Es lo que produce en el órgano visual la sensación de claridad; la mayor o menor claridad con que vemos los objetos igualmente iluminados depende de su luminancia. (Norma Técnica Española 211, Iluminación de los centros de trabajo).

Por ejemplo, en la Figura 2 se tiene una superficie con el mismo nivel de iluminación, pero los objetos se ven mejor que la mesa debido a que estos tienen mayor luminancia.



**Figura 2. Diferencia de luminancia entre la mesa y los objetos sobre ella.
[Norma Técnica Española 211, Iluminación de los centros de trabajo]**

2.1.3.4.- Intensidad luminosa.

La intensidad luminosa de una fuente puntual de luz en una dirección dada es el cociente entre el flujo luminoso que sale de la fuente y se propaga en un elemento de ángulo sólido que contiene la dirección en cuestión, y dicho elemento de ángulo sólido. Su unidad es la candela [cd], la cual se define como un sesentavo de parte de la intensidad luminosa de 1 cm² de platino fundido a una temperatura de 2.046 K. Rigoberto Quinchia lo define de forma simple como la cantidad de luz que sale en una dirección determinada.

En la Figura 3 se encuentran las magnitudes luminotécnicas resumidas en una tabla.

MAGNITUD	SÍMBOLO	UNIDAD	DEFINICIÓN DE LA UNIDAD	REPRESENTACIÓN GRÁFICA	RELACIONES
FLUJO	Φ	LUMEN (lm)	Flujo luminoso de la radiación monocromática de frecuencia 540×10^{12} Hertz y un flujo de energía radiante de 1/683 vatios.		$\Phi = I \times \Omega$
INTENSIDAD LUMINOSA	I	CANDELA (cd)	Intensidad luminosa de una fuente puntual que emite un flujo luminoso de un lumen en un ángulo sólido de un estereorradian.		$I = \frac{\Phi}{\Omega}$
NIVEL DE ILUMINACIÓN (ILUMINANCIA)	E	LUX (lx)	Flujo luminoso de un lumen que recibe una superficie de 1 m ² .		$E = \frac{\Phi}{S}$
LUMINANCIA	L	CANDELA por m ² (cd/m ²) CANDELA por cm ² (cd/cm ²)	Intensidad luminosa de una candela por unidad de superficie.		$L = \frac{I}{S}$

Figura 3. Magnitudes luminotécnicas. [Norma Técnica Española 211, Iluminación de los centros de trabajo]

2.1.4.- Propiedades ópticas de la materia.

2.1.4.1.- Reflexión.

2.1.4.1.1.- Reflexión especular.

Una superficie pulida reflejada especularmente, es decir, el ángulo entre el rayo reflejado y la normal a la superficie de reflexión es igual al ángulo entre el rayo incidente y la normal. El conjunto de rayos reflejados forma una imagen del objeto reflejado en la superficie. Las superficies capaces de reflejar especularmente se emplean en luminotecnica como espejos, incorporándose en algunos tipos de luminarias. Entre los materiales utilizados para este fin se encuentran: aluminio anodinado, laminas de cromo, oro, plata y vidrios o plásticos aluminizados o plateados.

Reflexión difusa. Si una superficie es rugosa o está compuesta de partículas minúsculas reflectantes (por ejemplo una superficie cristalina) la reflexión es difusa. Las partículas actúan como reflector especular, pero como la superficie de cada una de ellas está orientada según planos diferentes aparece luz reflejada con diferentes ángulos. (Philips, 1976)

El papel blanco mate, los techos de yeso o escayola y la nieve son ejemplos de superficies que producen una superficie totalmente difusa. La pintura blanca mate se emplea en reflectores donde se requiere un ángulo de distribución de luz muy amplio.

2.1.4.1.2.- Reflexión mixta.

Muchos materiales actúan como reflectores compuestos, es decir, su reflexión no es especular ni difusa, sino una combinación de ambas. Por ejemplo, un reflector difuso cubierto con una delgada capa de barniz transparente actuará como reflector casi difuso con ángulos pequeños de incidencia y como reflector más bien especular con ángulos grandes.

2.1.4.1.3.- Reflexión total.

La reflexión total o reflexión interna total, como también se le llama a veces, es una forma de reflexión especular que aparece en materiales transparentes (tales como vidrio, plásticos y agua), en las superficies donde la luz normalmente debería salir del medio. La reflexión total tiene lugar cuando el ángulo de incidencia excede de un cierto valor crítico. En este caso los rayos incidentes se reflejan totalmente. (Philips, 1976)

2.1.4.2.- Transmisión.

Se denomina transmisión al paso de los rayos de luz a través de un medio sin que se produzca ninguna alteración de la frecuencia de sus componentes monocromáticas. Este fenómeno es característico de ciertos tipos de vidrio, cristal, agua y otros líquidos.

Cuando pasa la luz a través del material se pierde una pequeña proporción de ella por absorción. La relación entre el flujo transmitido y el incidente se llama transmitancia o factor de transmisión del material. (Philips, 1976)

2.1.4.3.- Refracción.

Cuando un rayo de luz sale de un medio y entra en otro puede cambiar su dirección. Este cambio se debe a una variación de la velocidad de la luz. La velocidad disminuye si el nuevo medio es más denso que el anterior y aumenta cuando lo es menos. Este cambio de velocidad va siempre acompañado de una desviación del rayo luminoso que se conoce como refracción.

2.1.5.- Propiedades cromáticas de la luz

2.1.5.1.- Temperatura de color.

Según el manual de alumbrado de Westinghouse (1972), la temperatura de color se utiliza para describir el color de una fuente luminosa, comparándola con el de un cuerpo negro. Como cualquier cuerpo incandescente, un cuerpo negro cambia de color cuando aumenta su temperatura.

La temperatura de color la fuente será la misma del cuerpo negro cuando ambos tengan el mismo color. La fuente citada indica que la temperatura de color no es una medida de la temperatura real, ya que solamente define el color, y que se puede aplicar únicamente a fuentes que se parezcan mucho al cuerpo negro.

2.1.5.2.- Color.

El color es producto de las radiaciones del espectro electromagnético comprendido en las longitudes de onda visibles, y está compuesto por siete colores (rojo, anaranjado, amarillo, verde, azul, índigo y violeta). Según Rigoberto Quinchia (PDVSA CIED,2001), los estudios fisiológicos han determinado que el ojo humano

es más sensible a la luz verde-amarilla. Ello responde a que este órgano perceptivo se ha adaptado a lo largo de la evolución humana a la luz solar que, si bien emite todos los colores del espectro, concentra su mayor intensidad en estos colores.

2.2.- LÁMPARAS

2.2.1.- Lámparas incandescentes

Las lámparas incandescentes emiten luz cuando a través de su filamento pasa una corriente eléctrica. Cuando esto sucede, por efectos de la resistencia del filamento, este eleva su temperatura hasta alcanzar la incandescencia. En ese momento, parte de las radiaciones caen en la zona visible del espectro electromagnético obteniéndose luz. Mientras más alta sea la temperatura del filamento, mayor será la cantidad de luz obtenida, por lo que la eficacia aumenta (lúmenes emitidos/vatios consumidos), a expensas de la vida útil de la lámpara. En la Figura 4 se puede apreciar una imagen de una lámpara incandescente.



Figura 4. Lámpara incandescente. [www.sylvania-lamps.com]

En la Tabla 1 se muestra las ventajas y desventajas de las lámparas incandescentes según Harper (2006).

Tabla 1. Ventajas y desventajas de las lámparas incandescentes. [Elaboración propia]

Ventajas	Desventajas
Encendido inmediato	Baja eficiencia luminosa
No requiere aparatos auxiliares para el encendido	Elevada brillantez, con deslumbramiento relativo
Ocupa poco espacio	Elevada producción de calor
No tiene limitaciones de posición de funcionamiento	Vida media limitada
Bajo costo	Costo de operación relativamente alto

2.2.2.- Lámparas vapor de mercurio a alta presión.

Este tipo de lámpara está compuesta por un tubo de cuarzo pequeño, el cual contiene vapor de mercurio a alta presión y un gas inerte (argón). El tubo está encerrado en un bulbo de vidrio para protegerlo del ambiente exterior. Este bulbo también tiene como función absorber las radiaciones ultravioleta y mejorar la calidad de la luz cuando está revestido internamente de polvo fluorescente. Se suele utilizar en avenidas principales, carreteras, autopistas, parques, naves industriales y lugares poco accesibles. En la Figura 5 se muestra un ejemplo de estas lámparas.



Figura 5. Lámpara de vapor de mercurio a alta presión [www.sylvania-lamps.com]

Las ventajas y desventajas de este tipo de lámpara se muestran en la Tabla 2, según Harper (2006).

Tabla 2. Ventajas y desventajas de las lámparas de descarga de gas [Elaboración propia]

Ventajas	Desventajas
Buena eficiencia luminosa	Requiere aparatos auxiliares para su encendido
Ocupa poco espacio	El encendido no es inmediato
Tiene buena duración media	Costo relativamente elevado
No tiene limitación en cuanto a su posición de montaje (excepto lámparas con halógeno)	

2.2.3.- Lámparas fluorescentes.

Las lámparas fluorescentes son lámparas de vapor de mercurio a baja presión. Estas lámparas producen luz debido a la excitación del gas a través de una descarga eléctrica. En estas condiciones de operación, las radiaciones ultravioleta son predominantes. Para aprovecharlas, se recubre las paredes interiores de la lámpara con polvos fluorescentes, con lo que se transforman los rayos ultravioleta en luz visible. De la composición de las sustancias fluorescentes dependerá la cantidad y el color de la luz emitida.

Generalmente, la ampolla es un tubo cilíndrico con un electrodo en cada extremo, el cual contiene, además del vapor de mercurio a baja presión, un gas inerte para facilitar el encendido. En la Figura 6 se puede observar una foto de una lámpara fluorescente.

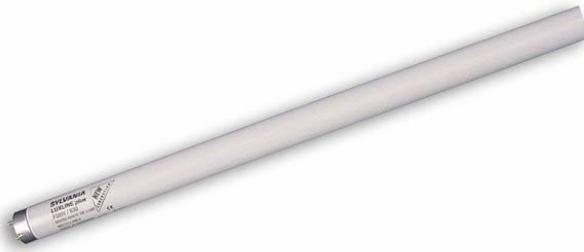


Figura 6. Lámpara fluorescente tubular [www.sylvania-lamps.com]

Una variante de las lámparas fluorescentes son las Lámparas Fluorescentes Compactas, cuyo funcionamiento es igual a las de tubo recto pero de menor volumen. No requieren de cebador para el encendido y poseen un balasto electrónico miniatura, el cual suministra la tensión necesaria para el encendido, regulando posteriormente la corriente que circula por el tubo. En la Figura 7, se puede apreciar una lámpara fluorescente ahorradora.



Figura 7. Lámpara fluorescente compacta [www.sylvania-lamps.com]

Las ventajas y desventajas de este tipo de lámpara, según Harper (2006), se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 3. Ventajas y desventajas de las lámparas fluorescentes. [Elaboración propia]

Ventajas	Desventajas
Buena eficiencia luminosa	Requieren elementos auxiliares para el encendido
Bajo costo de operación	Requiere mas espacio de instalación que una lámpara incandescente
Baja luminancia, por lo que el deslumbramiento es menor	A igualdad de potencia con una lámpara incandescente, su costo es 10 a 15 veces mayor
No hay restricciones en cuanto a la posición de funcionamiento	
Consumen solo 1/5 parte de la energía que requiere una lámpara incandescente para alcanzar el mismo nivel de iluminación. (*)	
El tiempo de recuperación de la inversión es de seis meses (con un tiempo de operación de 6 horas diarias), por concepto de ahorro de energía y por incremento de horas uso sin que sea necesario reemplazarlas. (*)	
(*): Se refiere a las Lámparas Fluorescentes Ahorradoras	

2.3.- LUMINARIAS

Las luminarias son dispositivos que sirven para conectar la red eléctrica a las lámparas y dar soporte a las mismas. Según el manual de luminotecnica de Obralux (2005), cualquier luminaria debe cumplir con los siguientes requisitos:

- Su distribución luminosa debe estar adaptada a la función que debe realizar.
- Reducir las luminancias en determinadas direcciones.
- Debe tener un buen rendimiento luminoso.
- Construcción que permita a la lámpara funcionar en condiciones apropiadas de temperatura.
- Facilidad de montar, desmontar y limpiar.
- Cómodo acceso a la lámpara y equipo eléctrico.
- No deben desentonar con el medio ambiente en el cual se incluyen.

2.3.1.- Clasificación de las luminarias

Según García y Boix (2001), Las luminarias pueden clasificarse de muchas maneras aunque lo más común es utilizar criterios ópticos, mecánicos o eléctricos.

En cuanto a la clasificación óptica, la CIE clasifica las luminarias según el flujo luminoso como se ve en la Tabla 4. En la Figura 8 se observa la distribución de luz según la fuente antes citada.

Tabla 4. Distribución del flujo luminoso respecto a la horizontal (en porcentaje).
[Elaboración propia].

Clase de luminaria	Encima de la luminaria	Debajo de la luminaria
Directa	0 a 10	90 a 100
Semi directa	10 a 40	60 a 90
General difusa	40 a 60	40 a 60
Directa indirecta	40 a 60	40 a 60
Semi indirecta	60 a 90	10 a 40
Indirecta	90 a 100	0 a 10

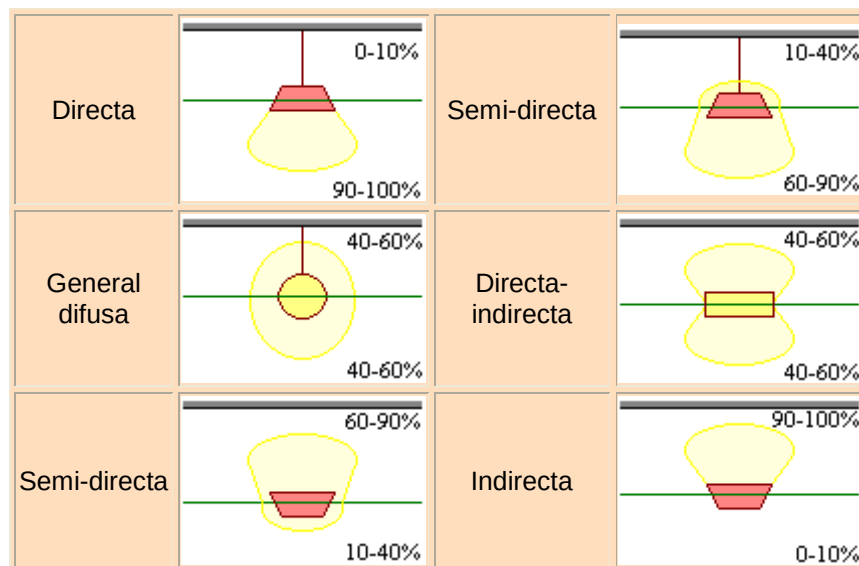


Figura 8. Clasificación CIE según la distribución de luz. [García, Boix, 2001]

Las luminarias para iluminación industrial directa también se pueden clasificar según la distribución lumínica de su componente directa. La clasificación se hace en función de la relación espacio permisible/altura de instalación. (Philips, 1976)

Tabla 5. Clasificación de luminarias industriales de iluminación directa, según el espacio permisible/altura de instalación. [Phillips, 1976]

Clase de luminaria	Relación espacio/altura
Muy concentradora	Hasta 0,5
Concentradora	De 0,5 a 0,7
Dispersión media	De 0,7 a 1,0
Dispersión normal	De 1,0 a 1,5
Gran dispersión	Por encima de 1,5

La IEC (International Electrotechnical Commission) hace una clasificación según el grado de protección de la lámpara contra la penetración de polvo y la humedad. La clasificación se indica por las letras IP y le siguen tres números. El primer número indica el grado de protección contra la entrada de cuerpos sólidos y polvo, el segundo se refiere a la protección contra la penetración de líquidos y el tercero denota el grado de resistencia a los choques. Los grados de protección se indican en la siguiente tabla.

Tabla 6. Clasificación de luminarias según las características mecánicas
[Elaboración propia]

Tipo de protección	Grado de protección
Protección contra polvo y cuerpos sólidos	0 - 6
Protección contra líquidos	0 - 8
Resistencia al choque	0, 1, 3, 5, 7

Las luminarias se pueden clasificar, según la CEE (Internacional Commission on Rules for the Approval of Electrical Equipment), de acuerdo a la protección de estas contra derivaciones eléctricas.

Tabla 7. Clasificación CEE de luminarias de acuerdo con el tipo de protección eléctrica. [Elaboración propia]

Clase de luminaria	Protección eléctrica
0	Aislamiento básico
I	Aislamiento básico mas protector de toma de tierra
II	Aislamiento doble o reforzado, no se provee conector protector de toma de tierra
III	Aislamiento de tensión de seguridad extra baja (50 V)

2.3.2.- Tipos de luminarias.

2.3.2.1.- Luminarias comerciales.

La lámpara más utilizada en el ámbito comercial es la fluorescente. Esta se suele utilizar en luminarias compuestas por reflectores, difusores de rejillas o prismáticos. En la Figura 9 se muestran varios tipos de luminarias.

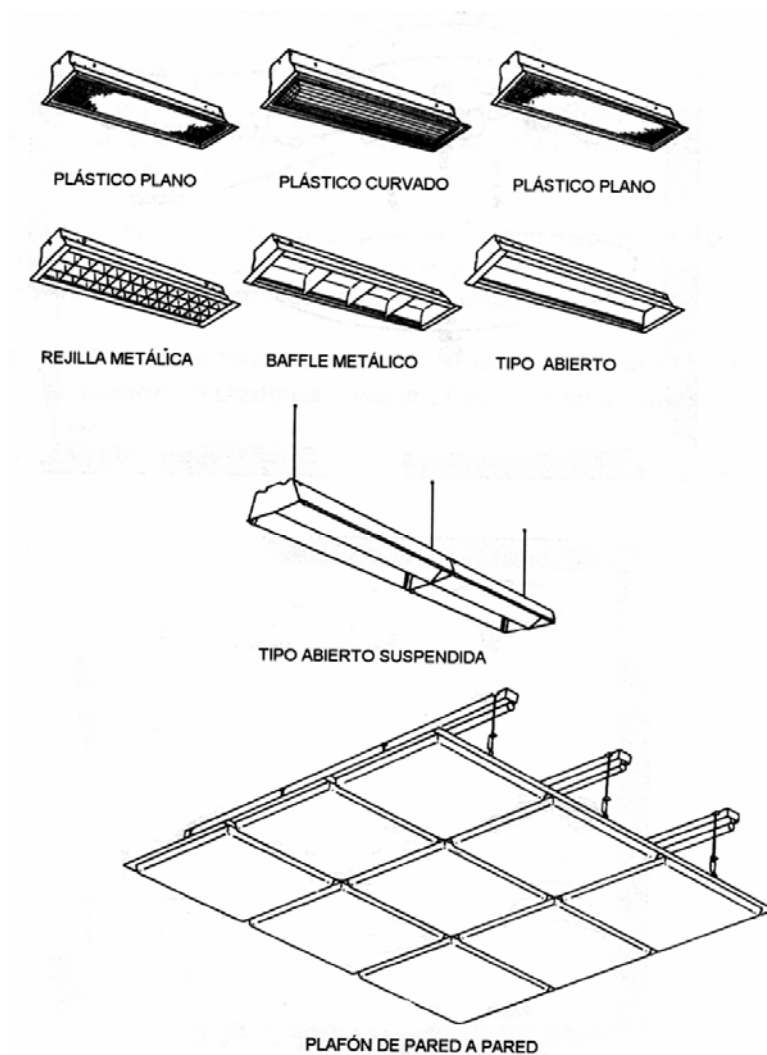


Figura 9. Luminarias para lámparas fluorescentes. [Harper, 2006]

2.3.2.1.1.- Componentes de una luminaria comercial.

2.3.2.1.1.1.- Reflectores tipo espejo.

Para concentrar la luz según un haz estrecho se utiliza un reflector especular. De esta forma se logra que la luz tenga un carácter direccional y un buen efecto de sombreado. Las luminarias que utilizan este canalizador de luz utilizan un apantallamiento adecuado para evitar luminancias fuertes en la dirección normal de visión.

2.3.2.1.1.2.- Paneles reflectores.

Este panel da un ligero carácter direccional a la luz con un efecto de sombra razonable. Existen varios tipos de paneles de diversas configuraciones ópticas, con el objetivo de lograr ciertos efectos lumínicos. También existen paneles perforados para luminarias ventiladas.

2.3.2.1.1.3.- Rejillas.

Las rejillas, que normalmente están hechas de plástico opalescente o de metal pintado de blanco, tienen como función evitar que las lámparas fluorescentes sean visibles directamente bajo un cierto ángulo. Según el manual de alumbrado de Philips (1976) basta un ángulo de corte de 30°, pero para un alumbrado de alta calidad este ángulo deberá acercarse a los 45°. Dependiendo del tipo de rejilla se tendrá un apantallamiento longitudinal y transversal o solo longitudinal.

2.3.2.1.1.4.- Paneles difusores.

Con los paneles difusores, la luminancia es uniforme en todas las direcciones. En consecuencia, no se tiene un control direccional de la luz, necesaria en instalaciones donde se requiere alta luminancia. La iluminación de las luminarias que utilizan este tipo de paneles produce un mínimo de efecto de sombra.

2.3.2.2.- Luminarias industriales.

2.3.2.2.1.- Luminarias para lámparas fluorescentes.

La lámpara fluorescente es la preferida para utilizar con luminarias equipadas con un reflector blanco mate, en aplicaciones de alumbrado de interiores donde la altura de instalación sea de hasta 6 m de altura.

2.3.2.2.2.- Luminarias para naves altas.

Estos lugares, donde la altura de instalación supera los 6 m, requieren de luminarias capaces de alojar lámparas de descarga de elevada intensidad y espejos reflectores.

2.3.2.2.3.- Luminarias para lugares peligrosos.

Para trabajar en sitios donde se presuma atmósferas explosivas, concentración de vapores o líquidos volátiles, se utilizan dos tipos de luminarias. Pueden ser con encapsulación “a prueba de presión” o de “seguridad incrementada”.

Las luminarias encapsuladas resistentes a la presión, están diseñadas para soportar explosiones internas, para así evitar la ignición en zonas en los alrededores de la luminaria. Estas son muy robustas, ya que deben ser construidas en acero o hierro fundido y vidrio duro.

Las luminarias de seguridad incrementada utilizan una cubierta de “respiración restringida” que tiende a eliminar la posibilidad de entrada de gases dentro de la carcasa. Si esta medida fallare, los equipos especiales de seguridad incorporados en el sistema de conmutación y cableado evitarían la explosión.

2.3.2.2.4.- Luminarias para atmósferas cargadas de humedad y polvo.

Las luminarias para lámparas que operan en este tipo de atmósfera corresponden a los tipos TMW 062 y TCW 070. El primero incorpora juntas herméticas elásticas entre óptica y carcasa, y entre lámpara y portalámparas, que hacen a la luminaria resistente al agua y la protege del polvo, pudiendo encerrarse la lámpara en un tubo acrílico protector. El tipo TCW 070 ofrece la misma protección, pero la lámpara va encapsulada en un difusor acrílico.

2.4.- ALUMBRADO INTERIOR

La cantidad y calidad de la iluminación se debe apoyar en los siguientes requisitos:

- Rendimiento visual
- Confort visual
- Economía

Si la tarea visual no es muy importante y no hay limitaciones económicas, el alumbrado se puede realizar tomando en cuenta solo el confort visual, para el beneficio de las personas que laboren en la zona iluminada.

La luminancia de las siguientes superficies del campo visual son las que determinan la impresión visual de un local:

- Objetos de principal interés visual: Tarea, rostros humanos.
- Grandes superficies en el interior: Paredes, techo.
- Posibles fuentes de deslumbramiento: Ventanas (en el día), luminarias.

Según el manual de alumbrado de Phillips (1976), a través de los siguientes parámetros se puede definir la cantidad y calidad del alumbrado:

- Nivel de iluminación
- Distribución de luminancias en el campo visual
- Deslumbramiento
- Calidad de color
- Esquema de color

2.4.1.- Nivel de iluminación

La norma COVENIN 2249-93 señala que los valores cuantitativos de iluminación, incluyendo la iluminancia, están definidos estadísticamente con base en encuestas y experiencias para determinados comportamientos de aciertos en la percepción visual de objetos patrón relacionados con actividades que se realizan en cada caso o tarea.

Esta norma indica que el fenómeno de la percepción visual no es consecuencia únicamente del valor de la iluminancia sobre el plano de trabajo, sino que depende de manera importante del contraste de luminancia objeto-fondo, de la direccionalidad de la luz, color de la luz, el color o colores del objeto y el fondo, la iluminancia y color

del entorno, el entorno, el estado cinético relativo objeto-observador, la visibilidad atmosférica, la edad, estado de salud y factores psicológicos que afectan al observador. Por ello, es necesario tomar en cuenta todas estas consideraciones al escoger un nivel de iluminación para un área de trabajo.

En la siguiente figura se muestra diferentes niveles de iluminación para actividades generales en áreas interiores.

AREA O TIPO DE ACTIVIDAD	ILUMINANCIA (LUX)			TIPO DE ILUMINANCIA
	A	B	C	
1. Areas públicas con alrededores	20	30	50	General en toda el área (G)
2. Simple orientación para visitas cortas periódicas.	50	75	100	
3. Areas de trabajo donde las tareas visuales se realizan solo ocasionalmente.	100	150	200	
4. Realización de tareas visuales con objetos de tamaño grande o contraste elevado.	200	300	500	Local en el área de la tarea (L)
5. Realización de tareas visuales con objetos de tamaño pequeño o contraste medio.	500	750	1000	
6. Realización de tareas visuales con objetos de tamaño muy pequeño o contraste bajo.	1000	1500	2000	
7. Realización de tareas visuales con objetos de tamaño muy pequeño y bajo contraste, por períodos prolongados.	2000	3000	5000	Combinación de general y localizada sobre la tarea. (G + L)
8. Realización de tareas visuales que requieren exactitud por períodos prolongados.	5000	7500	10000	
9. Realización de tareas visuales muy especiales, con objetos de tamaño muy pequeño y contraste extremadamente bajo.	10000	15000	20000	

Figura 10. Tipos generales de actividad en áreas interiores. [COVENIN 2249 1993]

Como se aprecia en la Figura 10, hay tres niveles de iluminación. Según la norma COVENIN 2249-93, los niveles superiores al valor “C” suponen un derroche de energía, mientras que por debajo del nivel “A” el desempeño visual puede ser afectado negativamente. El valor establecido como “B” corresponde a la iluminación media en servicio recomendada de acuerdo a los requisitos visuales de la tarea, la experiencia práctica y la necesidad de utilización eficaz de la energía.

La norma citada indica que cuando se utilizan los valores superiores “C” se obtienen unas condiciones de visión excelente y un alto desempeño visual. Estos valores deben utilizarse cuando en la tarea existan reflectancias o contrastes desacostumbradamente bajos, cuando la rapidez o presión del trabajo visual es crítico, y cuando una mayor productividad es de gran importancia. Lo mismo es aplicable si la capacidad visual del usuario es inferior a la media.

2.4.2.- Distribución de luminancias en el campo visual.

La distribución de luminancias dentro del campo visual debe considerarse como un complemento de los valores de iluminancia para ese interior. Son de importancia para la distribución de luminancia los siguientes aspectos:

- Valores de luminancia para techo y paredes
- Distribución de luminancia en la zona de trabajo
- Asistencia de deslumbramiento, con la limitación de la luminancia de luminarias y ventanas.

La luminancia de las paredes es casi independiente de la luminancia de los objetos y del alumbrado del lugar. Según el manual de alumbrado de Phillips (1976), si el nivel de iluminancia está entre 500 y 2.000 lux, se puede tomar 100 cd/m² como valor óptimo para la luminancia de paredes. La fuente citada indica que una de las formas de obtener este valor óptimo es dar la reflectancia de la superficie de las

paredes y se calcula la iluminancia vertical, o se toma la iluminancia vertical y se halla la reflectancia necesaria.

Los valores comunes de reflectancia de las paredes para obtener la luminancia óptima son de 0,5 a 0,8 para instalaciones de 500 lux, y de 0,4 a 0,6 para instalaciones de 1.000 lux.

La luminancia del techo depende principalmente de las luminarias. Cuando la luminancia de las luminarias es menor a 120 cd/m^2 , el techo debe ser aún más brillante que ella.

Este valor de luminancia no se puede obtener utilizando solo luminarias de empotrar, puesto que en estas instalaciones la iluminación del techo es casi toda reflejada por el suelo y las paredes. En horas diurnas, la luz natural dará una buena iluminación al techo, pero en locales carentes de ventanas se debe tener en cuenta el valor de luminancia recomendado anteriormente.

2.4.3.- Distribución de la luminancia en la zona de trabajo.

Para mejorar el rendimiento visual, la luminancia de la tarea visual debe ser mayor que la de los alrededores. Cuando se utiliza iluminación localizada, la Norma Técnica Española 211 indica que la relación entre la iluminación general y la localizada corresponde a la siguiente ecuación:

$$I_g = 3 * \sqrt{I_l}$$

Donde I_g es iluminación general e I_l es iluminación localizada.

Cuando una tarea requiere desplazarse de un lugar a otro, los niveles de iluminación de la zona de desplazamiento no deben variar bruscamente. La norma citada anteriormente establece que el límite de confort se sitúa para una variación de

los niveles de iluminación entre 1 y 5, y toma como ejemplo que si en una oficina o taller se dispone de 400 lux de iluminación media, en las zonas de paso o acceso ésta debe ser como mínimo de 80 lux.

Se puede mejorar el rendimiento visual si, además del control de contraste de luminancias se crean diferencias de color en la zona de trabajo. Es necesario cuidarse de evitar el deslumbramiento reflejado y la reflexión por velo.

2.4.4.- Deslumbramiento.

El deslumbramiento es un efecto incómodo que se presenta cuando hay objetos o superficies de excesiva luminancia en comparación a la luminancia general del entorno. El deslumbramiento puede ser perturbador o molesto. El primero no permite ver de forma clara debido al velo luminoso que provoca visión borrosa, con poco contraste y sin nitidez. Según García y Boix (2001), un ejemplo muy claro lo tenemos cuando conduciendo de noche se nos cruza un coche con las luces largas (altas). El segundo se presenta cuando la luz que llega directamente a los ojos es muy intensa. Este también ocurre cuando se pasa de una zona de menor luminancia a otra con mayor luminancia.

El deslumbramiento molesto es el más problemático cuando se trata de alumbrado interior, y depende principalmente de los siguientes factores:

- La luminancia de las fuentes de luz
- El número y superficie aparente de esas fuentes
- La luminancia general de los alrededores
- La posición de las fuentes de luz en el campo de visión

Las Normas Técnicas Españolas 211 aconsejan utilizar luminarias cuya luminancia no sobrepase las 500 cd/m² para evitar el deslumbramiento debido a las

fuentes de luz, y señalan como fuente de deslumbramiento que el ángulo entre la horizontal del ojo y las luminarias sea inferior a los 30°.

En cuanto al deslumbramiento debido a reflexión en superficies, la norma referida recomienda utilizar superficies de trabajo mate y asegurar una buena distribución de luminarias.

El deslumbramiento debido la luz que pasa a través de las ventanas es originado por la luminancia natural, y según el manual de alumbrado de Phillips (1976), corresponde a una iluminancia artificial de aproximadamente de 10.000 lux, en presencia de nubosidad. Este deslumbramiento se reduce, e incluso se evita, utilizando cortinas o persianas.

2.4.5.- Calidad del color.

Según su aspecto cromático, las fuentes de luz blanca pueden subdividirse en tres grupos, como se indica en la Tabla 8:

Tabla 8. Aspecto cromático de las lámparas [Elaboración propia]

Temperatura de color correlacionada	Aspecto cromático
> 5.000 K	Frío
3.300 – 5.000 K	Intermedio
< 3.300 K	Cálido

Para que el alumbrado sea de buena calidad, ha de existir una relación entre la temperatura de color de las fuentes de luz utilizadas y el nivel de iluminancia de la instalación. Según García y Boix (2001), es posible hacer que una instalación con

fluorescentes llegue a resultar agradable y una con lámparas cálidas desagradable, aumentando el nivel de iluminación de la sala.

2.4.6.- Esquema de color.

Un aspecto que incide en el confort visual y el acabado de un lugar es el color utilizado. Para lograr una alta eficacia de alumbrado, se debe exhibir colores claros. Mayormente, los techos son blancos, mientras que el resto es de otro color.

Aun cuando las diferencias de gusto con respecto a los colores, es posible establecer ciertas reglas generales con referencia a los colores de las superficies principales y el aspecto cromático de las fuentes de luz. El manual de alumbrado de Phillips (1976) da las siguientes recomendaciones con respecto al color:

- a. Los objetos de colores “cálidos” son agradables a la vista con luz de color “cálido” que con luz “fría”, mientras que las luces “cálidas” tienden a minimizar la vistosidad de los objetos de colores “fríos”.
- b. Las mejores fuentes de luz para cualquier aplicación (referida únicamente a una serie de colores) son las de aspecto cromático “intermedio”. Las lámparas de este tipo son fuentes “seguras” en este aspecto.
- c. El color blanco, o colores pálidos con baja cromaticidad son preferidos para techos, paredes y objetos de gran superficie. Tales se pueden catalogar como “seguros” para fondos. También pueden ser aceptables fondos de colores muy oscuros, pero no los de colores semiclaros o semisaturados.
- d. Que un color de un objeto se considere agradable depende más del color de su fondo que de la luz empleada. Por ello, es posible compensar el uso de una fuente de luz inapropiada empleando un color de fondo apropiado. En caso contrario, un color del fondo incorrecto puede perjudicar el efecto de una fuente de luz calificada como buena.

- e. Independientemente del aspecto cromático de la fuente de luz empleada y del color del fondo, los colores preferidos para ser aplicados en objetos son: verde, azul, verde-azul y azules-púrpuras. Estos colores se pueden calificar como “seguros” para objetos. En seguida viene el color rojo, anaranjado y por último el amarillo, el cual tiene la menor aceptación de todos.
- f. Mientras que los colores óptimos de los fondos para realzar los colores de los objetos son claros y poco saturados, para los objetos se prefiere colores de gran saturación.
- g. Las mujeres prefieren colores cálidos, como el rojo, rojo-amarillo y amarillo, mientras que los hombres tienen preferencia por los verdes y los azules.
- h. Los artículos alimenticios presentan mejor aspecto cromático con una luz cálida que con una luz fría.
- i. Dos colores del mismo matiz o parecidos, que sean adyacentes en la escala de colores, se consideran más armoniosos que cuando se encuentran más distantes en dicha escala.

Según la Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo (2006), algunas de las cualidades de los colores son las siguientes:

- a. Los colores brillantes provocan sentimientos de confort, estímulo y serenidad, mientras los colores oscuros tienden a tener un efecto deprimente.
- b. Los colores claros y apagados (como los pasteles) son muy apropiados como colores de fondo, mientras que los objetos deben tener colores ricos y saturados.
- c. Los colores calidos excitan el sistema nervioso y transmiten la sensación de que aumenta la temperatura.
- d. Los colores fríos son preferibles para los objetos. Tienen un efecto calmante y pueden utilizarse para producir el efecto de curvatura. Los colores fríos contribuyen a crear una sensación de descenso de la temperatura.
- e. Los ambientes físicamente fríos o calientes, pueden atemperarse utilizando iluminación cálida o fría, respectivamente.

Un ambiente de color es satisfactorio si da una impresión viva y variada. La repetición extensa de un diseño, así sea agradable por si solo, puede causar monotonía y desagrado.

2.5.- DISEÑO DEL ALUMBRADO INTERIOR

El alumbrado depende del trabajo que se va a realizar en el lugar. El punto de partida para diseñar cualquier alumbrado es el espacio en si, sus detalles constructivos, su finalidad, el trabajo que se realiza en el y las tareas visuales implicadas.

2.5.1.- Trabajos interiores.

El objetivo principal del alumbrado en una sala de trabajo es lograr unas buenas condiciones visuales en el plano de trabajo. Como objetivo secundario se encuentra el lograr un ambiente visual agradable, que influya positivamente en el rendimiento y el bienestar de sus usuarios.

Un análisis del lugar a iluminar y de las tareas visuales que allí se van a realizar determina la selección del sistema de alumbrado, así como la distribución y disposición de las luminarias. Los sistemas de alumbrado más comunes son los siguientes:

- Iluminación general
- Iluminación direccional
- Iluminación local
- Iluminación localizada

La iluminación general se obtiene distribuyendo las luminarias de forma más o menos regular por el techo. De esto resulta una iluminancia horizontal de un cierto nivel medio y un determinado grado de uniformidad.

Por iluminación direccional se entiende a la iluminación que predomina en una dirección, lo cual se logra con una distribución espectral de lámparas fluorescentes con espejos, o mediante lámparas “spots” de haz ancho. Esta se utiliza comúnmente como iluminación publicitaria, para lograr sombras que destaquen la forma y textura de un objeto, y en la iluminación indirecta. Para evitar la excesiva monotonía que esta puede producir, es necesario combinarla con el alumbrado general.

Cuando es necesario tener iluminancias altas en lugares de interés principal, se utiliza la iluminación local. Esta se obtiene concentrando luminarias en ciertas partes del techo.

La iluminación localizada se logra colocando luminarias muy cerca de la tarea visual, con la finalidad de iluminar áreas muy reducidas. Es complementada con alguno o los sistemas descritos con anterioridad. La iluminación localizada se recomienda cuando:

- El trabajo implica exigencias visuales muy críticas.
- La visión de formas y texturas requiere que la luz venga de una dirección precisa.
- La iluminación general no llega a ciertas zonas.
- Se requiera un mayor nivel de iluminancia en beneficio de una persona con deficiencias visuales o de avanzada edad.
- Para obtener mayor comodidad visual en lugares donde no es común la realización de trabajos.

2.5.2.- Equilibrio entre luz natural y luz artificial.

En locales con ventanas, la luz proveniente del Sol puede ser insuficiente para iluminar un local por completo, o en el período que se necesita. Por lo tanto, esta luz debe complementarse total o parcialmente con luz artificial. Este tipo de iluminación se le conoce como “iluminación artificial permanente complementaria para interiores”, que aumenta la iluminancia en zonas alejadas de las ventanas. Esto es importante en locales amplios, si se desea evitar contrastes intensos.

Hay trabajos que requieren que sean iluminados totalmente por iluminación artificial. Al diseñar el alumbrado de estos lugares se debe tener en cuenta tanto los aspectos de producción y eficiencia como los posibles efectos psicológicos que la iluminación pueda tener en los usuarios. Según el manual de alumbrado de Phillips (1976), los malestares causados a las personas debido a la privación de luz natural pueden compensarse con un nivel de iluminancia mayor al requerido, siendo aconsejable 1.000 lux. Otra forma de compensar este efecto es construir ventanas en forma de banda estrecha, para así mantener contacto con el mundo exterior. Se prefiere ubicarlas de forma vertical en lugar de horizontal.

2.5.3.- Alumbrado de oficinas.

El diseño de alumbrado para oficinas es más esquemático, debido a las siguientes razones:

- El número de tareas visuales es limitado y está bien definido
- La altura del plano de trabajo es constante, a 75 cm del suelo aproximadamente.
- La altura de los techos es casi siempre constante, a 2,6 m del piso aproximadamente. (Reglamento de las Condiciones de Higiene y Seguridad en el Trabajo, 1973)

Los requisitos visuales para el ambiente visual de las oficinas son los siguientes:

- Niveles de luminancia de 500 a 1000 lux. (COVENIN 2249, 1993)
- Luminarias de baja luminancia
- Ausencia de reflexiones en la superficie de los documentos brillantes y las mesas de trabajo.
- Aspecto cromático y rendimiento en color agradable

Para cumplir con estos requerimientos, se utilizan luminarias empotradas o adosadas al techo, con lámparas fluorescentes. Para mantener las luminarias dentro de los límites de deslumbramiento establecidos, se utilizan rejillas, difusores opales o prismáticos.

En este tipo de locales, las luminarias normalmente se colocan con un patrón regular, preferiblemente en línea recta. Si al realizar el diseño de iluminación de un edificio completo se deben emplazar las luminarias en coincidencia con el módulo de las ventanas, se estudia el alumbrado de forma que proporcione el nivel luminoso adecuado para las salas de mayores dimensiones. Esta misma disposición será la que se aplicará luego para el resto de las salas, sin importar sus dimensiones. En locales más pequeños se pueden utilizar luminarias a las que se les pueda retirar o agregar lámparas, para así obtener el mismo nivel de iluminación.

Los edificios de oficinas se pueden diseñar con sistemas de techos que integran aire acondicionado con la iluminación. En este caso se utilizan luminarias integradas, las cuales forman un sistema integrado con los conductos de aire y los paneles acústicos.

Si se tiene previsto hacer divisiones con paredes móviles a lo largo de los ejes o módulos, se debe instalar las luminarias dejando los espacios correspondientes para colocar las separaciones.

2.5.4.- Alumbrado industrial

El trabajo realizado a nivel industrial cubre una gama de actividades más variada que las oficinas. Las tareas visuales pueden ser muy pequeñas o muy grandes, oscuras o claras, y puede tener formas con geometrías diferentes.

Las tareas se clasifican, según la percepción visual, según el grado de finura. Cuanto más crítica sea la tarea, mayor nivel de iluminancia exigirá y viceversa.

La mayoría de las naves industriales tienen una altura de entre 3,5 a 7 metros. Para estos locales, se aconseja un sistema de alumbrado con lámparas fluorescentes tubulares, debido a su larga vida útil y su eficacia.

Para lograr una iluminación uniforme en el plano de trabajo, se montan las luminarias lo más alto posible. Se alcanza una uniformidad de iluminancia aceptable cuando la separación entre filas de luminarias no excede de 1,5 veces la altura sobre el plano de trabajo. Sin embargo, este valor depende de la distribución luminosa de la luminaria. Para hileras discontinuas de luminarias, la distancia longitudinal entre ellas no debe superar los $\frac{2}{3}$ de su altura sobre el plano de trabajo.

Las líneas de luminarias se colocan normalmente de forma perpendicular a las filas de bancos de trabajo o máquinas. Esto evita la formación de sombras en la tarea visual y reduce la posibilidad de luz reflejada en los ojos. La disposición alternada de las luminarias con difusor y paralelas a los puestos de trabajo produce una mayor sensación de confort y ofrece una mejor impresión de conjunto. Sin embargo, es posible que no se pueda tener ambos beneficios a la vez, por lo que normalmente tiene mayor importancia las buenas condiciones visuales que la impresión de conjunto confortable.

2.6.- CÁLCULOS DE ALUMBRADO INTERIOR

2.6.1.- Método de la cavidad de zona o cavidad zonal.

Este método es uno de los más recientes que se conocen para el cálculo de alumbrado interior. El método consiste en separar el espacio del local a estudiar en tres cavidades; cavidad del techo, cavidad de cuarto y cavidad de piso. En la Figura 11 se muestran estas cavidades:

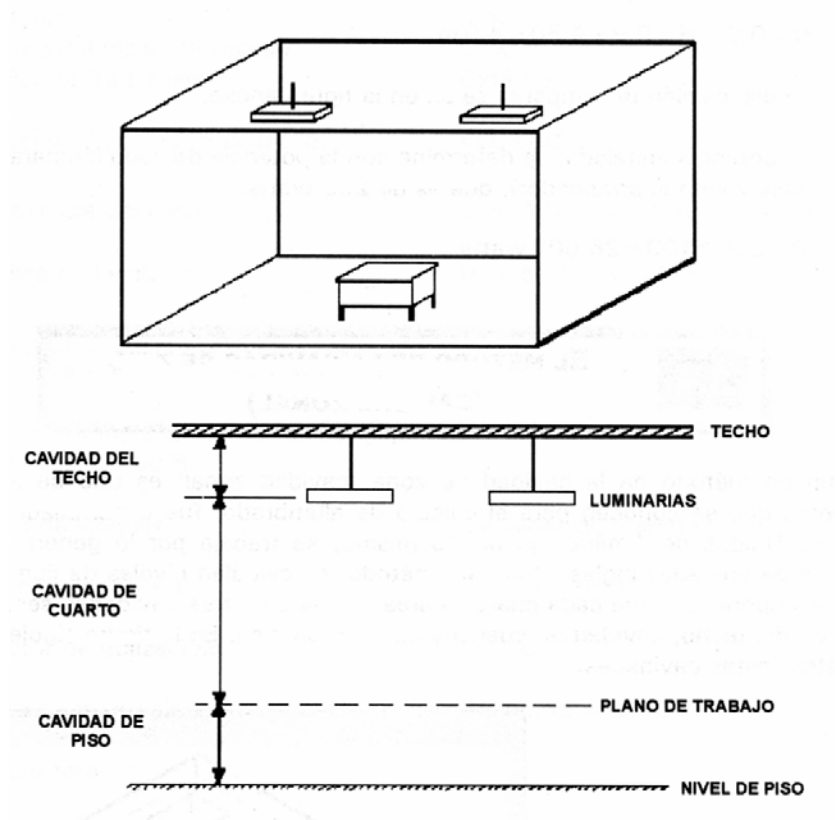


Figura 11. Cavidades de techo, cuarto y piso. [Harper, 2006]

La cavidad del piso se considera desde el plano de trabajo hasta el piso. La cavidad del techo se establece desde el techo hasta el plano de las luminarias, y la cavidad de cuarto es el espacio entre las luminarias y el plano de trabajo.

Los cuartos se clasifican a su forma por diez números de relaciones de cavidad. La ecuación para obtener la relación de cavidad es la siguiente:

$$RC = \frac{5 \times \text{Altura} \times (\text{Longitud} + \text{Ancho})}{\text{Longitud} \times \text{Ancho}}$$

Donde la altura es de la cavidad en consideración, es decir, techo, piso o cuarto. Esta ecuación se utiliza para locales de base rectangular. Cuando tiene forma de “L” se utiliza la siguiente:

$$RC = 2,5 \times \frac{\text{Área de la pared}}{\text{Área del piso}}$$

En el cálculo de la relación de cavidad del techo, la altura se considera como la distancia entre el plano de las luminarias y la cavidad del techo.

2.6.1.1.- Reflectancia efectiva.

En la iluminación es de interés el concepto de la luz total reflejada expresada en reflectancia. Esta se define como:

$$\text{Reflectancia} = \frac{\text{Luz total reflejada}}{\text{Luz total incidente}}$$

La combinación de reflectancias de la pared y el techo, así como el piso y la pared, se deben convertir en reflectancias efectivas de techo y piso. La reflectancia efectiva de las cavidades de techo y piso considera la interacción de la luz entre las superficies del cuarto. En la Tabla 9 se pueden observar algunos colores y su reflectancia

Tabla 9. Factores de reflexión de diferentes colores y materiales iluminados con luz blanca. [Enciclopedia de salud en el trabajo, 2006]

Color/material	Factor de reflexión (%)
Blanco	100
Papel blanco	80-85
Marfil, amarillo lima	70-75
Amarillo brillante, ocre claro, verde claro, azul pastel, rosa claro, crema	60-65
Verde lima, gris pálido, rosa, naranja, gris azulado	50-55
Madera clara, azul celeste	40-45
Roble, hormigón seco	30-35
Rojo oscuro, verde árbol, verde oliva, verde hierba	20-25
Azul oscuro, púrpura	10-15
Negro	0

En la Tabla 10 se muestran factores de reflexión para otros colores y materiales.

Tabla 10. Factores de reflexión. [Baschuk, 1977]

Color/material	Factor de reflexión (%)
Hormigón oscuro	15-25
Hormigón claro	30-50
Granito	15-25
Gris piedra	40-50
Gris oscuro	10-20

2.6.1.2.- Coeficiente de utilización.

El coeficiente de utilización se define como el número de lúmenes en el plano de trabajo y el número total de lúmenes emitidos por la lámpara.

$$K_u = \frac{\text{Lúmenes en el plano de trabajo}}{\text{Lúmenes de la lámpara}}$$

El plano de trabajo es considerado a 76 cm sobre el piso. Este dato es proporcionado por el fabricante de la luminaria.

2.6.1.3.- Ajuste del coeficiente de utilización.

Cuando la reflectancia efectiva de la cavidad del piso es de 18, 19, 21 o 22 %, se puede hacer uso efectivo de las tablas de los coeficientes de utilización. Pero si la reflectancia efectiva del piso es de 17% o menos, o 23% o superior, se requiere hacer un ajuste. En la siguiente figura se muestra una tabla de factores de corrección.

ρ_{2E} Reflectancia efectiva de cavidad cielorraso en %	80			70			50			10		
ρ_1 Reflectancia de pared en %	50	30	10	50	30	10	50	30	10	50	30	10
K_1 Indice de cavidad local												
1	1.08	1.08	1.07	1.07	1.06	1.06	1.05	1.04	1.04	1.01	1.01	1.01
2	1.07	1.06	1.05	1.06	1.05	1.04	1.04	1.03	1.03	1.01	1.01	1.01
3	1.05	1.04	1.03	1.05	1.04	1.03	1.03	1.03	1.02	1.01	1.01	1.01
4	1.05	1.03	1.02	1.04	1.03	1.02	1.03	1.02	1.02	1.01	1.01	1.00
5	1.04	1.03	1.02	1.03	1.02	1.02	1.02	1.02	1.01	1.01	1.01	1.00
6	1.03	1.02	1.01	1.03	1.02	1.01	1.02	1.02	1.01	1.01	1.01	1.00
7	1.03	1.02	1.01	1.03	1.02	1.01	1.02	1.01	1.01	1.01	1.01	1.00
8	1.03	1.02	1.01	1.03	1.02	1.01	1.02	1.01	1.01	1.01	1.01	1.00
9	1.02	1.01	1.01	1.02	1.01	1.01	1.02	1.01	1.01	1.01	1.01	1.00
10*	1.02	1.01	1.01	1.02	1.01	1.01	1.02	1.01	1.01	1.01	1.01	1.00

Figura 12. Factores de corrección para coeficientes de utilización. [Baschuk, 1977]

Según Baschuk (1977), cuando la reflectancia efectiva de la cavidad del suelo es mayor a 20%, el coeficiente de utilización se multiplica por el factor de corrección. Si la reflectancia mencionada resulta ser menor a 20%, el coeficiente de utilización se debe dividir por el factor de corrección.

Baschuk (1977) indica que la reflectancia efectiva de la cavidad del suelo no debe incrementarse arbitrariamente, pues ello traería aparejado un aumento de su luminancia que se podría transformar en deslumbramiento, producto de la reflexión de la luz en el piso. Por esta razón, se establece un límite superior de 30% para estas reflectancias, mientras que el límite inferior queda establecido en 10%.

2.6.1.4.- Coeficiente de depreciación.

El coeficiente de depreciación (K_d) considera la reducción de la luz emitida por la lámpara por efecto de ensuciamiento de la misma. Baschuk (1977) sugiere el uso de los valores de la Tabla 11 para el cálculo de este coeficiente.

Tabla 11. Coeficiente de depreciación. [Elaboración propia]

Coeficiente de depreciación			
Distribución luminosa	Limpio	Poco limpio	Sucio
Directa	0,80	0,75	0,65
Semi directa	0,80	0,75	0,65
General difusa	0,80	0,75	0,65
Semi indirecta	0,75	0,65	0,50
Indirecta	0,70	0,60	0,50

2.6.1.5.- Número requerido de lámparas y luminarias.

De acuerdo con el método descrito para el cálculo de iluminación en interiores, el número de luminarias a colocar en un local se puede determinar con la siguiente ecuación:

$$NL = \frac{S \times E}{Ku \times Kd \times F}$$

Donde:

N= Número de luminarias.

S= Área del piso del local o cuarto por iluminar.

E= Nivel de iluminación deseado, expresado en Lux.

F= Flujo total de luminaria.

Ku= Coeficiente de utilización.

Kd= Coeficiente de depreciación.

2.6.1.6.- Arreglo y disposición de luminarias.

Para obtener una iluminación uniforme, es necesario tener una idea de la distribución mas adecuada para las luminarias, que tome en consideración las

dimensiones del local y sus aspectos arquitectónicos. Es necesario indicar la máxima separación entre luminarias, que generalmente lo indican los fabricantes de las luminarias, relacionando esta medida con la altura de montaje.

Cuando se tiene luminarias montadas de forma individual, se puede utilizar la siguiente ecuación con el fin de obtener un nivel de iluminación adecuado cerca de las paredes del local:

$$\text{Separación de pared a pared} = \frac{\text{Separación de luminaria a luminaria}}{3}$$

Cuando se trata de hileras continuas de luminarias fluorescentes, la separación que debe haber entre la pared y el centro de la primera hilera se calculan con la misma ecuación. “La separación entre los extremos de las hileras y la pared debe ser de 15 a 60 cm, dependiendo de la altura de montaje.” (Harper, 2006)

Como medida de orientación, se puede utilizar las siguientes ecuaciones para obtener el espaciamiento entre luminarias individuales o en filas continuas con separación transversal:

$$\text{Número mínimo de filas} = \frac{\text{Ancho del local}}{\text{Máxima separación permitida}}$$

Separación longitudinal entre filas continuas:

$$\text{Número máximo de unidades por fila} = \frac{\text{Longitud del local} - 1}{\text{Longitud de las luminarias}}$$

2.7.- FUNDAMENTOS DE LA SALUD Y SEGURIDAD EN EL TRABAJO

2.7.1.- Salud y Seguridad en el Trabajo (SST)

El concepto de Seguridad en el Trabajo ha evolucionando de la misma forma en que se han producido cambios en las condiciones y circunstancias en el que el trabajo se realizaba. En este sentido, los progresos tecnológicos, las condiciones políticas, sociales, económicas, entre otras, al influir de forma directa en su concepción han definido el objetivo de la seguridad y salud en el trabajo en cada país y en cada momento determinado.

La Seguridad en el Trabajo consiste en un conjunto de técnicas y procedimientos que tienen por objeto evitar, eliminar o minimizar los riesgos que pueden conducir a la materialización de accidentes con en el trabajo, (lesiones, incluidos los efectos agudos producidos por agentes o productos potencialmente peligrosos). Este persigue esencialmente dos objetivos:

1. Identificación y evaluación de los riesgos e investigación de accidentes.
2. Corrección y control de los riesgos (incluida su eliminación).

Estos objetivos convergen en uno solo: prevenir los accidentes laborales, los cuales son el resultado de las actividades de producción no controladas. (Grau 2002)

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), una de las definiciones de Salud se presenta como el estado de bienestar físico, mental y social en que la persona ejerce normalmente todas sus funciones con perfecto equilibrio entre sus fuerzas, exigencias del medio circundante en que desarrolla sus actividades laborales y cotidianas en ausencia de daño y enfermedad. (Biblioteca Técnica de Prevención de Riesgos Laborales, 2000)

La SST agrupa todas las condiciones y factores que inciden en el bienestar global de los empleados, trabajadores temporales, personal contratista, tesisistas, pasantes, visitantes y cualquier otra persona en el sitio de trabajo.

La producción debe satisfacer las condiciones necesarias de tres elementos indispensables, seguridad, productividad y calidad de los productos, sin desligar de estos el bienestar del trabajador y la trabajadora, representado por su salud.

2.7.2.- Enfermedades Ocupacionales

Según la Ley Orgánica de Prevención, Condiciones y Medio Ambiente de Trabajo (LOPCYMAT), el artículo 70 define la enfermedad ocupacional, como:

“Se entiende por enfermedad ocupacional, los estados patológicos contraídos o agravados con ocasión del trabajo o exposición al medio en el que el trabajador o la trabajadora se encuentra obligado a trabajar, tales como los imputables a la acción de agentes físicos y mecánicos, condiciones disergonómicas, meteorológicas, agentes químicos, biológicos, factores psicosociales y emocionales, que se manifiesten por una lesión orgánica, trastornos enzimáticos o bioquímicos, trastornos funcionales o desequilibrio mental, temporales o permanentes.

Se presumirá el carácter ocupacional de aquellos estados patológicos incluidos en la lista de enfermedades ocupacionales establecidas en las normas técnicas de la presente Ley, y las que en lo sucesivo se añadieren en revisiones periódicas realizadas por el Ministerio con competencia en materia de seguridad y salud en el trabajo conjuntamente con el Ministerio con competencia en materia de salud.”

2.7.3.- Riesgos en el Trabajo

En casi todos los lugares de trabajo se puede encontrar un número ilimitado de peligros, que van desde los generados por condiciones de trabajos inseguros evidentes e insidiosas a riesgos presentes según el proceso de producción o las actividades que se realicen.

El riesgo es una combinación de la probabilidad de que ocurra un suceso peligroso, con la gravedad de las lesiones o daños para la salud que pueda causar tal suceso (Organización Internacional del Trabajo, 2002). Un riesgo lleva implícito agentes de peligro, los cuales se encuentran en el ambiente de trabajo y dependen del tipo de riesgo, pudiendo ser causa de accidentes de trabajo, enfermedades ocupacionales o molestias en los trabajadores.

El peligro, según la Organización Internacional del Trabajo (2002), es la situación inherente con capacidad de causar lesiones o daños a la salud de las personas.

2.7.4.- Notificación de los Riesgos en los lugares de Trabajo

Todo proceso mediante el cual la empleadora o el empleador informa sobre la naturaleza de los riesgos y peligros, por la exposición a agentes físicos, químicos, biológicos, meteorológicos, a condiciones disergonómicas o psicosociales presentes los puestos de trabajo, los daños que pudiera causar a la salud, indicando los principios y métodos para su prevención.

Así mismo la notificación de riesgos como deber de los empleadores y las empleadoras, según el artículo 56 de la LOPCYMAT, numerales 3 y 4, consiste en

garantizar la información necesaria y pertinente en materia de prevención de riesgos laborales a todos los trabajadores y trabajadoras de la empresa. Entre sus alcances se mencionan:

Informar a todos los trabajadores, de:

- Los riesgos generales y específicos de su puesto de trabajo que les afecten y de las medidas de protección y prevención adoptadas para combatirlos.
- Las acciones que se realicen en la empresa en materia de prevención.
- Las medidas adoptadas en materia de primeros auxilios, lucha contra incendios y evacuación.
- La información que debe proporcionarse a los visitantes que accede a la empresa.
- Cualquier cambio o modificación que se produzca en su puesto o lugar de trabajo de trabajo.

2.7.4.1.- Implicaciones y responsabilidades.

Los trabajadores tienen derecho a estar informados sobre los riesgos laborales a los que están sometidos. Aunque la responsabilidad legal recae sobre el empleador, deberán ser los mandos directos los responsables de transmitir a los trabajadores a su cargo la información necesaria, de manera que la ejecución de las tareas sea correcta y segura.

Para ello, se podrá informar a través de los delegados de prevención de los riesgos generales de la empresa, no obstante, deberá informarse directamente a cada trabajador de los riesgos específicos que afecten a su puesto de trabajo o función y de las medidas de protección y prevención aplicables a dichos riesgos.

El tipo de empresa, tipo de contrato o la inexistencia de representantes de los trabajadores no exime a los empresarios de sus obligaciones de información.

Asimismo, los trabajadores deberán comunicar los riesgos que detecten según el procedimiento establecido en la organización.

Por su parte, el responsable o responsables de realizar las evaluaciones de riesgos deberán informar a la organización de los riesgos identificados en cada puesto de trabajo. El Coordinador de Seguridad ó Prevención, o la persona designada al efecto, deberá ofrecer la información inicial de carácter general necesaria a todo trabajador de nueva incorporación.

La Ley Orgánica de Prevención, Condiciones y Medio Ambiente de Trabajo (LOPCYMAT) en su artículo 56, expone los deberes de los empleadores y empleadoras en varios puntos o numerales específicos. Los numerales tres y cuatro hacen referencia a la notificación y principios de prevención de los riesgos a los trabajadores y trabajadoras a los que pueden estar expuestos en su lugar de trabajo, como sigue:

“Son deberes de los empleadores y empleadoras, adoptar las medidas necesarias para garantizar a los trabajadores y trabajadoras condiciones de salud, higiene, seguridad y bienestar en el trabajo, así como programas de recreación, utilización del tiempo libre, descanso y turismo social e infraestructura para su desarrollo en los términos previstos en la presente Ley y en los tratados internacionales suscritos por la República, en las disposiciones legales y reglamentarias que se establecieren, así como en los contratos individuales de trabajo y en las convenciones colectivas. A tales efectos deberán:

1. Informar por escrito a los trabajadores y trabajadoras de los principios de la prevención de las condiciones inseguras o insalubres, tanto al ingresar al trabajo como al producirse un cambio en el proceso laboral o una modificación del puesto de trabajo e instruirlos y capacitarlos respecto a la promoción de la salud y la seguridad, la prevención de accidentes y enfermedades profesionales así como

también en lo que se refiere a uso de dispositivos personales de seguridad y protección.

2. Informar por escrito a los trabajadores y trabajadoras y al Comité de Seguridad y Salud Laboral de las condiciones inseguras a las que están expuestos los primeros, por la acción de agentes físicos, químicos, biológicos, meteorológicos o condiciones disergonómicas o psicosociales que puedan causar daño a la salud, de acuerdo a los criterios establecidos por el Instituto Nacional de Prevención, Salud y Seguridad Laborales”.

El Reglamento de las Condiciones de Higiene y Seguridad en el Trabajo establece en su artículo 11. “Todo local de trabajo deberá cubrir como mínimo las siguientes especificaciones:

- a. Para lo locales industriales, una altura mínima de (3) tres metros, medida desde el piso hasta la parte inferior del techo o cielo raso.
- b. Para las oficinas y locales comerciales, una altura mínima de 2,6 metros, medida desde el piso hasta la parte inferior del techo o cielo raso.
- c. Un área de piso libre de dos metros cuadrados por trabajador.
- d. Volumen suficiente para diez metros cúbicos de aire por trabajador.
- e. Diseño apropiado de acuerdo a las operaciones a realizar a fin de evitar fatiga de los trabajadores.

A continuación se citan los artículos del Reglamento de Condiciones de Higiene y Seguridad en el Trabajo correspondientes a las condiciones del entorno visual de áreas de trabajo:

Artículo 129. El patrono deberá tomar las medidas necesarias para que todos los lugares destinados al trabajo, tengan iluminación natural o artificial en cantidad y calidad suficientes, a fin de que el trabajador realice sus labores con la mayor seguridad y sin perjuicio de su vista.

Artículo 130. Todas las ventanas, tragaluces y orificios por donde deba penetrar la luz solar, así como las pantallas y bombillas, deberán conservarse limpios y libres de obstrucciones.

Artículo 131. Las ventanas y tragaluces se dispondrán de manera que la iluminación natural sea lo más uniforme posible en los lugares de trabajo, colocándose cuando sean necesarios, dispositivos que impidan el deslumbramiento.

Artículo 132. La iluminación general artificial debe ser uniforme y distribuida de manera que se eviten sombras intensas, contrastes violentos y deslumbramientos.

Artículo 133. Cuando en determinada labor se requiera iluminación intensa, ésta deberá obtenerse mediante combinación de la iluminación general y la local complementaria, instalada de acuerdo con el trabajo a ejecutarse.

Artículo 134. En los edificios donde se efectúan labores nocturnas, deberá instalarse un sistema de iluminación de emergencia en las escaleras y salidas auxiliares. Este sistema se instalará igualmente en los sitios de trabajo que no tengan iluminación natural.

Artículo 135. En los locales de trabajo se permitirá el uso de lámparas fluorescentes, siempre que se elimine el efecto estroboscópico.

Artículo 136. Para la iluminación de las diversas áreas de trabajo se observarán los valores mínimos indicados en la siguiente tabla.

2.8.- RIESGO POR ILUMINACIÓN

Los factores que pueden provocar accidentes de trabajo se denominan riesgos mecánicos, debido a que en estos se presenta la transferencia de alguna forma de energía y las consecuencias son de fácil reconocimiento e inmediatas.

Los factores que pueden producir molestias o enfermedades se denominan riesgos ambientales, y sus consecuencias no son inmediatas. Estos pueden ser de origen físico, químico y biológico.

Entre los que son de origen físico, se tiene el ruido, la temperatura, la humedad, la ventilación, las radiaciones tanto ionizantes como las no ionizantes, vibraciones e iluminación.

De los factores de riesgo de origen físico, la iluminación es uno de los factores de riesgo presentes en puestos de trabajo que pudieran ocasionar una enfermedad ocupacional o accidentes inclusive.

Hay dos tipos de efectos que se presentan en las personas sometidas a un nivel inadecuado de iluminación, y que se relacionan con la intensidad de este riesgo:

- Generales
- Específicos

Los efectos generales son los siguientes:

- Bajo rendimiento laboral
- Incremento de errores asociados a la falta de visión por parte de la persona afectada
- Incidencia negativa sobre el estado de ánimo de la persona.

Los efectos específicos son los que se citan a continuación:

- Tensión ocular. Los músculos ciliares del ojo humano regulan la abertura de la pupila de acuerdo con el brillo promedio del campo visual. La abertura óptima es de 2 a 4 mm de diámetro; fuera de este rango se causaría fatiga por la contracción sostenida del músculo ciliar.
- Fatiga ocular: tanto la deficiencia de iluminación como iluminación excesiva pueden causar fatiga. Una medida de la misma es el ritmo del parpadeo, ya que la frecuencia con que una persona pestañea es un índice del grado de molestia que causa la tarea visual.
- Disminución del ritmo cardiaco: La fatiga producida por una labor cualquiera, causa una disminución en el número de pulsaciones del corazón, la cual es debida al estímulo reflejo del sistema nervioso central, como consecuencia del esfuerzo efectuado en la labor. Una hora de lectura bajo iluminación de 10 lux causa una disminución de 10% en el ritmo cardiaco, si el nivel es de 1.000 lux la disminución es de solo 1%.
- Disminución de la reserva de convergencia: Consiste en la disminución del movimiento activo relacionado con el reflejo de acomodación – convergencia y el reflejo de acercamiento, cuando ambos ojos se mueven hacia el lado nasal.
- Sensación de malestar general.
- Reducción de la agudeza visual.
- Dolor de cabeza.
- Vértigo y mareos.
- Incremento del parpadeo.
- Agravamiento de los defectos visuales de la persona afectada.
- Ceguera temporal o total en situaciones de iluminación excesiva. (Jiménez, Linares, 1994)

Debido a estos efectos, es necesario diseñar la iluminación de los puestos de trabajo tomando en consideración los niveles adecuados para la tarea a realizarse en el sitio.

Cuando se diseña un puesto de trabajo, no solo se debe tomar en consideración la cantidad de luz emitida por las luminarias y el número de las mismas. También debe tomarse en cuenta aspectos como el color de piso, paredes y techo, así como el del plano de trabajo. La importancia del color viene dada por la capacidad que se tiene de apreciar los detalles de un objeto con un tipo de luz. Por ejemplo, Rigoberto Quinchia (PDVSA CIED, 2001) explica que en los talleres de serigrafía se requiere de luz amarilla para definir las características de las líneas. Cuando le preguntaba a los operarios como se sentían en su oficio, estos respondían que cuando salían de su jornada de trabajo de 8 horas, todo lo veían amarillo. Según el autor antes citado, la razón es que en el espectro de longitudes de ondas, esa luz amarilla está entre el rango de 560 y 610 nanómetros, lo cual quiere decir que todo lo que iluminen que sea de color blanco se verá amarillo; todo lo que iluminen de color amarillo se verá amarillo más intenso; todo lo que iluminen de color oscuro se verá oscuro, porque absorbe el amarillo; y todo lo que se vea en combinación con otro color, será aditivo o sustractivo dependiendo del color.

Cuando se diseñan módulos de trabajo, se debe cuidar que no se presenten sombras en los mismos. De esto suceder, la persona que este laborando en ese puesto hará un mayor esfuerzo visual.

De forma similar ocurre con el contraste. En áreas donde se utiliza iluminación natural en combinación con iluminación artificial, es necesario cuidar que el contraste de brillo no afecte a la persona.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1.- CONSIDERACIONES GENERALES

Para la evaluación de los puestos de trabajo se toma como base la norma COVENIN 2249-93. Los puntos donde se llevarán a cabo las mediciones se establecen según la configuración del lugar de trabajo. Por lo general, los puestos son de tipo modular, con tres posiciones para realizar labores. En vista de ello, se coloca el luxómetro en cada parte donde el trabajador ejecuta alguna labor, bien sea de escritura a mano, lectura o trabajo con computadora. Lo mismo aplica para escritorio de tipo rectangular o módulos con más de tres posiciones de trabajo.

Se hace énfasis en los diseños incorrectos. Estos son considerados como fuentes de riesgo. Las luminarias defectuosas o en mal funcionamiento se consideran desviaciones. Para el rediseño de los puestos de trabajo, se consideran solo los diseños inadecuados de los puestos de trabajo. En el caso de las desviaciones, solo se realizan recomendaciones acordes a la situación.

Las mediciones realizadas en los puestos de trabajo se almacenan en una base de datos desarrollada en MySQL, con el fin de poder reportar por escrito a cada trabajador el nivel promedio de iluminación al cual está expuesto. Dicha base de datos es parte de un programa computacional desarrollado en PHP, el cual tiene como fin el poder calcular iluminación para áreas de trabajo. Este sistema se basa en el Método de Cavidad Zonal, lo cual genera como resultado el número de luminarias necesarias en un área determinada y su distribución.

3.2.- PROCEDIMIENTO PARA LA EVALUACIÓN DE ILUMINACIÓN

3.2.1.- Obtención de datos para evaluación

Para realizar las luxometrías y posteriormente la evaluación y el reporte de resultados se requiere de lo siguiente:

1. Planos de infraestructura.
2. Plan de mantenimiento de las luminarias.

El plan de mantenimiento se utiliza para tener una perspectiva general de la situación de la instalación, así como verificar su cumplimiento.

3.2.2.- Mediciones de iluminación

Las mediciones de iluminación se realizan con un luxómetro. Para efectuar las mediciones se toma como base las indicaciones de la norma COVENIN 2249-93. El procedimiento a seguir es el siguiente:

1. Se verifica que las luminarias tengan el tiempo requerido de trabajo. Las lámparas deben tener un tiempo de operación de aproximadamente media hora, antes de proceder a la lectura de los valores de iluminación puntual en cada uno de los ambientes a estudiar, de acuerdo a las recomendaciones de la Norma COVENIN 2249-93 relativa a iluminancias en tareas y áreas de trabajo.
2. Se tapa la fotocelda del luxómetro, con el fin de comprobar que este calibrado.
3. El equipo se coloca en cada punto del puesto de trabajo donde el trabajador realiza sus labores. En general, los puestos son de tipo modular, donde el plano de trabajo esta compuesto por tres áreas, una de ellas se utiliza para colocar una computadora. Otros puestos de trabajo son de tipo escritorio rectangular o combinaciones de escritorio y modulo. En la Figura 13 se observan esquemas de los puestos de trabajo.

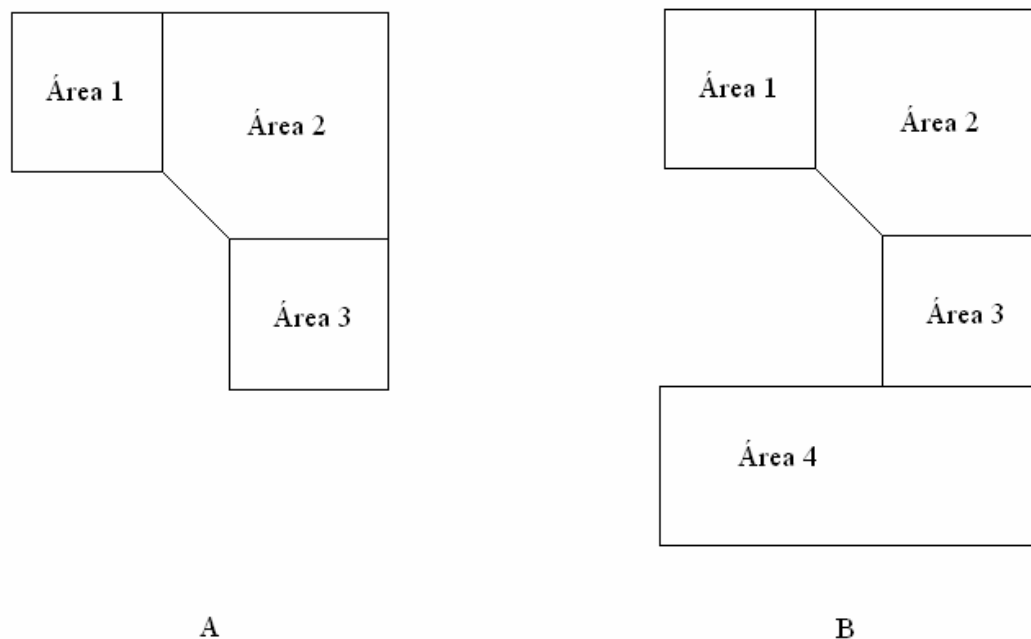


Figura 13. Planos de trabajo de puestos de tipo modular. [Elaboración propia]

4. El luxómetro se posiciona en un punto por cada área del plano de trabajo, tal como lo indica la norma COVENIN 2249-93. Se coloca en lugares donde el trabajador realiza tareas de escritura con teclado (de computadora), escritura a mano o lectura. Según indica la norma mencionada anteriormente, las mediciones se toman de tal forma que el equipo de medición quede en el punto de visión más crítico, es decir, justo en el lugar del plano de trabajo donde la persona fija su atención. La lectura de los valores de iluminancia mostrados por el luxómetro se hace tomando una distancia prudencial del equipo, para no interferir con la medición.
5. La cantidad de mediciones realizadas están relacionadas con el número de áreas que el trabajador o trabajadora utiliza para realizar sus tareas. Por ejemplo, si el plano de trabajo está dividido en tres áreas de trabajo, se tomarán tres o cuatro mediciones.
6. Se mide la altura del plano de trabajo con respecto al piso y la altura desde la luminaria hasta el plano de trabajo. Esto se hace para calcular y rediseñar la

iluminación del área donde esté ubicado el puesto de trabajo, en caso de que se requiera.

3.2.3.- Toma de datos relacionados con el área de trabajo

Para registrar las características del área de trabajo, se utiliza una Planilla de Adquisición de Datos (ver anexo II). En ella se asientan datos necesarios para realizar la evaluación del puesto de trabajo. En esta planilla se encuentran los siguientes tópicos:

- Evaluar condiciones ambientales.
 - Condiciones atmosféricas.
 - Hora de inicio de la medición.
 - Duración de la medición.
- Datos generales de luminaria
 - Número de luminarias.
 - Tipo de luminarias.
 - Número de lámparas.
 - Marca(s) de la(s) lámpara(s).
 - Potencia de la(s) lámpara(s).
 - Número de luminarias defectuosas. Se toma como luminaria defectuosa aquella que presente una o más lámparas inoperativas.
 - Número de luminarias en mal funcionamiento. Se considera una luminaria en mal funcionamiento aquella que presenta una o más lámparas con efecto estroboscopio o con un flujo luminoso bajo, observable a simple vista.
 - Posición relativa al techo (colgante o empotrada).
 - Altura con respecto al piso.
 - Altura con respecto al plano de trabajo.
- Condiciones del lugar o plano de trabajo.
 - Tarea realizada.

- Color del plano de trabajo.
- Color de piso.
- Color de las paredes.
- Color del techo.
- Número de ventanas.
- Sombras.
- Contraste.
- Mediciones. Aquí se registran las mediciones hechas, tomando en consideración los lugares donde el trabajador o trabajadora labora.

La “Hora de inicio de la medición” sirve de referencia del nivel de iluminación natural, en conjunto con las condiciones climáticas.

Las condiciones atmosféricas se clasifican de la siguiente manera:

- Buen Tiempo: Sol radiante, escasa nubosidad;
- Nublado: Sol difuso, nubes abundantes, sin aspecto de lluvia.
- Lluvioso: Nubes abundantes con aspecto o presencia de lluvia.

Se utilizan elementos atmosféricos porque están relacionados de manera directa con la iluminación natural. Se juzga conveniente, mas no obligatorio, efectuar las mediciones durante de mayor insolación media, por la ventaja de poder comprobar la influencia de la iluminación natural en la iluminación existente.

El ítem “Tarea realizada” se refiere al tipo de tarea que se ejecuta en el puesto de trabajo. En la Tabla 12 se muestra la clasificación de las tareas y sus niveles técnicos de referencia, según la norma COVENIN 2249-93:

Tabla 12. Clasificación de las tareas realizadas por puesto de trabajo
[Elaboración propia]

	Niveles de iluminación (lux)		
Tarea	A	B	C
Oficina	500	750	1000
Taller	500	750	1000
Recepción	100	150	200
Laboratorios	500	-	-

La norma COVENIN 2249-93 no establece valores específicos de niveles de iluminación para oficinas, sino que hace referencia a los niveles correspondientes a actividades de “lectura”. Dentro de estas actividades, las predominantes son: “Impresiones de tinta”, “Teclados y terminales”, “Copias duplicado” y escritura con “Lápiz N° 3 y más blandos”. Los niveles de iluminación correspondientes se muestran en la Tabla 13.

Tabla 13. Niveles de iluminación para actividades de “Lectura”, según la norma COVENIN 224993. [Elaboración propia]

	Niveles de iluminación (lux)		
Tarea	A	B	C
Teclados y terminales	200	300	500
Impresiones de tinta	200	300	500
Copias duplicado	500	750	1000
Lápiz N° 3 y más blandos	500	750	1000

Como se muestra en la tabla anterior, las actividades de “Copias duplicado” y “Lápiz N° 3 y más blandos” comprenden un intervalo de iluminación de 500 a 1000

lux, el cual cubre los requerimientos de niveles de iluminación para las tareas de “Teclados y terminales” e “Impresiones de tinta”. Por ello, y para efectos de este Trabajo Especial de Grado, se escoge para tareas de oficinas los niveles de 500, 750 y 1000 lux.

Los niveles de iluminancia para tareas de taller corresponden a “Trabajo medio de banco o máquina, máquinas automáticas corrientes, esmerilado burdo, raspado y pulido mediano”, según la norma COVENIN 2249-93.

La iluminancia para las recepciones corresponde a “vestíbulos, salas de espera, de descanso y de recepción”, de la norma COVENIN 2249-93.

En la norma citada anteriormente no se encuentran valores de iluminancia para laboratorios. Por ello se hace referencia a los niveles recomendados por las Normas Técnicas Españolas 551, Prevención de riesgos en el laboratorio: la importancia del diseño. Estas normas indican que el valor de iluminancia general adecuado para laboratorios es de 500 lux. Este nivel de iluminancia es equivalente al valor “A” en las normas COVENIN 2249-93.

3.2.4.- Ubicación de los puestos de trabajo en el plano de la infraestructura evaluada

Para llevar a cabo el reporte de los niveles de iluminación al que esta expuesto cada trabajador o trabajadora, se necesita conocer la localización de los puestos de trabajo dentro de cada instalación. Para ello se utilizan los planos en digital de la infraestructura. Una vez ubicado el puesto, se le asigna un número para posteriormente codificarlo. Este código es utilizado para realizar el reporte en físico a cada trabajador o trabajadora. La estructura del código se observa en la Tabla 14. En caso tal que los planos no coincidan con la infraestructura, se hace un croquis del sitio y posteriormente se realiza en digital.

Tabla 14. Codificación de puestos de trabajo. [Elaboración propia]

Instalación	Código
Edificio La Campiña	Piso – Número de oficina – Numero de puesto de trabajo
Refinería El Palito. Oficinas	Piso – Número de oficina – Numero de puesto de trabajo
Refinería El Palito. Taller de Metales y Máquinas Herramientas	Identificador – Tipo de máquina – Numero de puesto de trabajo
Edificio Pawa	Piso – Número de oficina – Numero de puesto de trabajo
Edificio Sede de Maturín (ESEM)	Nivel – Número de oficina – Numero de puesto de trabajo

Si los planos no corresponden con la realidad, se modifican y se le asigna un número al puesto de trabajo u oficina. Este corresponde al último número del código.

3.2.5.- Evaluación de los puestos de trabajo.

Con los datos registrados en la Planilla de Adquisición de datos, se procede a la evaluación del puesto de trabajo. Para ello se sigue el siguiente procedimiento:

1. Comparar el nivel de iluminación medido con los niveles establecidos en la norma COVENIN 2249-93.
2. Identificar el tipo de luminaria. El tipo de luminaria puede ser un factor influyente en los niveles de iluminación. Las luminarias con difusores prismáticos tienden a opacarse con el tiempo, lo cual disminuye el flujo luminoso.
3. Verificar estado de las luminarias. Con esto se busca identificar luminarias en mal funcionamiento y defectuosas.

4. Examinar colores de piso, techo, paredes y plano de trabajo. Los colores del área de trabajo influyen en los niveles de iluminancia. Colores muy oscuros disminuyen los niveles de iluminación.
5. Revisar observaciones. En estas se puede encontrar datos referentes a situaciones particulares del puesto de trabajo, que pueden influir en los niveles de iluminación.
6. Verificar el nivel de iluminancia promedio de la instalación.

3.3.- PROCEDIMIENTO PARA EL REDISEÑO DE LOS PUESTOS DE TRABAJO

El rediseño de los puestos de trabajo se realiza a través del programa computacional que se creará para tal fin. Para ello se sigue el siguiente procedimiento:

1. Se escoge una oficina que haya sido evaluada.
2. Con las características de la misma (colores y dimensiones), se calcula el número de luminarias.
3. Se compara el número de luminarias obtenido con el existente. Esto tiene como fin calcular el número de luminarias adecuado a las características actuales de la oficina.
4. Con las mismas dimensiones de la oficina anterior, se procede a calcular de nuevo el número de luminarias, esta vez cambiando los colores.
5. Se compara los resultados obtenidos en los pasos 3 y 4.

La solución a escoger será la que garantice el confort visual de las personas que laboren en el lugar.

El procedimiento descrito se toma como un modelo para definir como diseñar la iluminación de las áreas de trabajo.

3.4.- HERRAMIENTAS INFORMÁTICAS DE NOTIFICACIÓN Y REDISEÑO DE ILUMINACIÓN EN PUESTOS DE TRABAJO

3.4.1.- Programa de notificación y cálculo de iluminación (PDVLUX)

Para llevar a cabo el rediseño de la iluminación en los puestos de trabajo, y la notificación a los trabajadores y trabajadoras de los niveles de iluminación a los que están expuestos, se desarrollará un programa computacional (PDVLUX). El programa debe estar compuesto por dos módulos:

1. Programa para el cálculo de iluminación. Este tiene como fin servir de herramienta para rediseñar la iluminación en los puestos de trabajo.
2. Base de datos. La base de datos sirve para el registro de niveles de iluminación en puestos de trabajo.

3.4.1.1.- Programa para el cálculo de iluminación

Para el cálculo de iluminación, se utiliza el Método de Cavidad Zonal. Se escoge este método con base en la evaluación de distintos métodos de iluminación comparados en el trabajo de Wallis Olavarria (1986). El Método de Cavidad Zonal ofrece las siguientes bondades:

1. Es de fácil utilización.
2. No requiere de cálculos complejos.
3. Se obtiene un nivel de iluminancia cercano al real.

Además, este método es recomendado desde 1960 por la IES para el cálculo de iluminación.

Las variables de entrada y salida se muestran en la Tabla 15 y la Tabla 16.

Tabla 15. Variables de entrada [Elaboración propia]

Variable	Unidad en Sistema Internacional
Perímetro del local	m
Área del piso del local	m ²
Altura del techo	m
Altura del plano de luminarias	m
Altura del plano de trabajo	m
Color de techo	Adimensional
Color de piso	Adimensional
Color de pared	Adimensional
Coefficiente de depreciación	Adimensional
Tipo de luminaria	Adimensional
Tipo de lámpara	Adimensional
Nivel de iluminancia requerido	Lux

Tabla 16. Variables de salida. [Elaboración propia]

Variable	Unidad en Sistema Internacional
Número de luminarias	Adimensional

3.4.1.2.- Algoritmo para el cálculo de iluminación

Para realizar el cálculo de iluminación utilizando el Método de Cavidad zonal, se siguen los siguientes pasos:

1. Inicio
2. Entrada de datos. En este paso se ingresan los datos que el programa usará para calcular. Los datos son:
 - a. Color del piso.
 - b. Color de pared.

- c. Color de techo.
 - d. Tipo de luminaria.
 - e. Tipo de lámpara.
 - f. Perímetro del local.
 - g. Área del piso del local.
 - h. Altura del techo.
 - i. Altura del plano de luminarias.
 - j. Altura del plano de trabajo.
 - k. Coeficiente de depreciación (K_d).
 - l. Nivel de iluminación deseado (lux).
3. Calcular relaciones de piso, local y techo.
 4. Determinar reflectancia efectiva de la cavidad del techo.
 5. Determinar reflectancia efectiva de la cavidad del suelo.
 6. Determinar coeficiente de utilización (ku).
 7. Si la reflectancia efectiva de la cavidad del suelo (r.e.c.s) se encuentra entre 17 y 23%, sin incluir ambos valores, entonces se calcula el número de luminarias.
 8. Si la reflectancia efectiva de la cavidad del suelo es igual o inferior a 17%, o igual o superior a 23%, se halla el factor de corrección. Luego:
 - a. Si $r.e.c.s < 20\%$ el factor de corrección se divide por el coeficiente de utilización.
 - b. Si $r.e.c.s > 20\%$ el factor de corrección se multiplica por el coeficiente de utilización.
 9. Calcular el número de luminarias.

3.4.1.3.- Base de datos.

Este sistema pertenece al programa PDVLUX, tiene como función principal almacenar datos referentes a puestos de trabajo, para luego obtener información en físico de los niveles de iluminación al que se expone el trabajador o trabajadora en su

puesto de trabajo. En la Tabla 17 se muestran los campos donde se almacenan los datos.

Tabla 17. Campos de la Base de Datos. [Elaboración propia]

Campos	Descripción
Filial o Negocio	Filial o negocio al cual pertenece la Instalación.
Instalación	Infraestructura donde se tomó la medición.
Lugar	Referente al lugar dentro de la Instalación donde se realizó la evaluación.
Tarea	Se refiere a la tarea realizada en el puesto de trabajo.
Fecha de medición	Fecha en la cual se realizó la evaluación.
Puesto de trabajo	Puesto de trabajo al cual se realizó la evaluación. Referente al código.
Mediciones	Niveles de iluminación (en Lux) medidos en el puesto de trabajo.
Observaciones	Registro de situaciones particulares del puesto de trabajo.

En la planilla de reporte de niveles de iluminación (ver anexo II), además de los datos almacenados, también se presentarán los niveles A, B y C para la tarea correspondiente.

El registro de los valores se hace en hojas de cálculo. Luego estas se transforman en archivos de texto para luego ser introducidos en la base de datos.

3.4.2.- Elección del lenguaje de programación

El Estado venezolano ha venido impulsando el uso del software de código abierto en sus empresas básicas, además de otras instituciones. PDVSA, como empresa del estado, se encuentra en transito hacia el uso de este tipo de software. En vista de ello, se escogen los lenguajes de programación MySQL y PHP. El primero tiene como fin el desarrollo de la base de datos, mientras que el PHP es utilizado para desarrollar el programa de cálculo de iluminación.

Se escoge el lenguaje PHP en conjunto con MySQL con el fin de utilizarlo en la plataforma de Intranet de PDVSA, debido a los beneficios involucrados:

1. Tiene un menor tiempo de desarrollo.
2. La información es accesible en tiempo real, desde cualquier computador que tenga acceso a la Intranet de PDVSA.
3. El procesamiento de la información es más liviano.
4. Es escalable, es decir, se puede ampliar en función de las necesidades.

Además, el software a desarrollar no es una aplicación de misión crítica, es decir, donde los datos transmitidos desde y hasta la base de datos no manejan procesos que afecte el desempeño u operación de variables de trabajo.

3.4.3.- Esquema de presentación final del programa de notificación y cálculo de iluminación (PDVLUX)

En la Figura 14 se muestra el esquema de trabajo del programa computacional PDVLUX.

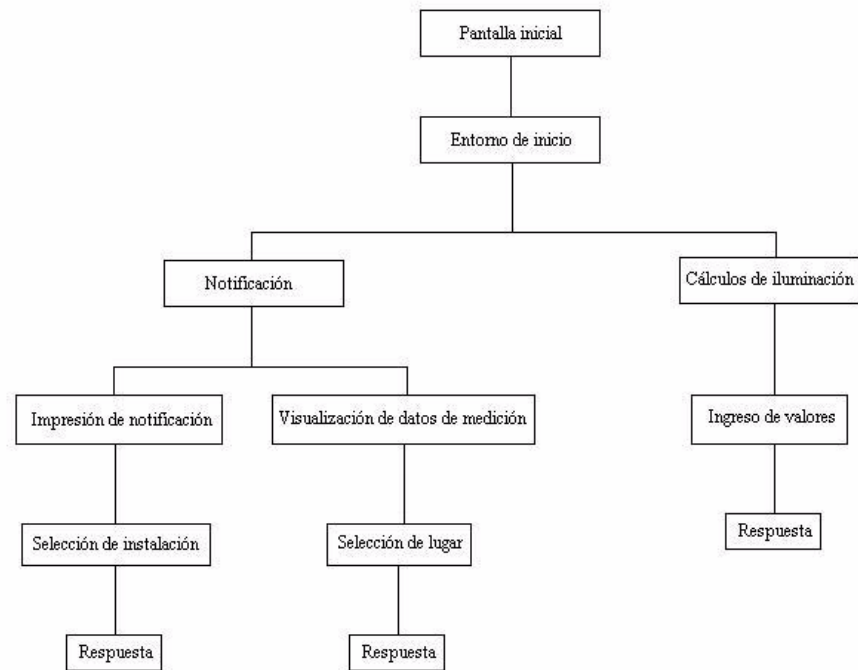


Figura 14. Esquema de trabajo del programa PDVLUX. [Elaboración propia]

Al iniciar el programa, se accede a la pantalla inicial. De aquí se pasa a la pantalla de menú, donde se escoge que se desea hacer. Al seleccionar “Notificación”, se expande el menú, mostrando dos opciones; “Visualización de datos de medición” e “Impresión de notificación”. Al escoger la primera opción, se presenta la pantalla de visualización de datos. Con la segunda opción se muestra la pantalla de impresión de notificaciones. La planilla de notificación se muestra en el anexo II.

En el menú principal se puede acceder al “Calculo de iluminación”. De aquí se pasa a la pantalla de ingreso de datos del programa de cálculo de iluminación. Luego de ingresar los valores, se presenta la pantalla de respuesta.

CAPITULO IV

EVALUACIÓN DE RIESGO POR ILUMINACIÓN

4.1.- SITUACIÓN GENERAL DE LOS PUESTOS DE TRABAJO

Los resultados obtenidos durante la evaluación de las instalaciones de Petróleos de Venezuela S.A., referentes al total de puestos evaluados, así como el número de ellos que cumplen y no cumplen con la norma COVENIN 2249-93, se muestra en la siguiente tabla:

Total de puestos de trabajo evaluados	2.333
Puestos que cumplen con la norma COVENIN 2249-93	708 (30,35%)
Puestos que no cumplen con la norma COVENIN 2249-93	1.625 (69,65%)

4.2.- SITUACIÓN DE LOS PUESTOS DE TRABAJO POR INSTALACIÓN

Para exponer la situación de los puestos de trabajo por instalación se recurre al uso de tablas, donde se indica la fecha, hora, condiciones atmosféricas, total de puestos evaluados, número de estos que cumplen y no cumplen con la norma COVENIN 2249-93, número total de luminarias instaladas, cantidad de luminarias defectuosas, en mal funcionamiento y el nivel de iluminación promedio de la instalación.

4.2.1.- Edificio Sede de Maturín (ESEM)

Fecha de evaluación	25/10/2006 - 27/10/2006 30/10/ 2006 - 02/11/2006
Hora de evaluación (diario)	8:00 am a 12:00 am 2:00 pm a 4:30 pm
Condición atmosférica predominante	Buen tiempo
Total de puestos de trabajo evaluados	1.015
Puestos que cumplen con la norma COVENIN 2249-93	254 (25,02%)
Puestos que no cumplen con la norma COVENIN 2249-93	761 (74,98%)
Tipo y cantidad de luminarias utilizadas	Luminarias para lámparas fluorescentes con difusor prismático. Total: 1004 (67,16%)
	Luminarias para lámparas fluorescentes con difusor de rejilla. Total: 491 (32,84%)
Total de luminarias instaladas (inspeccionadas)	1.495
Luminarias defectuosas	260 (17,39%)
Luminarias en mal funcionamiento	14 (5,38%)
Promedio aritmético de iluminancia de la instalación	417 lux

4.2.2.- Edificio Pawa

Fecha de evaluación	17/10/2006 - 19/10/2006
Hora de evaluación (diario)	9:00 am a 12:00 am 1:30 pm a 5:00 pm
Condición atmosférica predominante	Nublado
Total de puestos de trabajo evaluados	248
Puestos que cumplen con la norma COVENIN 2249-93	37 (14,92%)
Puestos que no cumplen con la norma COVENIN 2249-93	211 (85,08%)
Tipo y cantidad de luminarias utilizadas	Luminarias para lámparas fluorescentes con difusor prismático. Total: 335 (66,21%)
	Luminarias para lámparas fluorescentes con difusor de rejilla. Total: 152 (30,04%)
	Luminarias con lámparas fluorescentes y reflector tipo domo. Total: 19 (3,75%)
Total de luminarias instaladas (inspeccionadas)	506
Luminarias defectuosas	8 (1,58%)
Luminarias en mal funcionamiento	13 (2,57%)
Promedio aritmético de iluminancia de la instalación	361

4.2.3.- Edificio La Campiña

Fecha de evaluación	18/09/2006 - 21/09/2006 09/10/2006 – 13/10/2006
Hora de evaluación (diario)	9:00 a.m. a 11:00 a.m. 12:00 a.m. 5:00 p.m.
Condición atmosférica predominante	Buen tiempo
Total de puestos de trabajo evaluados	558
Puestos que cumplen con la norma COVENIN 2249-93	292 (52,33%)
Puestos que no cumplen con la norma COVENIN 2249-93	266 (47,67%)
Tipo y cantidad de luminarias utilizadas	Lámparas fluorescentes en cornisa. Total: 1 (0,01%)
	Luminarias para lámparas fluorescentes con difusor de rejilla. Total: 800 (99,98%)
Total de luminarias instaladas (inspeccionadas)	801
Luminarias defectuosas	10 (1,25%)
Luminarias en mal funcionamiento	3 (0,37%)
Promedio aritmético de iluminancia de la instalación	552 lux

4.2.4.- Refinería El Palito

Fecha de evaluación	25/09/2006 - 29/09/2006 02/10/2006 - 06/10/2006
Hora de evaluación (diario)	8:00 am a 12:00 am 1:30 pm a 4:30 pm
Condición atmosférica predominante	Buen tiempo
Total de puestos de trabajo evaluados	512
Puestos que cumplen con la norma COVENIN 2249-93	125 (24,41%)
Puestos que no cumplen con la norma COVENIN 2249-93	387 (75,59%)
Tipo y cantidad de luminarias utilizadas	Luminarias para lámparas fluorescentes con difusor prismático. Total: 569 (76,48%)
	Luminarias para lámparas fluorescentes sin difusor. Total: 120 (16,13%)
	Lámparas fluorescentes ahorradoras. Total: 26 (3,49%)
	Luminarias con lámparas de vapor de sodio y reflector tipo domo. Total: 29 (3,90%)
Total de luminarias instaladas (inspeccionadas)	744
Luminarias defectuosas	101 (13,99%)
Luminarias en mal funcionamiento	18 (2,51%)
Promedio aritmético de iluminancia de la instalación	362 lux

4.3.- EVALUACIÓN DE PUESTOS DE TRABAJO POR INSTALACIÓN

4.3.1.- Edificio Sede de Maturín (ESEM).

La mayoría de los puestos de trabajo evaluados en esta instalación no cumplen con los niveles de iluminancia establecidos en la norma COVENIN 2249-93. De un total de un mil quince (1.015) puestos de trabajo, setecientos sesenta y uno (761) de ellos presentan niveles de iluminancia por debajo de 500 lux. Esto indica que el 74,98% de las personas que laboran en estos puestos, se encuentran en situación de riesgo por iluminación.

El total de luminarias instaladas en las oficinas evaluadas es de un mil cuatrocientos noventa y cinco (1.495), de las cuales doscientas sesenta (260) están defectuosas y catorce (14) en mal funcionamiento, lo que representa el 17,39% y 5,38% respectivamente. En la Figura 15 se muestran dos luminarias defectuosas.

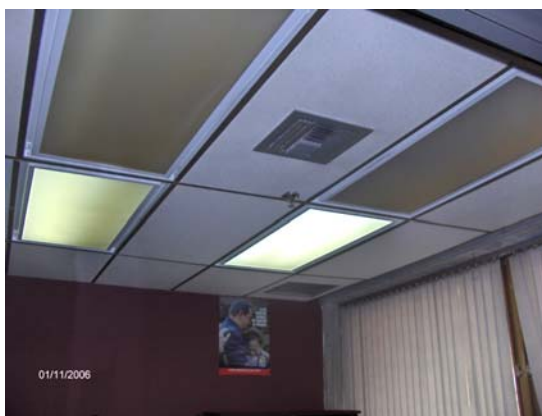


Figura 15. Ejemplo de luminarias defectuosas en el Edificio Sede de Maturín.

Otro factor relacionado con las luminarias es el tipo de difusor utilizado en ellas. El 67,16% de los difusores instalados en las luminarias son de tipo prismático. Estos presentan un color un color amarillento (ver Figura 16), característico de este

tipo de difusor cuando excede su vida útil. También se observó suciedad en algunas luminarias.

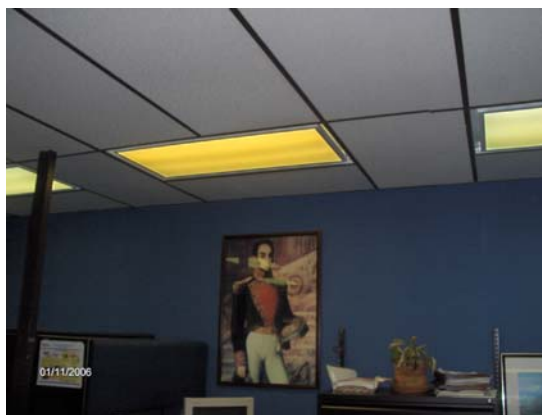


Figura 16. Luminarias con difusor prismático en el Edificio Sede de Maturín.



Figura 17. Luminaria sucia. Edificio Sede de Maturín.

En la Figura 18 se observa una luminaria seccionada por una pared cerca del puesto N2-18-28 (nivel dos, oficina dieciocho, puesto veintiocho).

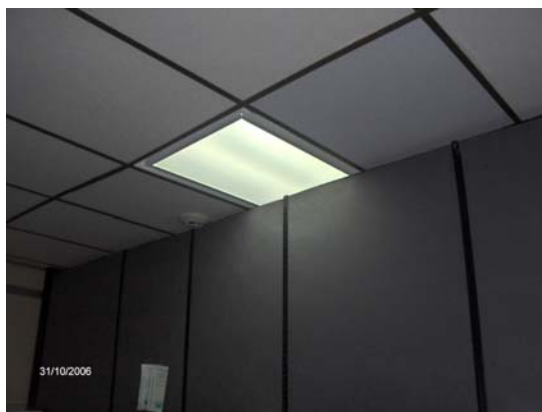


Figura 18. Luminaria seccionada. Edificio Sede de Maturín.

La distribución de luminarias no es regular en algunas oficinas o áreas de trabajo. No se respeta el criterio de espaciamiento entre ellas. En la Figura 21 se puede observar una luminaria mal instalada.

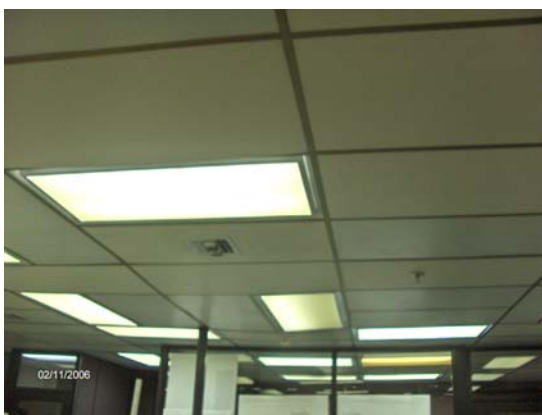


Figura 19. Distribución irregular de luminarias. Edificio Sede de Maturín.

En la Figura 20 se observa una unidad de aire acondicionado obstaculizando una luminaria cerca del puesto N2-01-19 (nivel dos, oficina uno, puesto diecinueve).



Figura 20. Luminaria obstaculizada por unidad de aire acondicionado. Edificio Sede de Maturín.



Figura 21. Luminaria mal instalada. Edificio Sede de Maturín.

La persona que labora en el puesto de trabajo N1-05-01 (nivel uno, oficina cinco, puesto de trabajo número uno) manifiesta molestias debido al deslumbramiento, el cual resulta ser de tipo molesto.



**Figura 22. Puesto de trabajo donde se presenta deslumbramiento directo.
Edificio Sede de Maturín.**

Se presenta hacinamiento en los puestos de trabajo. Esto contribuye a la reducción de los niveles de iluminancia e incrementa el numero de personas en riesgo por iluminación.

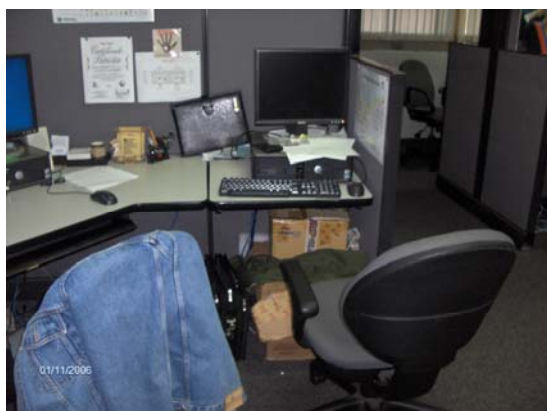


Figura 23. Hacinamiento en puestos de trabajo. Edificio Sede de Maturín.

Los colores utilizados en las oficinas tienden a ser “oscuros” o de baja reflectancia, tanto para el suelo como las paredes. La combinación de colores observados en las oficinas donde están ubicados los puestos de trabajo son los siguientes:

Color de piso	Color de pared	Color de techo
Blanco	Blanco	Blanco
Blanco	Verde	Blanco
Granito rojo pulido	Beige	Blanco
Gris	Blanco/gris/rojo	Blanco
Gris	Gris	Blanco
Gris	Verde	Blanco
Gris Azulado	Azul	Blanco
Gris Azulado	Azul / Gris / Vidrio	Blanco
Gris Azulado	Beige	Blanco
Gris Azulado	Beige/azul	Blanco
Gris Azulado	Beige/blanco	Blanco
Gris Azulado	Beige/Gris	Blanco
Gris Azulado	Beige/Gris/vinotinto	Blanco
Gris Azulado	Gris	Blanco
Gris Azulado	Gris / Azul	Blanco
Gris Azulado	Gris / Vinotinto	Blanco
Gris Azulado	Gris/Azul oscuro	Blanco
Gris Azulado	Gris/verde	Blanco
Gris Azulado	Verde	Blanco
Marrón (caico)	Vidrio	Blanco
Marrón (caico)	Vidrio (papel ah.)	Blanco
Marrón (caico)	Vidrio (papel ah.)	Rejilla (obra limpia)

4.3.2.- Edificio Pawa.

La mayoría de los puestos de trabajo evaluados en esta instalación no cumplen con los niveles de iluminancia establecidos en la norma COVENIN 2249-93. De un total de doscientos cuarenta y ocho (248) puestos de trabajo, doscientos once (211) de

ellos presentan niveles de iluminancia por debajo de 500 lux. Esto indica que el 85,08% de las personas que laboran en estos puestos de trabajo, se encuentran en situación de riesgo por iluminación.

El número total de luminarias de esta instalación (relativas a los puestos de trabajo) es de quinientos seis (506), de las cuales ocho (8) están defectuosas y trece (13) en mal funcionamiento, lo cual representa el 1,58% y 2,57% respectivamente.

De quinientas seis (506) luminarias instaladas en las áreas de oficina, doscientos setenta y nueve (279) de ellas utilizan difusores prismáticos, lo cual representa un 55,40% del total de las luminarias. No se observaron difusores prismáticos decolorados ni sucios.

En el puesto de trabajo 03-E-17 (piso tres, ala este, oficina 17), la persona que allí labora manifiesta molestias debido al deslumbramiento. Es un caso similar al que se presenta en el Edificio Sede de Maturín.

En el puesto 02-E-06C (piso dos, ala este, oficina seis, puesto C) se presenta deslumbramiento debido al reflejo de la luz natural en la pantalla de la computadora.

El trabajador ubicado en el puesto 02-O-02 (piso dos, ala oeste, oficina dos) reporta que debe leer cerca de la ventana. El nivel de iluminancia para este puesto es de 573 lux, lo cual cumple con la norma COVENIN 2249-93.

En las áreas de oficina, los colores utilizados en las paredes tienden a ser “claros” mientras que en el suelo la tendencia es a los colores “oscuros”. La combinación de ellos se muestra en la siguiente tabla:

Color de piso	Color de pared	Color de techo
Azul	Blanco	Blanco
Azul	Gris claro	Blanco
Gris	Beige	Blanco
Gris	Blanco	Blanco
Gris	Blanco/Vidrio con papel ahumado	Blanco
Gris	Gris	Blanco
Gris	Blanco	Blanco
Gris azulado	Blanco	Blanco
Gris azulado	Blanco/Amarillo	Blanco
Gris oscuro	Blanco	Blanco
Marrón claro	Vidrio con papel ahumado	Blanco
Verde claro	Blanco	Blanco
Verde claro	Blanco/Vidrio con papel ahumado	Blanco

4.3.3.- Edificio La Campiña

Cerca de la mitad de los puestos de trabajo evaluados en esta instalación no cumplen en la norma COVENIN 2249-93. De un total de quinientos cincuenta y ocho (558) puestos de trabajo, doscientos sesenta y seis (266) de ellos presentan niveles de iluminancia por debajo de 500 lux. Esto indica que el 47,67% de las personas que laboran en estos puestos, se encuentran en situación de riesgo por iluminación.

El total de luminarias instaladas en las oficinas evaluadas es de ochocientos una (801), de las cuales diez (10) están defectuosas y tres (3) en mal funcionamiento, lo que representa el 1,25% y 0,37% respectivamente.

De ochocientas una (801) luminarias instaladas en las áreas de oficina, ochocientas (800) de ellas utilizan difusores de rejilla, lo cual representa un 99,98% del total de las luminarias.

La distribución de luminarias es irregular en las áreas donde estas son comunes a múltiples puestos de trabajo.



Figura 24. Distribución irregular de luminarias. Edificio La Campiña.

Los colores utilizados en las paredes de esta instalación tienden a ser “claros” o alta reflectancia, mientras que para el piso se tiende a utilizar tanto colores de baja como de alta reflectancia. En la tabla siguiente se muestra la combinación de colores utilizados:

Color de piso	Color de pared	Color de techo
Azul claro	Beige	Blanco
Azul claro	Beige/Blanco	Blanco
Azul oscuro	Beige	Blanco
Gris	Beige	Blanco
Gris	Blanco	Blanco
Gris	Gris claro	Blanco
Gris azulado	Beige	Blanco

4.3.4.- Refinería El Palito

La mayoría de los puestos de trabajo evaluados en esta instalación no cumplen con los niveles de iluminancia establecidos en la norma COVENIN 2249-93. De un total de quinientos doce (512) puestos de trabajo, trescientos ochenta y siete (387) de ellos presentan niveles de iluminancia por debajo de 500 lux. Esto indica que el 75,59% de las personas que laboran en estos puestos, se encuentran en situación de riesgo por iluminación.

En el caso particular del taller de Metales y Máquinas Herramientas, los niveles de iluminancia en horas nocturnas no cumplen con la norma antes citada.

El total de luminarias instaladas en las oficinas evaluadas es de setecientas cuarenta y cuatro (744), de las cuales ciento una (101) de ellas están defectuosas y dieciocho (18) en mal funcionamiento, lo que representa el 13,99% y 2,51% respectivamente.

De setecientas cuarenta y cuatro (744) luminarias instaladas en las áreas de oficina, quinientas sesenta y nueve (569) de ellas utilizan difusores prismáticos, lo cual representa un 74,48% del total de las luminarias. La decoloración de los difusores indica que han excedido su vida útil. En la oficina PB-212 (planta baja, oficina 212) del Edificio Administrativo hay una luminaria seccionada por una pared.



Figura 25. Luminaria seccionada por pared. Edificio Administrativo. Refinería El Palito.

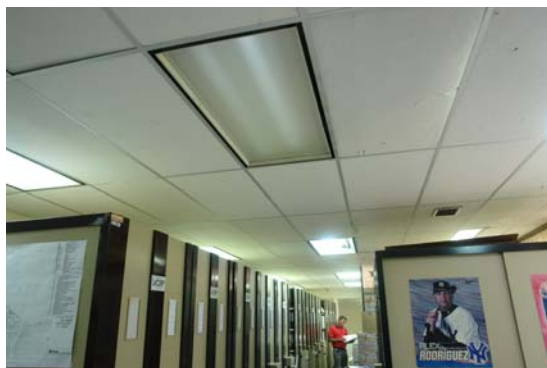


Figura 26. Luminarias con difusores prismáticos en mal funcionamiento y difusores decolorados. Refinería El Palito.

En el taller se observó que las luminarias estaban sucias o carecen de lámparas. En algunos casos, las luminarias están totalmente inoperativas por falta de alguno de sus componentes. También se observaron luminarias sucias.

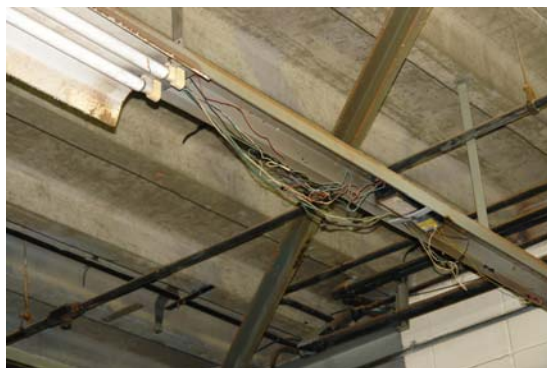


Figura 27. Luminaria inoperativa por falta de componentes. Taller de Metales y Máquinas de Herramientas. Refinería El Palito.



Figura 28. Luminarias defectuosas. Taller de Metales y Máquinas de Herramientas. Refinería El Palito.

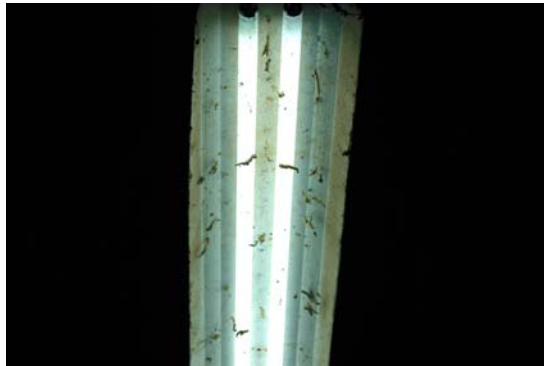
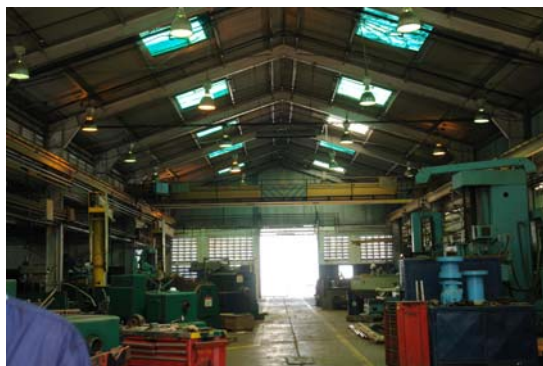


Figura 29. Luminaria sucia. Taller de Metales y Máquinas de Herramientas. Refinería El Palito.

Los colores de las fuentes de luz utilizados en las luminarias del taller de Metales y Máquinas Herramientas no son uniformes. Varias de estas fuentes son de color “calido”.



**Figura 30. Distribución irregular de los colores de las fuentes de luz artificial.
Taller de Metales y Máquinas Herramientas. Refinería El Palito.**

En el Edificio de Seguridad, Higiene y Ambiente el techo esta manchado por filtraciones de agua, lo cual opacó el color del techo en algunas partes, disminuyendo su reflectancia. Falta una de las láminas de cielorraso.



**Figura 31. Oficina 607 del Edificio de Seguridad, Higiene y Ambiente. Refinería
El Palito.**

En algunas oficinas se observó afiches y muebles obstaculizando la entrada de luz natural a través de las ventanas. Esto incumple con el artículo 130 del Reglamento de las Condiciones de Higiene y Seguridad en el Trabajo.



Figura 32. Ventana obstaculizada por afiches y mobiliario. Edificio de la Gerencia. Refinería El Palito.

En la tabla siguiente se puede observar que los colores utilizados tanto en paredes como en el piso son “claros” o de alta reflectancia.

Color de piso	Color de pared	Color de techo
Gris	Amarillo claro	Blanco
Gris	Beige	Blanco
Gris	Melón	Blanco
Marrón claro	Beige	Blanco
Beige	Crema	Blanco
Beige	Amarillo	Blanco
Blanco	Beige	Blanco
Blanco	Corcho	Blanco
Blanco	Rosado/Blanco	Blanco
Blanco	Azul claro	Blanco
Negro	Blanco	Negro
Blanco	Blanco	Blanco
Gris oscuro	Azul/Blanco	Gris
Gris oscuro	Beige	Blanco
Verde	Amarillo	Blanco
Verde	Amarillo/Marrón caoba	Blanco
Negro	Blanco/azul	Blanco

4.4.- LIMITACIONES IMPUESTAS A LA EVALUACIÓN

Durante la ejecución de las evaluaciones se presentaron dificultades que afectaron el desempeño y cumplimiento de los tiempos pautados. A continuación se mencionan dichos obstáculos:

1. Se presentó retardo en la entrega de los carnets de identificación y acceso a las instalaciones.
2. Una cumplidos todos los pasos burocráticos para la obtención de los planos de la Campiña y Pawa, estos fueron entregados con aproximadamente tres semanas de retardo.
3. En el Edificio Sede de Maturín, los planos no estaban disponibles de forma inmediata, por lo que se presentó un retardo de dos días en la evaluación.
4. La existencia de áreas restringidas limitaron la evaluación.
5. No fue posible obtener un amplio registro fotográfico de las áreas evaluadas en la Refinería El Palito, edificio Pawa y edificio La Campiña, debido a las restricciones y protocolos de seguridad de la empresa. En el caso particular de la refinería, las fotografías fueron tomadas por una persona ajena a la evaluación, lo cual limitó el registro fotográfico.
6. Se impusieron restricciones para la toma de fotografías en los laboratorios de la Refinería El Palito, aun cuando la Gerencia de Ambiente e Higiene Ocupacional tiene los debidos permisos para obtener fotografías en todas las áreas de la instalación.
7. No se cuenta con un sistema de identificación de las oficinas o puestos de trabajo, lo cual obliga a crear una nomenclatura propia.
8. Al momento de la evaluación del Edificio La Campiña, se estaba llevando a cabo un proceso de remodelación de varios de sus pisos, por lo que no se pudo realizar las luxometrías en esos lugares.
9. No se recibió notificación de riesgos por parte del personal de las instalaciones de La Campiña, Pawa y Edificio Sede de Maturín.

4.5.- LOGROS DE LA EVALUACIÓN

A continuación se enumeran los logros obtenidos durante la evaluación:

1. Se logro captar el interés de los trabajadores y trabajadoras en el conocimiento de la Higiene Ocupacional, haciendo énfasis en el riesgo por iluminación.
2. Se desarrollo un sistema de identificación en los puestos de trabajo.

CAPITULO V

REDISEÑO DE PUESTOS DE TRABAJO

5.1.- REDISEÑO DE PUESTO DE TRABAJO UTILIZANDO EL PROGRAMA PDVLUX

Para el rediseño de la iluminación utilizando el programa PDVLUX, se consideran dos situaciones. Una de ellas es el rediseño de esta, conservando los colores de la oficina. La otra situación consiste en el rediseño del área de trabajo, cambiando los colores del entorno visual.

Como modelo para el rediseño se escoge como ejemplo la oficina N2-18-03 (nivel dos, oficina dieciocho, puesto tres). Esta oficina posee cinco puestos de trabajo y seis luminarias en total. El promedio de iluminancia de los puestos de trabajo es de 422 lux, y uno de los puestos posee un nivel de iluminancia por encima de 500 lux. En la Tabla 18 se muestran las características del local.

Tabla 18. Características de la oficina tomada como modelo. [Elaboración propia]

Perímetro del local	10,26 m
Área del piso del local	25,99 m ²
Altura del techo	2,58
Altura del plano de luminarias	2,58
Altura del plano de trabajo	0,74
Color de techo	Blanco
Color de piso	Gris azulado (oscuro)
Color de pared	Gris (color predominante)
Tipo de luminaria	Luminaria con difusor prismático
Nivel de iluminancia promedio	422 lux

Para el rediseño se toman las siguientes consideraciones:

1. Se escoge el valor de 750 lux, correspondiente al valor “B” en las normas COVENIN 2249-93, por ser el nivel que implica unas buenas condiciones visuales, con un consumo de energía razonable.
2. El coeficiente de depreciación se considera para un ambiente limpio, con una distribución luminosa directa de la luminaria.
3. No es necesario que el tipo de luminaria a utilizar tenga las mismas características a la que se encuentra en la oficina, ya que el objetivo es comparar la solución utilizando los colores actuales con la solución cuyos colores empleados para el cálculo sean de alta reflectancia.
4. Se emplea la lámpara OSRAM FH 28W como ejemplo para el cálculo.

En la Tabla 19 se muestran los datos a emplear para el rediseño de iluminación.

Tabla 19. Datos para el rediseño de iluminación [Elaboración propia]

Nivel de iluminancia requerido	750 lux
Coeficiente de depreciación	0,8
Tipo de luminaria	Optilume 4X2-RA/12 (Cuatro lámparas)
Tipo de lámpara	OSRAM FH 28W (2900 lm)

En el menú de inicio se escoge la opción “calculo de iluminación” Luego, en la siguiente pantalla se ingresan los datos de la Tabla 18. Se presiona el botón “aceptar” y el programa realiza los cálculos necesarios para mostrar el número de luminarias a instalar.

El resultado obtenido es de cuatro (4) luminarias. Esta es la primera solución para el rediseño. Es la más fácil de aplicar, pues se conservan los colores originales de la oficina y solo se contempla la instalación de luminarias.

La segunda solución implica el rediseño total de la oficina (respetando sus dimensiones y geometría). Se cambian los colores de paredes, piso y techo, manteniendo el tipo de luminaria empleado en el cálculo anterior.

Los colores a elegir deben estar acordes tanto al clima predominante en la zona donde se encuentre la instalación, como al tipo de actividad que se realiza. La oficina tomada como ejemplo pertenece a una instalación ubicada en una zona cálida. Por ello se juzga conveniente utilizar el color blanco en techo y paredes, pues pertenece a la categoría de colores “fríos”. Estos colores transmiten una sensación de disminución de la temperatura, lo cual ayuda a reducir el uso del aire acondicionado a muy bajas temperaturas, mejorando el confort térmico y disminuyendo el consumo de energía. También transmiten serenidad y confort, lo cual resulta favorable para realizar tareas de oficina.

En el piso se debe utilizar colores oscuros, para no crear deslumbramiento por reflexión de la luz en el suelo. Se elige el gris oscuro.

En la Tabla 20 se muestran los datos a utilizar para el rediseño.

Tabla 20. Datos a utilizar para el rediseño de iluminación. [Elaboración propia]

Perímetro del local	10,26 m
Área del piso del local	25,99 m ²
Altura del techo	2,58
Altura del plano de luminarias	2,58
Altura del plano de trabajo	0,74
Color de techo	Blanco
Color de piso	Gris oscuro
Color de pared	Blanco
Coefficiente de depreciación	0,80
Tipo de luminaria	Optilume 4X2 - RA/12 (Cuatro lámparas)
Nivel de iluminancia requerido	750

El resultado es de tres (3) luminarias. Al comparar ambos resultados, se puede apreciar que la oficina donde predominan los colores de alta reflectancia requiere de un número menor de luminarias. Además, los colores utilizados son los más adecuados para garantizar unas óptimas condiciones visuales.

CONCLUSIONES

- De un total de 2.333 puestos de trabajos evaluados, 1.625 de ellos no cumplen con lo establecido en la norma COVENIN 2249-93. Esto indica que el 69,25% de las personas que laboran en estos puestos, se encuentran en situación de riesgo por iluminación.
- El total de puestos evaluados en el Edificio Sede de Maturín es de 1.015, de los cuales 761 (74,98%) no cumplen con las normas COVENIN 2249-93. Por lo tanto, el 74,98% de los trabajadores y trabajadoras de esta instalación están en situación de riesgo por iluminación.
- En el Edificio Pawa se evaluaron 248 puestos de trabajo. De ellos, 211 (85,08%) no cumplen con las normas COVENIN 2249-93. Por lo tanto, el 85,08% de los trabajadores y trabajadoras de esta instalación están en situación de riesgo por iluminación.
- De 558 puestos evaluados en el Edificio La Campiña, 266 (47,67%) de ellos no cumplen con las normas COVENIN 2249-93. Por lo tanto, el 47,67% de los trabajadores y trabajadoras de esta instalación están en situación de riesgo por iluminación.
- La cantidad de puestos evaluados en la Refinería El Palito es de 512, de los cuales 387 (75,59%) no cumplen con las normas COVENIN 2249-93. Por lo tanto, el 75,59% de los trabajadores y trabajadoras de esta instalación están en situación de riesgo por iluminación.
- La iluminación de los puestos de trabajo es inadecuada y las ventanas de algunas oficinas están obstruidas, por lo que se incumplen los artículos 129 y 130 del Reglamento de las Condiciones de Higiene y Seguridad en el Trabajo.
- No existe un programa de mantenimiento de las luminarias en ninguna de las instalaciones evaluadas.

- La presencia de luminarias defectuosas y en mal funcionamiento, luminarias con difusores sucios u opacos, o ambos inclusive, contribuyen a la reducción de los niveles de iluminancia en los puestos de trabajo de algunas oficinas.
- La distribución irregular de las luminarias, la presencia de luminarias mal instaladas, seccionadas por paredes u obstaculizadas por afiches o muebles, hace que los niveles de iluminancia disminuyan y no sean uniformes en todos los puntos de un área de oficina, lo que indica un mal diseño del sistema de alumbrado.
- En el Edificio Sede de Maturín predominan los colores oscuros, de baja reflectancia. Esto contribuye a la reducción de los niveles de iluminación en los puestos de trabajo.
- En las oficinas de la Refinería el Palito, el color predominante en las paredes es Beige, que posee una reflectancia menor que el color blanco. Esto disminuye los niveles de iluminación, aunque en menor medida que los colores de baja reflectancia.
- El deslumbramiento presente en los puestos de trabajo 03-E-17 y 02-E-06C del Edificio Pawa representa un riesgo por iluminación para las personas que allí laboran. Se incumple el artículo 132 del Reglamento de las Condiciones de Higiene y Seguridad en el Trabajo.
- El trabajador del puesto 02-O-02 del Edificio Pawa manifiesta necesidad de leer cerca de la ventana, aun cuando el nivel de iluminancia de este puesto cumple con la norma COVENIN 2249-93. Por lo tanto, es necesario tomar en cuenta las condiciones particulares del trabajador para garantizar que tenga condiciones visuales óptimas.
- El color de las fuentes de luz del taller de Metales y Máquinas Herramientas son de tipo “cálido”, lo cual dificulta la apreciación de los objetos con los que allí se labora y exige un mayor esfuerzo visual.
- El hacinamiento existente en algunas oficinas aumenta el número de puestos de trabajo que no cumplen con la norma COVENIN 2249-93.

- Los colores utilizados en las oficinas del Edificio Sede de Maturín y la Refinería El Palito no son aptos para el clima de la zona en donde se encuentran dichas instalaciones.
- Al comparar los niveles de iluminación obtenidos en las mediciones del taller de Metales y Máquinas Herramientas de la Refinería El Palito, obtenemos una diferencia considerable, lo que demuestra que la luz natural influye en los niveles de iluminación.
- Es conveniente utilizar colores de alta reflectancia en paredes y techos para el diseño de la iluminación de un área de trabajo, y distribuir las luminarias de forma regular para garantizar que los niveles de iluminación sean uniformes.
- El edificio La Campiña posee la mejor iluminación, debido a que tiene las mejores luminarias, esto por su condición de sede principal además de estar ubicada en el centro de poder de la nación.
- Los difusores de rejilla son más eficientes que los prismáticos, ya que estos últimos tienden a opacarse con el tiempo, reduciendo así el flujo luminoso de la luminaria y por lo tanto los niveles de iluminación.

RECOMENDACIONES

- Realizar limpieza a las luminarias y reemplazar las lámparas en mal funcionamiento y difusores prismáticos decolorados o amarillentos.
- Retirar los afiches de las ventanas. Colocar persianas en los puestos de trabajo donde se presenta deslumbramiento por luz natural, o modificar la distribución de los mismos.
- Redistribuir las luminarias que ocasionan deslumbramiento molesto en el puesto N1-05-01 (nivel uno, oficina cinco, puesto de trabajo número uno) del Edificio Sede de Maturín, alejándolas del campo visual de la persona que allí labora.
- Rediseñar la iluminación del taller de Metales y Máquinas Herramientas de la Refinería El Palito, utilizando lámparas cuya temperatura de color sea “fría”.
- Rediseñar la iluminación de las oficinas donde se presente una mala distribución de las luminarias, respetando el criterio de espaciamiento de las mismas y verificando que los niveles de iluminancia sean los adecuados.
- Rediseñar la iluminación en las áreas de trabajo donde los niveles de iluminancia no cumplan con la norma COVENIN 2249-93.
- Tomar como valor de referencia para el rediseño los niveles catalogados como “B” (750 lux) en la norma COVENIN 2249-93, para garantizar unas condiciones visuales óptimas con un consumo de energía razonable.
- Utilizar el color blanco en las paredes y techos de las oficinas, especialmente en aquellas ubicadas en las instalaciones de la Refinería El Palito y el Edificio Sede de Maturín. Se debe evitar el uso de colores claros en el piso, para prevenir el deslumbramiento por reflexión de la luz.
- Utilizar luminarias con difusores de rejilla en lugar de difusores prismáticos, para así evitar la disminución del flujo luminoso por envejecimiento.
- En caso de rediseñar las áreas de trabajo para añadir oficinas, realizar el diseño de iluminación de la(s) nueva(s) oficina(s).

- No obstaculizar las luminarias con ningún objeto o equipo.
- No seccionar las luminarias por paredes u otro elemento.
- Verificar las condiciones visuales de la persona que ocupe un determinado puesto de trabajo, e implementar las medidas necesarias para garantizar que tenga unas condiciones visuales óptimas.
- Evitar el hacinamiento en las áreas de trabajo.
- Desarrollar e implementar un plan de mantenimiento de luminarias, que contemple el tiempo de vida útil de las lámparas y periodos de limpieza de las luminarias.
- Realizar campañas informativas con respecto a los riesgos existentes en las áreas de trabajo, incluyendo la iluminación, entre otros.
- Incentivar el estudio de la iluminación y sus efectos a la salud.
- Promover la formación y capacitación en el área de Higiene Ocupacional del personal encargado de diseñar los espacios destinados a ser áreas de trabajo.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

- Balestrini A., Mirian. (2002). Como se elabora el proyecto de investigación. Caracas, Venezuela. Consultores Asociados, servicio editorial.
- Baschuk, Bernardo J y Vainberg Jorge D. (1977) Criterios de predimensionamiento y métodos de cálculo de iluminación. Buenos Aires, Argentina. Espacio Editora.
- Biblioteca Técnica de Prevención de Riesgos Laborales (2000). Gestión de la Prevención. Volumen 1. Ediciones CEAC. España.
- Carranza C., Emilio. (1981). Luminotecnica y sus aplicaciones. México. Editorial Diana.
- CODELECTRA. (2004). Código Eléctrico Nacional. Caracas, Venezuela. FONDONORMA.
- Comisión Venezolana de Normas Industriales. COVENIN 2249-93. Iluminancias en Tareas y Áreas de Trabajo, 2249-93. Caracas, Venezuela. FONDONORMA.
- Harper, Gilberto. (2006). El ABC del Alumbrado y las Instalaciones Eléctricas en Baja tensión. México. Editorial Limusa.
- Fundación MAPFRE. (1981). Manual de Higiene Industrial. Madrid, España. MAPFRE.
- Fundación MAPFRE. (1992). Curso sobre Iluminación de Puesto de Trabajo. Caracas, Venezuela. ITSEMAP.
- Jiménez S., Igor y Freddy Linares R. (1994). Estudio del Riesgo Iluminación en Bibliotecas de la Universidad Central de Venezuela. Trabajo especial de grado de Ing. Civil, UCV, Caracas, Venezuela.
- Ley Orgánica de Prevención, Condiciones y Medio Ambiente de Trabajo. (2005). Caracas, Venezuela.
- PDVSA CIED. (2001). Higiene Industrial. Soluciones para la Productividad en el Nuevo Milenio, Caracas, Venezuela. FONCIED.

- Phillips. (1976). Manual de Alumbrado. Madrid, España. Editorial Paraninfo.
- Ramírez V., José. (1979). Sistemas de iluminación. Proyectos de alumbrado. España. Ediciones CEAC.
- Reglamento de las Condiciones de Higiene y Seguridad en el Trabajo. (1973) Caracas, Venezuela.
- Romero M., Cesar. (1986). Evolución de la Higiene Industrial en Venezuela. Salud Ocupacional. Vol. I, N° 1. Caracas, Venezuela.
- Taboada, J. (1983). Manual de Luminotecnia. Madrid, España. Editorial Dossat.
- Wallis O., Gustavo. (1986). Análisis comparativo de la metodología usado en los cálculos de iluminación y su aplicación en el diseño de espacios interiores arquitectónicos. Trabajo de ascenso, UCV, Caracas Venezuela.
- Westinghouse (1972). Manual de Alumbrado. Madrid, España. Editorial Dossat.
- Organización Internacional del Trabajo (2002). Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo. [Libro en línea]. Disponible: <http://www.mtas.es/insht/EncOIT/pdf/tomo2/46.pdf>. [Consulta: 2007, Enero 08].
- Organización Internacional del Trabajo (2002). Directrices relativas a los sistemas de gestión de la seguridad y salud en el trabajo. [Libro en línea]. ILOOSH 2001 Ginebra. Disponible: <http://www.ilo.org/public/english/protection/safework/cops/spanish/download/s000013.pdf>. [Consulta: 2006, agosto 08].
- Grau R., M. (2002). Seguridad Laboral. [Libro en línea]. Instituto Nacional de seguridad e Higiene en el Trabajo. Disponible: http://www.ffii.nova.es/f2i2/publicaciones/libro_seguridad_industrial/LSI_Cap04.pdf, [Consulta: 2006, agosto 08].
- www.asifunciona.com. Como funcionan las lámparas fluorescentes. [Consulta: 2006, julio 20]

- p://edison.upc.edu/curs/llum/interior/iluint1.html. Iluminación en interiores. Javier García Fernández y Oriol Boix. (2001)
- <http://www.sylvania-lamps.com>. Pagina principal de Lámparas Sylvania. [Consulta: 2006, Noviembre 29]
- www.mtas.es/Inst./ntp_211.htm. Norma Técnica Española 211, Iluminación en los centros de trabajo. [Consulta: 2006, julio 12]
- www.mtas.es/Inst./ntp_290.htm. Norma Técnica Española 290, El síndrome del edificio enfermo: cuestionario para su detección. Consulta: 2006, [Consulta: 2006, julio 12]
- <http://www.obralux.com>. Manual de Luminotecnia. [Consulta: 2006, julio 10], http://www.mtas.es/insht/ntp/ntp_551.htm. Norma Técnica Española 551, Prevención de riesgos en el laboratorio: la importancia del diseño. [Consulta: 2006, julio 12]